



**STATİK ELEKTRİK VE GÖVDE GÜVENLİK TOPRAKLAMASININ İŞ
KAZALARINI ÖNLEMEDE ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE
METAL SEKTÖRÜNDE YAŞANAN ELEKTRİK KAYNAKLI KAZA
SEBEPLERİNİN ÖNCELİKLENDİRİLMESİ**

Ayşe Kübra HALICI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KAZALARIN ÇEVRESEL VE TEKNİK ARAŞTIRMASI ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2019

Ayşe Kübra HALICI tarafından hazırlanan “STATİK ELEKTRİK VE GÖVDE GÜVENLİK TOPRAKLAMASININ İŞ KAZALARINI ÖNLEMEDE ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE METAL SEKTÖRÜNDE YAŞANAN ELEKTRİK KAYNAKLI KAZA SEBEPLERİNİN ÖNCELİKLENDİRİLMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Selçuk Kürşat İŞLEYEN

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Doç. Dr. Cemalettin AKTEPE

Uluslararası Ticaret Ana Bilim Dalı, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doktor Öğretim Üyesi Ömer ASAL

İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 21/06/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ayşe Kübra HALICI

21/06/ 2019

STATİK ELEKTRİK VE GÖVDE GÜVENLİK TOPRAKLAMASININ İŞ
KAZALARINI ÖNLEMEDE ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE METAL
SEKTÖRÜNDE YAŞANAN ELEKTRİK KAYNAKLI KAZA SEBEPLERİNİN
ÖNCELİKLENDİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ayşe Kübra HALICI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2019

ÖZET

Her yıl yüzbinlerce iş kazası yaşanan ülkemizde elektrik kazaları ciddi yer tutmaktadır. Bu kazaların yaşanmasında alınan önlemlerin etkisizliği yada hiç önlem alınmadan çalışılması rol oynamaktadır. Bu çalışmada statik elektrik ve gövde güvenlik topraklamasının elektrik kazalarının önlenmesindeki etkinliği incelenmiştir. Ayrıca metal sektöründe yaşanan elektrik kaynaklı iş kazalarının sebepleri tespit edilerek uzman değerlendiriciler tarafından önceliklendirilmiştir. Gövde güvenlik topraklamasının sistem özelliklerine göre hesaplamalar yapılarak tesis edilmesi gerektiği görülmüştür. Statik elektrik topraklama sisteminin ise yalıtkan madde ve ekipman bulunan süreçlerde etkisiz kaldığı anlaşılmıştır. Metal sektöründe yaşanan elektrik kaynaklı iş kazası nedenleri ile ilgili yapılan önceliklendirme de ise tasarımsal ve yerleşimsel hatalar ilk sırada yer almaktadır. Kişisel hatalar ise son sırada yer almaktadır. Organizasyon olarak da belirtebileceğimiz yönetsel ve işletme temelli hatalarda; yapılacak işe uygun ekipman seçiminin uygunluğu ilk öncelik sıralamasındadır.

Bilim Kodu : 90515
Anahtar Kelimeler : Elektrik, metal sektörü, iş kazası, önceliklendirme
Sayfa Adedi : 108
Danışman : Doç. Dr. Selçuk Kürşat İŞLEYEN

THE EVALUATION OF THE
PREVENTIVE EFFECT OF OCCUPATIONAL INJURY BY STATIC ELECTRIC AND
PROTECTIVE GROUNDING AND PRIORITY OF ELECTRICITY CAUSED
ACCIDENTS IN THE METAL INDUSTRY

(M. Sc. Thesis)

Ayşe Kübra HALICI

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2019

ABSTRACT

In our country where hundreds of thousands of accidents occur every year, electrical accidents take a serious place. The ineffectiveness of the measures taken or working without any measures plays a role in the occurrence of these accidents. In this study, the efficiency of static electricity ground and protective earth on the prevention of electrical accidents is investigated. In addition, the reasons of electricity-related work accidents in the metal sector were identified and the causes prioritized by the expert evaluators. It has been seen that the protective earth must be constructed according to maintenance due to the system properties. The static electric grounding system was appeared to be ineffective in the processes involving insulating materials or equipments. Terms of design and settlement errors takes first place in the prioritization of the reasons for electricity-related work accidents in the metal sector. Personal errors are the last. In terms of administrative and business-based errors that we may specify as organizations; the appropriateness of the selection of suitable equipment for the work takes first priority order.

Science Code : 90515

Key Words : Electric, metal sector, work related accidents, prioritization

Page Number : 108

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Selçuk Kürşat İŞLEYEN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisansa başladığım günden itibaren beni her daim destekleyen, bilgi ve deneyimleriyle yönlendiren tez danışmanım, değerli hocam Doç. Dr. Selçuk Kürşat İŞLEYEN'e, teşekkür ederim. Tezimi hazırlama sürecinde manevi desteklerini esirgemeyen annem Atiye BOSTANCI'ya; sabır ve yardımları için eşim Abdulsamet HALICI'ya çok teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	7
3. GÖVDE GÜVENLİK TOPRAKLAMASI	17
3.1. TN Sistemi	22
3.1.1. TN-S sistemi;	24
3.1.2. TN-C sistemi;.....	28
3.2. TT Sistem İçin Koruma Topraklaması Direnç Hesaplaması	31
3.3. Eşpotansiyelleme.....	33
4. STATİK ELEKTRİK	37
4.1. Statik Elektrik	37
4.2. Statik Elektrik Kazaları	42
4.3. Statik Elektrik Topraklama Sisteminin Yapısı.....	43
4.4. Alınması Gereken Özel Önlemler ve Dikkat Edilecek Hususlar	48
4.4.1. Endüstriyel ve ticari işlemler	48
4.4.2. Sıvıların taşınması ve depolanması.....	51
4.4.3. Tozlar	54

	Sayfa
4.5. Statik Elektrik Topraklama Planı.....	55
5. METAL SEKTÖRÜNDE YAŞANAN ELEKTRİK KAYNAKLI KAZA SEBEPLERİNİN ÖNCELİKLENDİRİLMESİ.....	57
5.1. Elektrik Kaynaklı İş Kazaları.....	57
5.2. Metal Sektöründe Elektrik Kazaları.....	58
5.3. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)	59
5.4. Kaza Nedenlerinin Önceliklendirilmesi.....	62
5.4.1. Veri ve çalışma alanı.....	62
5.4.2. Elektrik kaynaklı iş kazalarının sebepleri	66
5.4.3. Analiz.....	83
5.4.4. Değerlendirme.....	86
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	93
KAYNAKLAR	97
EKLER.....	103
EK-1. Kaza sebebi ve kodları tablosu.....	104
EK-2. Kaza inceleme tablosu.....	106

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. a.a. 50/60 Hz’de ventriküler fibrilasyon akım sınırı (TS 60479-1)	10
Çizelge 3.1. Kuru ortam şartlarında orta genişlikte temas sonucu elden ele oluşan akım yolunda Zt toplam vücut empedansı. (a.a 50/60 Hz sistemlerde) ...	20
Çizelge 3.2. Islak ortam şartlarında orta genişlikte temas sonucu elden ele oluşan akım yolunda Zt toplam vücut empedansı. (a.a 50/60 Hz sistemlerde) ...	20
Çizelge 3.3. TN sistemler için en büyük açma (ayırma) süreleri.....	23
Çizelge 4.1. Yapılan işleme göre üretilen yük miktarı	39
Çizelge 4.2. Çeşitli maddelerin kapasitif değerleri	41
Çizelge 4.3. Çeşitli maddelerin alt tutuşma enerjileri.....	42
Çizelge 4.4. Tanecik boyutuna göre minimum tutuşma enerjisi	43
Çizelge 5.1. Karar verme ölçeği ve açıklaması.....	61
Çizelge 5.2. A1, A2 ve A3 kriterleri karşılaştırma matrisi	61
Çizelge 5.3. Elektrik aynaklı iş kazası sebep tablosu	63
Çizelge 5.4. Metal sektöründe elektrik kaynaklı iş kazaları sebep tablosu	65
Çizelge 5.5. Uzman 1 tarafından A1, A2, A3 kriterleri için yapılan değerlendirme	83
Çizelge 5.6. Uzman 1 tarafından C27, C28, C29 alt kriterleri için yapılan değerlendirme.....	83
Çizelge 5.7. 8 Uzman değerlendirmesi sonucu hiyerarşik düzenin öncelik sıralama sonuçları.....	84

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. TN-S sistem örnek devresi.....	24
Şekil 3.2. TN-S sistem devre eşdeğeri	25
Şekil 3.3. TN-C sistem örnek devresi	29
Şekil 3.4. TN-C sistem eşdeğer devresi	30
Şekil 3.5. TT sistem devre örneği	31
Şekil 3.6. Yüksek dirençli koruma topraklaması	34
Şekil 3.7. Eş potansiyelleme yapılarak düşük direnç değeri elde edilen devre düzeni..	35
Şekil 4.1. Küçük boyutlu ekipmanlar için örnek topraklama bağlantısı (NFPA 77: Annex	46
Şekil 5.1: Kriter hiyerarşik düzeni	61

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Boru eşpotansiyelleme maşası	45
Resim 4.2. Topraklama maşası	45
Resim 4.3. Tanker topraklama sistemi.....	51

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
Ω	Ohm
m ²	Metrekare
μ	Mikro
mA	Miliamper
HZ	Herz
s	Saniye
V	Volt
Kg	Kilogram
pF	Pikofarad
mJ	Milijoule
pS/m	PikoSiemens/Metre
μ m	Mikrometre
Kısaltmalar	Açıklamalar
a.a	Alternatif Akım
d.a	Doğru Akım
FACE	Fatality Assessment And Control Evaluation
ILO	Uluslararası Çalışma Örgütü
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEC	International Electrotechnical Commission
IT	Isolation-Terra (Yalıtım-Toprak)
K.A.R.	Kaçak Akım Rölesi (Artık akım anahtarı)
NIOSH	The National Institute for Occupational Safety and Health
NEC	National Electrical Code
NFPA	Natioal Fire Protection Association
SGK	Sosyal Güvenlik Kurumu
Standart	BS 5958

Kısaltmalar**Açıklamalar****TEİAŞ**

Türkiye Elektrik İletim A.Ş.

TN

Terra-Notr (Toprak-Nötr)

TN-C

Terra-Notr /Combine(Toprak-Toprak/ Birleşik)

TN-S

Terra-Notr /Separate(Toprak-Toprak/ Ayır)

TT

Terra-Terra (Toprak-Toprak)

1. GİRİŞ

Sanayi devriminin getirdiği ağır şartlar sonucu ortaya çıkan iş sağlığı ve güvenliği kavramı günümüzde hala her gün değişmekte ve gelişmektedir. İş kazası kavramının da bu değişime hızlandırıcı etki gösterdiği düşünülürse bu konuda yapılacak çalışmaların olumlu etki göstereceği aşîkârdır. Ülkemizde 2012 yılında 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun çıkarılmasıyla iş sağlığı ve güvenliği konusuna ayrı ve özel bir düzenleme getirilmiş; sorumluluklar ve yaptırımlar artırılmış; böylece iş kazası yaşanmaması amaçlanmıştır. Ancak; ülkemizde her yıl yüz binlerce insan iş kazası geçirmektedir. Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) tarafından 2015 yılında yayınlanan iş kazaları ve meslek hastalığı istatistiklerine bakıldığında; 241 547 çalışanın iş kazası geçirdiği görülmektedir. 2016 yılında 286 068 çalışan iş kazası geçirmiş; bu kazaların 49 506'sı metal sektöründe meydana gelmiştir. 1405 çalışanın geçirdiği iş kazası sonucu hayatını kaybettiği görülmektedir. En son yayınlanan 2017 yılı istatistiklerinde ise 359 653 çalışan iş kazası geçirmiş; bu kazaların 58 874'ü metal sektöründe meydana gelmiştir. Çalışanların 1633'ünün geçirdiği iş kazası sonucu hayatını kaybettiği görülmektedir. Bu rakamlara bakıldığında iş kazalarının ve iş kazalarına bağlı ölümlerin arttığı açıkça görülmektedir.

İş kazasının yaşanmasıyla; maliyet, kayıp işgünü, kayıp işgücü, psikososyal etmenler vb. kavramlar ortaya çıkmaktadır. İş kazası sonucu devletin ve işveren kuruluşların kaybettiği parasal miktar ile iş sağlığı ve güvenliği önlemlerine yapılan harcamaların kıyaslamaları göstermektedir ki; iş sağlığı ve güvenliği önlemlerine bütçe ayrılarak daha yüksek meblağlarda kayıplar önlenebilmektedir (Bayram vd., 2017, Thepaksorn ve Pongpanich, 2014). Yapılan araştırmalar; 2012 yılında metal sektöründe iş kazası maliyet kayıplarının 6 409 561 TL olduğunu (Durdu, 2014); 2011 yılında TEİAŞ'ta yaşanan iş kazalarının maliyetinin 2 193 277 \$ olduğunu göstermiştir (Ceylan, 2012). Ayrıca; TEİAŞ'ta iş kazalarının %58,7'si mesleki eğitimi olan çalışanlar tarafından geçirilmiştir.

Mesleği elektrikçi olup elektrik kazası geçiren çalışanlardan; kazanın sonuçlarına rağmen çalışanların bir kısmının bu kazaları normal hatta küçük bir olay olarak gördüğü; geri kalan çalışanların ise bu olay sonunda daha dikkatli davrandığı yönünde sonuçlara ulaşılmıştır (Thomee ve Jacobson, 2018). 2017 yılı SGK istatistiklerine göre bilim ve mühendislik ile ilgili profesyonel meslek mensuplarında 1471 çalışan, Bilim ve mühendislik ile ilgili yardımcı profesyonel meslek mensuplarında 7275 çalışan, elektrik ve elektronik işinde

Çalışanlardan 3710 alışan iş kazası geçirmiştir. 7590 çalışan elektrik akımı, ısı, tehlikeli maddelerle temas nedeniyle yaralanmıştır. Ayrıca 15 089 çalışanın yaralanma nedeni hakkında bilgi bulunmamaktadır. Kaza istatistiklerine bakıldığında; her gün en az bir çalışanın elektrik akımı nedeniyle yaralandığı, mesleği gereği yeterli elektrik eğitimi almış olmasına rağmen günde ortalama 10 çalışanın iş kazası geçirdiği görülmektedir. Ayrıca bu veriler, işyerlerinde elektrik konusunda önlem yetersizliği olduğunun en temel göstergesidir. Mesleki eğitim ve iş sağlığı ve güvenliği eğitimi alınmasına rağmen iş kazalarının yüksek olması ise verilen eğitimlerin etkinliğinin gözden geçirilmesini gerektirmektedir (Nayir, 2013).

Elektrik enerjisinin insan vücuduna olan etkisi incelendiğinde fizyolojik ve psikolojik etkisinin olduğu görülmektedir. zerinden akım geçen insan vücudunda akımın oluşturduğu ısıya maruziyet nedeniyle hücre kayıpları ve iç ve dış yanmalar görülmektedir. Bunun sonucunda doku ve organ kayıpları yaşanmaktadır. Elektrik enerjisinin tehlikesinin farkında olmayan çalışanlarda doğal olarak bu durum davranışlarına yansımaktadır. Elektrikle güvensiz çalışma sonucu çalışanlar kaza geçirmekte ve makineler arızalanmaktadır. 2017 yılında makine işletimi esnasında ölenlerin sayısı 58 iken; el aletleriyle çalışırken ölenlerin sayısı 86'dır. Elektrik sorunları, patlama, yangın nedeniyle sapma başlığı altında ise toplam 4161 çalışan iş kazası geçirmiş ve 104 çalışan hayatını kaybetmiştir. İş Teftiş Kurulu Başkanlığınca 2008-2015 yılları arasında incelenen iş kazası raporu istatistiklerine bakıldığında; elektrik akımından ileri gelen kazalarda 65 çalışanın yaralandığı ve 50 çalışanın hayatını kaybettiği görülmektedir.

SGK'nın 2017 yılı istatistiklerine bakıldığında Ana Metal Sanayiinde 15 330 erkek ve 340 kadın iş kazası geçirmiş, 29 erkek iş kazası geçirerek hayatını kaybetmiştir. Makine ve teçhizat hariç fabrikasyon metal ürünleri imalatında ise 36 erkek iş kazası geçirerek hayatını kaybetmiştir. lml iş kazalarının yaşanıyor olması sektörde iş sağlığı ve güvenliğine daha çok önem verilmesi gerektiğini göstermektedir. Metal sektöründe iş sağlığı ve güvenliği konusunda yapılan risk değerlendirmelerinde; elektrik kaynaklı yangın, elektrik çarpması, patlama riskleri belirtilmektedir. Elektrik kazalarının neden olduğu maddeler üzerine yapılan araştırmalarda, elektrik kabloları ilk sırada yer almaktadır (Liu, 2014). şarj halinde olan cihazlar, elektrik prizleri, klima, ısıtıcılar bu kazalara neden olan diğer nedenler arasındadır.

Metal sektörü işyerlerinde yapılan iş sağlığı ve güvenliği teftişlerine bakıldığında; İş Teftiş Kurulunca 2018 yılında yayınlanan 2017 yılı Ana Metal Sanayisi, Fabrikasyon Metal Ürünlerin İmalatı ve Otomotiv Yan Sanayisinde İş Sağlığı Ve Güvenliği Programlı Teftişi Sonuç Raporunda teftişi yapılan 329 işyerinde ‘Elektrik/ Kaçak Akım/ Gövde Güvenlik Topraklaması’ risklerine yönelik olarak 602 mevzuata aykırılık tespit edilmiş olup 29 adet mevzuata aykırılığın teftiş sonucu halen devam ettiği belirtilmiştir. Bu risk gurubunda tespit edilen mevzuata aykırılıklar tüm tespit edilenlerin %8.6’sını karşılamakta olup toplamda 31 adet risk belirtilmiştir. Elektrik tesisatının dahil edildiği ‘Tesisatlar Periyodik Kontrol’ riskine yönelik 475 adet mevzuata aykırılık tespit edilmiş olup 35 adet mevzuata aykırılığın teftiş sonucu halen devam ettiği belirtilmiştir. Teftiş esnasında elektrik ile ilgili tespit edilen hususlar genel olarak denetim ve muayene, makinelerin topraklanması, elektrik tesisatının yıpranma, eskime vb. nedenlerle tahrip olması, tesisatın yanıcı veya patlayıcı ortamlara uygunluğu, tesisatın kullanım amacına uygun seçimi ve tesisidir. Bu hususlara bakıldığında risk değerlendirmelerinde belirtilen tehlike ve risklerin giderilmediği sonucuna varılabilmektedir.

Metal sektöründe tespit edilen elektrikle ilgili mevzuata aykırılıklar ve elektrik enerjisinin insan üzerindeki fizyolojik ve psikolojik etkisi göz önünde bulundurulduğunda metal sektöründe elektrik konusunda ayrıntılı bir çalışmanın gerekliliği görülmüştür. Literatür incelendiğinde çoğunluk olarak elektrik kaynaklı kazaların maddesel boyuttaki (elektrik çarpması, ark nedeniyle patlama, doğrudan dokunma vs.) nedenlerine bakıldığı görülmüştür. Ayrıca metal sektöründe ‘neden analizinin’ yapıldığı bir çalışma bulunamamıştır.

Çalışmanın amacı

Çalışmada gövde güvenlik topraklaması ve statik elektrik topraklamasının etkinliği konusunda teknik araştırma yapılarak; kazaları önlemede tek başlarına yeterli olup olmadıkları irdelenmiştir. Ülkemizde sıklıkla görülen topraklama direnç değeri hesaplama hatalarının önüne geçilmek amacıyla hangi hesapların yapılması gerektiği; yapılacak olan topraklamanın ne kadar etkili olacağı gibi sorulara tek bir kaynak altında toplanarak cevap bulunması amaçlanmıştır. Ayrıca metal sektöründe meydana gelen elektrik kaynaklı iş kazalarının nedenleri tespit edilerek önceliklendirilmiştir. Bu sayede metal sektörü işyerlerinde yapılacak olan risk değerlendirmeleri esnasında, elektrik ile ilgili maddelerde

kontrol tedbirlerinin ve termin sürelerinin kararlaştırılmasında öncelik verilmesi gereken maddeler için kılavuz olması amaçlanmıştır.

Çalışmanın kapsamı

Gövde güvenlik topraklaması ve statik elektrik topraklaması incelemesi esnasında; ulusal ve uluslararası mevzuat ve standart hükümleri çerçevesinde kalınmıştır. Büyük endüstriyel kaza meydana gelebilecek işyerleri ve parlama-patlama ihtimali oluşturabilecek kimyasalların yoğun kullanıldığı işyerleri ve maden işyerleri hakkında ayrıntılı düzenleme ve inceleme gerektiğinden bu konulara kısıtlı olarak değinilmiştir.

Uygulama çalışma evreni olarak metal sektörü seçilmiş ve sektörde yaşanan iş kazalarından incelemeler yapılmıştır. Çalışmada; İş Teftiş Kurulu Başkanlığının verileri, FACE (Fatality Assessment And Control Evaluation) Programı verileri, Accident Investigation Summary verileri, Google Alert sistemi aracılığıyla internet gazetelerinde yayınlanmış ve içerisinde ‘electrical shock’, ‘elektrik çarpması’, ‘electrical incident’ kelimeleri geçen haberler kullanılarak 40 adet Metal Sektörü işyerinde meydana gelmiş elektrik kaynaklı iş kazası incelenmiştir. Metal sektörü için kaza neden hiyerarşi tablosu oluşturulmuş ve uzman karar vericiler (iş sağlığı ve güvenliği yönünden teftiş yapan iş müfettişleri) ile hiyerarşik sınıflandırma yoluna gidilmiştir.

Çalışma altı bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde yapılan literatür çalışması hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde gövde güvenlik topraklamasından bahsedilmektedir. Gövde güvenlik topraklaması mevzuat ve literatürde koruma topraklaması olarak geçmektedir. Bu bölümde topraklama hesabının nasıl yapıldığı, muayenede alınması gereken sınır değerlerin hesaplanma metotlarından bahsedilmiştir. Ayrıca gövde güvenlik topraklamasının olmadığı durumda elektrik çarpma riskinin daha çok olup olmadığı incelenmiş ve sadece topraklama yapılarak istenmeyen durumlardan kurtulmanın mümkün olup olmadığı; daha önce yapılan araştırmaların sonuçları, standartlar ve mevzuat hükümleri ile birleştirilerek irdelenmiştir. Dördüncü bölümde statik elektrik topraklamasından bahsedilmektedir. Statik elektriğe karşı nasıl bir topraklama yapılması gerektiğinden bahsedilmiştir. Statik elektrik topraklaması ülkemizde çok fazla bilinen ve eğitimi verilen bir topraklama çeşidi değildir. Mevzuatta yer yer atıf yapılmış ancak konu hakkında ayrı bir düzenlemeye gidilmemiştir. Bu nedenle uluslararası standartlar ve

yapılan çalışmalar incelenmiş ve topraklamanın hangi durumlarda etkili olacağı ve nasıl uygulanması gerektiği ile ilgili tespitler yapılmıştır.

Beşinci bölümde ise metal sektöründe meydana gelen elektrik kaynaklı iş kazaları incelenmiştir. Kazaya sebep olabilecek nedenler, literatür araştırması ve mesleki tecrübeler ile belirlenmiştir. Bu nedenler, 40 adet kaza incelemesi sonucunda sadeleştirilmiş ve hiyerarşık düzen oluşturulmuştur. Bu hiyerarşık düzen uzman değerlendiriciler aracılığı ile önceliklendirilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İş kazaları sonucu ölümler arasında elektrik kazaları 5. sırada yer almaktadır (Williamson ve Feyer,1998; İSİG Meclisi, 2018). Elektrik akımı üzerine yapılan çalışmalarda, elektrik akımı nedeniyle oluşan kazaların 3 farklı etkisinin olduğu kabul edilmiştir.

- 1) Elektrik çarpması
- 2) Ark sonucu yanık
- 3) Ark sonucu yüksek basınçlı patlama

Ayrıca elektrik çarpması sonucu kazazedelerde;

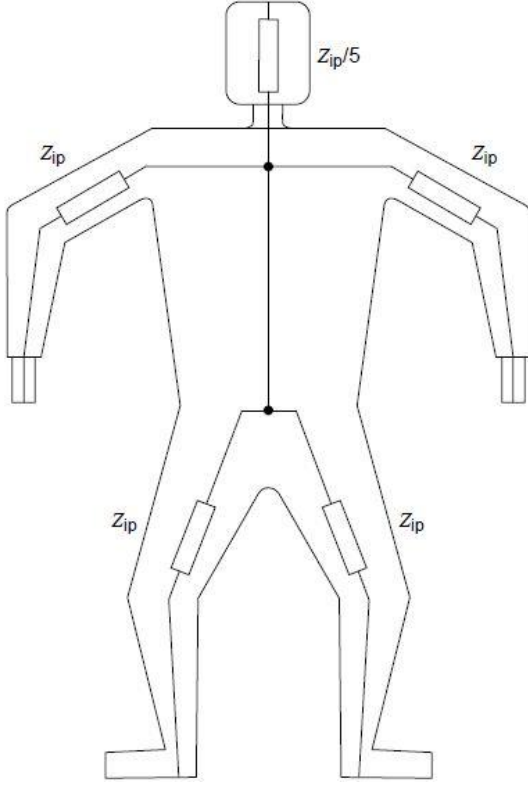
- Ağrı
- Kas kasılmaları
- Yanıklar
- Kalp krizi, gibi sonuçlar ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

Elektrik akımının insan vücudundaki fizyolojik etkisi iki ana kategoride sınıflandırılmaktadır. İlk olarak kaslarda, dokularda ve vücut sıvılarında ısıнын yayılması; ikinci olarak sinir sisteminde oluşturduğu etki (Roberts, 2010). Vücut içerisinde ısıнын yayılması; dokuların zarar görmesine, içsel yanıkların oluşmasına neden olabilmektedir. Sinir sisteminde oluşturduğu etki ise en tehlikeli etkisi olarak gösterilebilir. Kasların kontrolünün kaybedilmesi, hızlı kasılma, kalp atışının düzeninin bozulması ve hatta ventriküler fibrilasyon olarak tanımlanan kalbin düzensiz ve hızlı atması sonucu ölüme neden olabilir. Ayrıca elektrik akımının dolaylı etkisi olan; akıma maruziyet sonucu korku, telaş ile başka cisimlere çarpma, yüksekten düşme vb. örnek gösterilebilir.

Her iletken olduğu gibi insan vücudu da bir direnç değerine sahiptir. Vücut direnci kapasitif ve endüktif dirençlerden meydana gelir. Ancak dokunma gerilimi vücutta oluştuğunda kapasitörler daha şarj olmadığından ihmal edilebilir büyüklükte olurlar. Bu nedenle vücudun iç direnci (R_o) insan vücudunun iç empedansına neredeyse eşit olur.

TS 60479-1 de; insan vücudunun dirençliliğinin daha çok kollar ve bacaklarda olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle vücudun iç ve orta bölgelerindeki dirençler ihmal edilebilir.

Buna göre insan vücudunun direnç eşdeğeri Şekil 2.1'deki gibi olmaktadır; Burada Z_{ip} değeri bir kol ya da bacak için iç direnç değeridir.



Şekil 2.1. İnsan vücudunun eşdeğer direnç devresi görünümü

Vücudumuzun kaç volt gerilime kadar dayanabildiği ile ilgili geçmişten günümüze birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucu tehlikeli gerilim için sınır değer kabulleri yapılmıştır. Ülkemizde tehlikeli gerilim; Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliğinde “etkin değeri alçak gerilimde 50 voltun üzerinde olan, yüksek gerilimde hata süresine bağlı olarak değişen gerilimdir” olarak tanımlanmaktadır. Bu değer alçak gerilimde 50 V seçilmesi; TS EN 60364-1 standardında belirtilen akım ve zaman diyagramında belirtilen bölgelere göre belirlenmiştir. Yine aynı diyagramdan tehlikeli aşırı gerilimlerin oluşmasını engellemek amacıyla hattın başına konacak devre kesicilerin açma sürelerinin de tespiti yapılmaktadır.

İnsan vücudunun direnç değeriyle ilgili deneyler direnç değerinin birçok faktöre dayandığını göstermiştir (TS 60479-1).

1. Akımın vücutta izlediği yol,
2. Maruz kalınan dokunma gerilimi,
3. Akıma maruz kalınan süre,
4. Frekans,
5. Derinin dayanma gerilim değeri,
6. Temas edilen yüzeyin alanı,
7. Basınç,
8. Sıcaklık.

Webster (2010) tarafından yapılan araştırmada; 70 kg olan bir insan, iki elinde tutmakta olduğu bakır bir kablo ile 60 Hz'lik bir akıma 1 ila 3 saniye kadar maruz bırakılmıştır. 0.5 mA de elektrik akımı algılanmaya başlanmıştır. 6 mA'e kadar elinde tuttuğu bakır çubukları bırakabilmiştir. 18-22 mA'den itibaren solunumda zorluk çekmeye başlamıştır. 75-400 mA'den itibaren kalbinde kasılmalar hızlanmış ve ventriküler fibrilasyon başlamıştır. Bu deney ile vücuttan geçen akım değerinin ne kadar önemli olduğu vurgulanmaktadır. Kadın, erkek ve çocuk vücutlarının elektrik akımına verdiği tehlikeler vücut yapılarının farklı olması nedeniyle değişmektedir. Örneğin; kadınların istemli olarak elektrik çarpmasından kurtulabileceği en yüksek akım değeri yaklaşık 6 mA iken erkeklerde bu değer 9 mA ve çocuklarda ise 4 mA civarında bulunmuştur (TS 60479-1).

Yapılan başka bir araştırmada; suda bulunan insan vücudunun ölüm eşiğine gelmeden en fazla kaç volt elektriğe dayanabildiği incelenmiştir. Deneyde insan vücudunun direncinin suda 300 Ω olduğu kabul edilmiştir. NIOSH standartlarına göre 100 mA akıma maruziyetin insan vücudunda ventriküler fibrilasyonu başlattığı belirtilmektedir. Bu durumda;

Gereken gerilim değeri= Akım x Direnç

$$\text{Gerilim} = 100 \text{ mA} \times 300 \Omega = 30 \text{ V} \quad (2.1)$$

Bu değer göstermektedir ki su ile temasın bulunduğu ortamlarda 30 V değerinde bir elektriğe maruz kalmak bile ölümcül olabilmektedir. Tehlikeli gerilimin değişebilir bir gerilim değeri olduğu bu deneylerle anlaşılmaktadır. Çizelge 2.1'de akımın vücuda giriş yerine göre 50/60 Hz'de ventriküler fibrilasyon akım sınırı belirtilmektedir.

Su ile temasta elektrik çarpması iki şekilde olmaktadır. Birincisi; havuzlar, küvetler ve göl gibi mekanlarda meydana gelmektedir. İkinci olarak kişilerin su içerisinde bulunan iletkenin oluşturduğu elektrik alanın kapsamında bulunmasıdır. Örnek olarak elektrikli su ısıtıcıları örnek gösterilebilir (Fish vd., 2009).

Çizelge 2.1. a.a. 50/60 Hz’de ventriküler fibrilasyon akım sınırı (TS 60479-1)

Akım yolu	Ventriküler fibrilasyon akım sınırı	Tuzlu suda ıslak derinin uzun süreli temasında a.a. dokunma gerilimini hissetme gerilim değeri	
		Geniş yüzey teması	Orta genişlikte yüzey teması
Elden ele	100 mA	90 V	160 V
İki elden ayaklara	40 mA	20 V	36 V
Elden oturma noktasında	57 mA	27V	49 V
Sol el – göğüs arası	27 mA	18V	41 V
Sağ el- göğüs arası	31 mA	21 V	47 V

Peng ve Shikui (1995) tarafından yapılan kaza incelemesinde; yüksek sıcaklık ve nem durumunda, akıma uzun süreli maruz kaldıkları tespit edilen vakalarda; 24-47 V arası a.a.’da elektrik yanıkları sol yanak, sol çene ve göbeğin sol tarafında olduğu görülmüştür. 45-75 V arası a.a.’da elektriksel yanıklar üst ve alt dudakta ve çenenin sol tarafında oluşmuştur. Otopsi sonucuna göre akciğerlerde ödem oluşması tespit edilmiş ve birçok organda kan toplanması görülmüştür. Bu sonuçlar Çizelge 2.1 incelendiğinde de görülebilmektedir.

Yine Roberts (2010) tarafından yapılan araştırmada; 50 V tehlikeli gerilim sınırının altında yaşanan kazalar incelenmiştir. İnceleme sonucunda 50 V’un güvenli bölge olmadığı belirtilmiştir.

Liu vd., (2014)’nin elektrik çarpmasıyla ilgili yaptığı araştırmada; alçak gerilim sonucu elektrik çarpmasından ölen 71 kişinin analizi yapılmıştır. Bu analizin sonucunda ölüm oranının çok olduğu yaş aralığının erkek ve kadında aynı olduğu ve 21-30, 31-40 yaşları arasında olduğu belirlenmiştir. Elektrik çarpması nedeniyle ölenlerin %87.33’ünün erkek olduğu görülmüştür. Elektrik çarpmasına neden olan olaylar sıralandığında ise ilk sırada %38.02 ile elektrik kablosu, %28.17 ile şarjlı makineler yer almaktadır. Diğer nedenlere

örnek olarak; elektrik prizi, elektrikli ocak, buzdolabı, su ısıtıcı vb. verilmektedir. Bu kazaların %42.25'inin fabrika ortamında meydana geldiği görülmüştür.

Gençer (2011); alçak gerilim dağıtım şebekelerinde direklere uygulanan koruma topraklamasının etkinliğini gösteren bir çalışma yapmıştır. TT şebeke üzerine yapılan çalışmanın sonucunda Türkiye'de mevcut alçak gerilim elektrik dağıtım şebekelerinde kullanılan dağıtım panolarında TT topraklama sisteminden kaynaklanan tek kutuplu faz-toprak arızaları ve nötr kopmalarında meydana gelen arıza akımları, panolardaki sigortaların açma akımlarının altında kalmaları veya sigortaları 5s içerisinde açtırarak devreden çıkaramayacak kadar az değerlerde olduğunu tespit etmiştir.

Bikson (2014) yaptığı çalışmada; daha önce yapılan araştırmaların sonuçlarını; devlet tarafından yayınlanan istatistikler ve standart çıkarmaya yetkili kuruluşlar tarafından yayımlanan önerilerle birleştirerek elektrik kazalarını incelemiştir. Ayrıca güvenli gerilim seviyesinin tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Çalışmada ıslak bir ortamda akımın elden ele geçmesi durumu ele alınmıştır. Maruz kalınan elektrik akımı için belirtilen insan direncinin 550Ω alındığında yapılan deneyler sonucu 25 V gerilim değerinin öldürücü gerilim değerleri arasında en düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada Amerika'da yaşanan elektrik kazaları sonucu her yıl 1000'e yakın kişinin öldüğü belirtilmiştir. Ölümün 3'te 1'inin 1000 V ve altı gerilim nedeniyle olduğunu, bu ölümlerden ise yaklaşık 200 kadarının 250 V ve altında olduğu belirtilmiştir.

Statik elektrik üretimi üzerine birçok araştırılma yapılmış, boşalmaları türleri tespit edilmiş, boşalma anında açığa çıkan enerjinin büyüklüğü yapılan deneylerle tespit edilmiştir. Bu konuda yapılan en büyük çalışmalardan birisi BS 5958 standardıdır. Bu standartta statik elektrik türlerinden boşalma çeşitlerine, endüstriyel işlemlerde kullanılan proseslerin statik elektrik üreten aşamaları, kullanılan ekipmanların statik elektrik depolama durumuna kadar bütün bilgiler yer almaktadır. Burada ayrıca istenmeyen etkilerin önlenmesi adına yapılabilecek faaliyetlere de değinilmiştir. Bir diğer standartlaştırılmış çalışma ise NFPA 77 standardıdır. Statik elektrikten korunma yollarında topraklama yönteminde örneklerle açıklamış olan standartta alınması gereken önlemlere değinilmiştir.

Kassebaum ve Kocken (1997) tarafından tehlikeli alanlarda meydana gelen statik elektriğin kontrolü ile ilgili yapılan araştırmada; tutuşturma kaynağı ile malzemelerin tutuşma enerjileri arasındaki ilişki gösterilmiş; malzemelerin üzerinde statik yük birikmemesi için üst sınır direnç değeri hesaplamışlardır. Ayrıca statik elektrik ile yapılan çalışmalarda güvenlik kurallarının önceden belirlenmesini sağlayacak eylem planının hazırlanması gerektiğini vurgulanmıştır.

Statik elektriğin birikmesinin ve boşalma sırasında meydana gelen enerji miktarının temas halindeki maddelerin çeşidine, maddelerin yüzey şekillerine göre değiştiği yapılan araştırmalarla ortaya konulmuştur. Ayrıca bu boşalmalarda meydana gelen yük yoğunluğunun hesaplanabilmesi için formüller geliştirilmiştir (Stellman ve Gillespie, 2011).

Statik elektriğin kontrolünü sağlayan çeşitli metotlar bulunmaktadır. Bunlar topraklama ve eşpotansiyellemenin dışında endüstriyel işleme göre değişebilmektedir. Örneğin; kağıt üretiminde topraklama yapılmasının yetersiz olduğu yaşanan kazalar ve yapılan çalışmalar sonucu bilindiğinden nemlendirme gibi alternatif yada yardımcı yöntemlere yönelinmiştir (IEEE, 2007). Endüstriyel işlemler incelendiğinde birçok aşamada yük açığa çıktığı tespit edilmiştir. Bu yüklerin kimi yerde yangına sebep verdiği kimi yerde ise makine ve ekipmanın arızalanmasına yada çalışanların olumsuz yönde etkilenmesine neden olduğu görülmüştür (Kılıç, 2013).

Statik elektrik boşalması sonucu açığa çıkan enerjinin yanıcı ve patlayıcı maddelerin bulunduğu yada üretildiği yerlerde ciddi tehlikeler oluşturduğu yapılan araştırmalar sonucu kanıtlanmıştır. Bu yerlerde tamamen iletken malzeme kullanımı ve topraklama ve eşpotansiyelleme sistemlerinin ilk önleme yöntemi olması gerekliliği yine yapılan araştırmalarla ortaya konulmuştur. Bu konu tehlikeli ortamlarda statik elektriğe karşı alınması gereken önlem olarak yerini almıştır (Coles, 2006).

Elektrik kazaları üzerine ülkemizde ve uluslararası kapsamda araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar incelendiğinde; araştırma evreni olarak elektrik üretim, iletim ve dağıtım sektörü öne çıkmaktadır. İnşaat sektöründe de araştırmalar bulunmaktadır. Araştırmalara göre bu işyerlerinde elektrikçiler ve yüksek gerilim hattı tamircileri en riskli grup olmuştur. Zhao vd. (2014) ve Chi vd. (2009) tarafından yapılan incelemelerin sonucunda; tüm

sektörlerde elektrik ile doğrudan çalışma halinde olan elektrikçilerin; kaza geçirme riskinin yüksek olduğu sonucu görülmüştür. Cebador vd. (2013) tarafından İspanyada yapı sektörüne yönelik yapılan araştırmada; 2003 ve 2008 yılları arasında elektrik nedenli kaza geçirenlerin %30.58'i elektrikçiler olduğu tespit edilmiştir.

Elektrikle güvenli çalışma adına yapılan yanlışlara; önlem ve kuralların elektrikçilere yönelik olması örnek gösterilebilir. Ancak kazaların neredeyse yarısının elektrikçiler dışında kalan çalışanlar tarafından yaşandığı görülmektedir (Floyd, 2015). Yapılan araştırmalar; diğer çalışan olarak kabul edilebilecek endüstriyel makine operatörleri, elle tutulan iş ekipmanı kullanıcıları, makine tamircileri, kaynakçılar vb. gibi çalışanların da elektrik akımına maruz kalma riskinin çok yüksek olduğu göstermiştir (Floyd, 2015; Neitzel, 2015).

Metal sektöründe diğer çalışanlar olarak sınıflandırılan kaynakçı, operatör vb. meslekler sektördeki ana meslek gruplarındandır. Çalışmada metal sektörünün seçilmesinde; literatür çalışması esnasında diğer çalışanların ihmal edildiği sonucuna varılması bir etken olmuştur.

Ülkemizde ve uluslararası platformlarda yayınlanmış istatistiklerde çalışanın yaşı, kazanın oluş saati, kayıp iş günü vb. verilerin daha çok öne çıktığı görülmektedir. Ayrıca tıbbi alanda da elektrik kazaları geniş inceleme alanı imkânı sunmaktadır. Verilere ulaşımın kolay olması nedeniyle de iş kazası üzerine yapılan çalışmalarda genel olarak bu veriler kullanılmıştır. Ceylan (2012); Türen ve Gökmen (2014) yaptıkları çalışmalarda kaza geçiren çalışanların yaş, tecrübe, cinsiyet vb. yönden durumlarını inceleyerek yaşlanma arttıkça iş kazalarının arttığı ancak 44 yaşından sonra kaza oranında düşme yaşandığı, erkeklerin kadınlara göre daha çok kaza geçirdiği sonuçlarına ulaşmışlardır. Jeong (1999) tarafından yapılan çalışmada ölümcül ve ölümcül olmayan kazalarda yaş, tecrübe vb. gibi verilerin farklılık gösterdiği görülmüş, büyük firmalarda kaza sayısının daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Zhao vd. (2014) tarafından Amerika'da inşaat sektöründe yaşanan elektrik çarpmalarına bağlı kazalarla yapılan incelemede; uygunsuz çalışma ortamlarından kaçınmak adına işverenlik tarafından bir değerlendirme yapılmadığı tespit edilmiştir. Kita vd. (2014) tarafından iş kazası sonrası işe dönüş yapan çalışanlar arsında bir araştırma yapılmıştır. Araştırmada 13 çalışanın demografik, eğitim ve çalışma karakteristiği incelenmiştir. Araştırmanın sonunda çalışanların uzun süreli fiziksel, bilişsel ve

psikososyal bozukluklar yaşadıkları; elektrik akımına maruziyetin diğer iş kazalarına göre güvenli çalışmada daha etkili olduğu; işe dönüş sonrasında planlı bir geçiş dönemi sağlanması gerektiği sonuçlarına ulaşılmıştır. Neonen (2011) tarafından Finlandiya üretim sektöründe meydana gelen kazaların sebepleri ile ilgili olarak yapılan araştırmada; kazaların en çok hatalı çalışma şekline, etkisiz güvenlik ekipmanı kullanımından ve makine arızaları nedeniyle yaşandığı görülmüştür. Ayrıca hazırlama-kurma-sökme işlemleri veya yüksek alanlarda çalışma esnasında kaza geçirildiği görülmüştür. Elektrik kaynaklı kazalar ile ilgili olarak ise Williamson ve Feyer (1998) yaptıkları çalışmada yaşanan kazaların nedenlerini incelemiştir. Sonuçta; kaza geçiren çalışanların genellikle yanlış yerlerde durdukları, çalışma alanlarının etraflarında korunma olmadığı ve bu nedenle aktif parçalara temas edildiği görülmüştür.

Bazı çalışmalarda elektrik akımı ve geriliminin etkisine bakılmıştır. Bikson (2014) ve Ichskawa (2016) yaptıkları çalışmada maruz kalınan elektrik akımının büyüklüğünü irdelemiştir. Ichskawa (2016) çalışmasında meydana gelen iş kazaların birçoğunun 100 V ile 200 V arasında olduğunu göstermiştir. Bikson (2014) ise; 25 V'un kendiliğinden bırakma eşik değeri olduğunu belirtmiştir. Piotrowski vd. (2014) tarafından yapılan, 1996 yılı ile 2005 yılları arasında Fransız bir enerji firmasında yaşanan elektrik kazalarının incelemesinde; kazaların % 73'ünün alçak gerilim sebebiyle meydana geldiği belirtilmiştir.

İş kazaları ya da çalışan görüşlerinin risk değerlendirmesi aşamasında veri olarak kullanımının skor hesaplamasında faydalı sonuçlar verdiği görüldükçe bu verilerin kullanımı yaygın hale gelmektedir. Özdemir (2014) çalışmasında kazaların genel etkenlerini bulmak amacıyla seçtiği metal sektörü çalışanlarına anket uygulamıştır. Çalışanlara iş sağlığı ve güvenliği konusunda çeşitli sorular sorarak bilgi düzeylerini ölçmüş; sonuçta çalışanlar eğitim aldığı halde bilgilerin kalıcı olmadığı tespit edilmiştir. Nayir (2013); TEİAŞ çalışanlarının geçirdiği kaza verilerini incelemiştir. Bu çalışanların geçirdiği kazaların önemli bir kısmının büyük kazalar olduğu görülmüştür. Kazaya maruz kalan çalışanların %70'nin iş sağlığı ve güvenliği eğitimi almış olduğu sonucuna ulaşmıştır. Sonuçta verilen eğitimin etkinliğinin sorgulanması gerekliliği vurgulanmıştır. Akalp vd. (2015) yaptığı çalışmada kadın çalışanlara yönelttiği sorularla metal sektöründe çalışan kadınların çalışma ortamındaki tehlikeler hakkındaki bilgi durumlarını tespit etmeyi amaçlamıştır. Kadın çalışanların işyerinde maruz kaldıkları kas-iskelet

problemlerinden habersiz oldukları, güvenlik farkındalıklarının ise iş yerinde önlem alındıkça arttığı sonuçlarına ulaşılmıştır.

Bazı çalışmalarda iş kazaları istatistiki olarak değerlendirilerek sayısal sonuçlar risk değerlendirmesinde çarpan olarak kullanılmıştır. (Marhavillas vd., 2011; Gürcanlı ve Müngen, 2006). Risk değerlendirmesi sürecinde şiddet belirleme gibi faktörlerin kantitatif olması daha etkin cevaplar alınmasını sağlamaktadır. Bu amaçla kaza verilerinin skor hesaplamasına katılması amaçlanmıştır. Chi vd. (2012) akış diyagramı yöntemi kullanarak maruziyetten itibaren kaza nedenini inceleyerek kök nedene ulaşmış; yüzde olarak skor hesabı yapmıştır.

Bir iş kazasının meydana gelmesinde ekipman, organizasyon ve insan faktörlerinden en az bir tanesinde hata meydana gelmesi gerekir. Williamson ve Feyer (1998); ekipman, organizasyon ve insan faktörünün tamamı göz önünde bulundurarak elektrik kazalarının önlenmesi için araştırma yapmış; uygunsuz çalışma koşullarının ve insan faktörünün ölümcül kazalarda ana neden olduğu sonucuna ulaşmıştır. Mohla vd. (1999); çalışmasında elektrik sistem tasarımının güvenlik için önemi vurgulamış; McClung ve Hill (2010) çalışmalarında elektrik tesisatının tasarım teknikleri için yeni uygulama önerileri getirerek, elektrikle çalışmayı daha güvenli hale getirmeyi amaçlamışlardır.

Yapılan araştırmalarda yöntem ve verilere bakıldığında genel olarak tek bir veri kaynağı kullanımının yaygın olduğu görülmektedir. Çalışmamızda özellikle kaza nedeni tespit aşamasında tek bir modele ve veriye bağlı kalınmayarak, kaza nedenleri geniş çaplı bir yaklaşımla belirlenmiştir.

3. GÖVDE GÜVENLİK TOPRAKLAMASI

Topraklama elektrik akımının temel taşıdır. Aynı şekilde gövde güvenlik topraklaması da elektrikle güvenli çalışmanın temel taşıdır. Elektrik akımına maruziyete karşı birincil önlem olarak uygulanmaktadır. Koruma topraklaması olarak mevzuatta yer almaktadır.

Koruma topraklaması Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği'nde; "Bir yalıtım hatasında (tam gövde teması) elektrik devresinin aşırı akım koruma aygıtları ile açılmasını sağlamak için, gerilim altında olmayan iletken tesis bölümlerinin topraklayıcılara ya da topraklanmış bölümlere doğrudan doğruya bağlanmasıdır" şeklinde tanımlanmaktadır. Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği'nde ise; "İnsanları tehlikeli dokunma gerilimlerine karşı korumak için, işletme akım devresinde bulunmayan iletken bir bölümün topraklanmasıdır" olarak tanımlanmaktadır.

Yalıtım hatası; yalıtımdaki hata sonucu sistemde ortaya çıkan hatadır. Yalıtım yani izolasyon ise; bir ortamda bulunan elektrik enerjisinin başka bir ortama geçmesinin engellenmesidir. Yalıtımın hata vermesine neden olan sebepler şu şekilde sıralanabilir (Calvas, 2004: 4);

- 1) Yapım aşamasında meydana gelen sebepler;
 - a) Kabloların yalıtkanlık özelliklerinde mekanik zarar meydana gelmesi,
- 2) Çalışma esnasında oluşan sebepler;
 - a) İletken tozların birikmesiyle,
 - b) İzolasyonu sağlayan parçaların ısı dayanımlarının; aşırı akım, harmonikler, havalandırması yapılmayan ortamlar, kablo kanalında aynı anda çok sayıda kablo bulunması ve iklim koşulları sebebiyle oluşan aşırı sıcaklık sonucu zarar görmesi,
 - c) Kısa devre esnasında oluşan elektrodinamik güç sebebiyle kabloların zarar görmesi ya da kablolar arası boşluğun azalması,
 - d) Çalışma sırasında oluşan ya da yıldırım sonucu oluşan aşırı gerilimlerden,
 - e) Orta gerilimde meydana gelen yalıtım hatası nedeniyle 50 Hz'lik dönüş aşırı gerilimleri.

Bir izolasyon hatası oluşum nedenine bakılmaksızın aşağıda sayılanlar için tehlike oluşturur(Calvas, 2004: 5):

- 1) İnsan hayatı,
- 2) Eşyaların korunması,
- 3) Elektrik enerjisinin kullanılabilirliği.

Yukarıda sayılan maddelerin korunması yalıtımın güvenilirliğine de bağlıdır.

Koruma topraklaması TS HD 60364-4-41 standardında arıza koruması (doğrudan temasa karşı koruma) için alınan tedbirlerden biri olarak bahsedilmektedir. Standartta şebeke türlerine göre koruma topraklamasının özellikleri ve direnç değerleri hakkında bilgi verilmektedir.

Şebeke türleri topraklama sisteminin yapısına göre 3 şekilde olur; TN, TT, IT. TN sistemde trafonun topraklanan yıldız yada üçgen noktası hem koruma iletkeni hem de nötr iletkeni olarak kullanılır. TN sistem kendi içerisinde koruma ve nötr topraklamasının aynı yada ayrı hatlar üzerinden getirilmesine göre 3 çeşitte yapılmaktadır. Bu sistemde koruma iletkeni (PE) ve Nötr İletkeni (N) birlikte kullanıldığında PEN iletkeni olarak adlandırılmaktadır.

TT sistemde koruma topraklaması ve nötr topraklaması ayrı topraklayıcı üzerinden yapılır. Burada genellikle trafonun yıldız yada üçgen noktası topraklanarak nötr hattı oluşturulur. Koruma topraklaması ise binaların temel topraklama sistemine birleştirilebilir ya da çubuk, levha topraklayıcı dediğimiz sistemler aracılığıyla oluşturulabilir.

IT sistem ise hastanelerde ameliyathane, yoğun bakım üniteleri gibi merkezlerde kullanılan bir sistemdir. Bu sistem toprakla irtibatlandırmanın yapılmadığı ya da çok yüksek empedanslar üzerinden yapıldığı sistemlerdir.

TN sistem için dolaylı temasa karşı korunma (arıza koruması) amacıyla aşağıda belirtilen koruma cihazları kullanılabilir;

1. Aşırı akım koruma cihazları
2. Artık akım koruyucu cihazlar (K.A.R.)

TN sistem için yapılan koruma topraklamasının güvenliği ve bütünlüğü PEN ya da PE iletkenlerinin toprağa güvenilir ve etkin bağlantısına bağlıdır (TS HD 60364-4-41). Burada sistem tek bir PEN iletkeni üzerinden korunuyorsa PEN iletkenindeki kopma riski en aza indirilerek tesis edilmelidir.

TN sisteminde iletkenler seçilirken

$$\frac{R_b}{R_e} \leq \frac{50 \text{ V}}{U_0 - 50 \text{ V}} \quad (3.1)$$

şartına uymalıdır.

Burada R_b direnci; toprak elektrot direnci, R_e ise arıza meydana gelebilen koruyucu iletkenine bağlı olmayan açıktaki iletken bölümlerin toprak ile arasında oluşan direnç değeri, U_0 ise toprağa göre a.a anma etki gerilim değeridir. TN sisteminde iletkenler seçilirken $Z_s \times I_a \leq U_0$ şartına uymalıdır. Burada Z_s ; kaynaktan arıza noktasına kadar olan hat iletkenine, arıza noktasından da kaynak arasındaki koruyucu iletken arasında oluşan arıza halkasının Ohm (Ω) cinsinden empedansıdır. I_a ise gerilim değerine göre açma süresi içinde beslemeyi kesen cihazın otomatik açılmasına neden olan anma akımıdır. Bu değerler otomatik sigortalar için 5 s’de açma akımına eşdeğerdir. Eğer sistemde artık akım cihazları kullanılıyorsa bu değer bu cihazların devreyi kesmesine neden olan artık çalışma akımıdır.

TT sisteminde topraklama hatları ayrı tesis edilmektedir. Bu nedenle TS HD 60364-4-41 standardında genel olarak TT sistemlerde artık akım koruma cihazlarının arıza koruma için kullanılması belirtilmiştir. Aşırı akım koruma cihazlarının arıza koruma için kullanılmasının ise uygun olması için Z_s değerinin düşük değerinin sürekli sağlanması ve güvenli olduğunun sağlanması şartıyla alternatif koruma olabileceği belirtilmiştir. Bilindiği üzere aşırı akım koruma cihazları devrede her zaman bulunan ve devreyi aşırı akımlardan koruyan sistemlerdir.

TT sistemde K.A.R (kaçak akım rölesi, artık akım anahtarı) kullanıldığı durumda beslemenin gerilim değerine bağlı olarak açma süresinde en geç açılması sağlanmalıdır (0,4 s, 0,8 s gibi). Ayrıca; $R_a \times I_{\Delta n} \leq 50 \text{ V}$ olması sağlanmalıdır.

Burada R_a ; açıktaki iletken bölümler ile toprak arasında bulunan koruma iletkenini ve elektrotun toplam direncidir. I_{An} ise K.A.R.'nin beyan artık çalışma akımıdır. Bu değer 30 mA değerinde K.A.R. için 30 mA dir.

Topraklama değerinin uygunluğunun incelenebilmesi için öncelikle insan vücudunun direnç değerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu konuyla ilgili birçok araştırma yapılmıştır. TS 60479-1 standardında yapılan hesaplamalar sonucu oluşturulan tablolardan örnek olarak Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de verilmiştir. Kuru ortamlarda ve orta seviyeli dokunmalar için TS 60479-1 de bulunan çizelge aşağıda gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Kuru ortam şartlarında orta genişlikte temas sonucu elden ele oluşan akım yolunda Z_t toplam vücut empedansı. (a.a 50/60 Hz sistemlerde)

Dokunma Gerilimi (V)	%50'lik Oranda Ventriküler Fibrilasyona neden olan En Fazla Ohm Değeri
25	20.600
50	13.000
75	8.200
100	5.200
125	4.000
150	3.000
175	2.500
200	2.200

Islak ortamlarda ve orta seviyeli dokunmalar için TS 60479-1'de bulunan çizelge aşağıda gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Islak ortam şartlarında orta genişlikte temas sonucu elden ele oluşan akım yolunda Z_t toplam vücut empedansı. (a.a 50/60 Hz sistemlerde)

Dokunma Gerilimi U_t (V)	%50'lik Oranda Ventriküler Fibrilasyona neden olan En Fazla Direnç Değeri (Ohm)
25	9.350
50	7.450
75	6.000
100	4.850
125	4.000
150	3.000
175	2.500
200	2.200

Yukarıda verilen tablolar vücudun direnç değerini hesaplamak için kullanılmaktadır. Standartta belirtilen formüller ve tablolar kullanılarak aşağıda vücut direnci ile kuru ve ıslak ortamlar için örnek birer hesaplama yapılmıştır;

1. Dokunma geriliminin U_t ; 200 V ve 50 V olduğu kuru bir sistemde orta büyüklükte bir dokunma alanı ile temas eden bir insanın vücudundan elden ele yolunu izleyen akımın değeri tabloda verilen değerlere göre hesaplanırsa;

$$I_t = \frac{U_t}{Z_t} \quad (3.2)$$

A) $U_t = 220$ V için Z_t değeri Çizelge 3.1’de 2.200Ω olarak görülmektedir.

$$I_t = 220 / 2.200 = 0,0909 \text{ A} = 90,9 \text{ mA}$$

B) $U_t = 50$ V için Z_t değeri Çizelge 3.1’de 13.000Ω olarak görülmektedir.

$$I_t = 50/13.000 = 0,0038 \text{ A} = 3,8 \text{ mA}$$

Burada görülmektedir ki, 200 V dokunma gerilimine maruziyette vücuttan geçen akım ölümcül seviyelerde bulunmaktadır. Bu akım değeri niteliğine göre kullanılan devre kesicilerin algılama sınırında olmayabilir. Eğer dokunma gerilimini 50 V ile sınırlarsak vücuttan geçen akım değeri daha düşük olacaktır.

2. Dokunma geriliminin 200 V ve 50 V olduğu ıslak bir sistemde orta büyüklükte bir dokunma alanı ile temas eden bir insanın vücudundan elden ele yolunu izleyen akımın değeri tabloda verilen değerlere göre hesaplanırsa;

Eş. 3.2’ye göre;

A) $U_t = 220$ V için Z_t değeri Tablo3’te 2.200Ω olarak görülmektedir.

$$I_t = 220 / 2.200 = 0,0909 \text{ A} = 90,9 \text{ mA}$$

B) $U_t = 50$ V için Z_t değeri Tablo 3’te 7.450Ω olarak görülmektedir.

$$I_t = 50/7.450 = 0,0067 \text{ A} = 6,7 \text{ mA}$$

Hesaplama da görülmektedir ki, 200 V da dokunma gerilimine maruziyette vücuttan geçen akım ölümcül seviyelerde bulunmaktadır. 1. hesaplama ile aynı şekilde; akım değeri

niteliğine göre kullanılan devre kesicilerin algılama sınırında olmayabilir. Yine dokunma gerilimini 50 V ile sınırlanması ile vücuttan geçen akım değeri düşük olacak ancak akım değeri kuru ortama göre daha yüksek olacaktır.

1 ve 2 numaralı hesaplamalarda dokunma yüzeyleri aynı boyut sınırında bulunduğu için kalp-akım faktörünün 1 olarak alınmaktadır. Bu nedenle direnç değerleri doğrudan tablodaki değerler ile aynı sonucu vermiştir. Ancak boyut farklılıklarında kalp-akım faktörü değeri değişeceğinden direnç değeri farklı çıkacaktır. TS 60479-1 Standardında orta büyüklükte elden dokunma ile geniş boyutta ayak teması arasında 200 V ta toplam elden ayağa vücut empedansı 1.560 Ω olarak bulunmuş, vücuttan geçen akım değeri ise 200 V için 270 mA bulunmuştur. 200 V orta genişlikte temas yüzeyinde geçen akım değeri 125 mA olduğu bulunduğundan yüzeyin etkisi burada görülmektedir.

Koruma topraklamasının değeri biçimi kurulan sisteme, bağlanacak makinenin anma akımına vb. durumlara bağlı olarak değişir. Dünyada kabul görmüş 3 tip sistem bulunduğu daha önce bahsedilmişti. Bu sistem türlerine göre yapılması gereken koruma topraklaması biçimi ve yapılan hesaplamalar farklılık göstermektedir.

3.1. TN Sistemi

Bu sistemde yıldız yada üçgen noktası topraklanmış şebekenin topraklanmış noktasından bir nötr hattı çekilir. Bu nötr hattı ya direk koruma iletkeni olarak kullanılır ya da farklı hatlar üzerinde çekilip en son birleştirilir. Buna göre sistem 3 çeşit olmaktadır.

TN sistemde devreler aşırı akım koruma cihazı ile korunur. Bu cihazlar aynı zamanda dokunma geriliminin oluştuğunu anlamak içinde kullanılmaktadır. Dokunma gerilimine karşı etkinliği ise bu bölümde incelenmektedir.

Çizelge 3.3'te TS HD 60364-4-41 standardında belirtilen aşırı akım koruma cihazı ile korunan bir sistemde hata durumunda cihazın açması gereken maksimum süreler belirtilmektedir. Bu süreler içinde koruma cihazları devreyi açamazsa maruz kalınan akım değerleri uzun süreli olacağından kişilerin hayatı tehlikeye girmektedir.

Çizelge 3.3. TN sistemler için en büyük açma (ayırma) süreleri

Sistem	50 V<U ₀ ≤120 V		120 V<U ₀ ≤230 V		230 V<U ₀ ≤400 V		U ₀ > 400 V	
	a.a. s	d.a. s	a.a s	d.a. s	a.a s	d.a. s	a.a s	d.a. s
TN	0,8	*	0,4	5	0,2	0,4	0,1	0,1
TT	0,3	*	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1

TN sisteminde yerine getirilmesi gereken bazı durumlar söz konusudur;

1. Aşırı akım koruma cihazıyla korunan sistemin hata anında devreyi açabilmesi için şu şartı sağlamalıdır;

$$Z_s \times I_a \leq U_0 \quad (3.3)$$

$$\frac{R_b}{R_e} \leq \frac{50 \text{ V}}{U_0 - 50 \text{ V}} \text{ değerinin sağlanması gerekir.} \quad (3.4)$$

Burada;

Z_s: Toplam çevrim empedansını

I_a: cihazın devreyi açma akım değeri

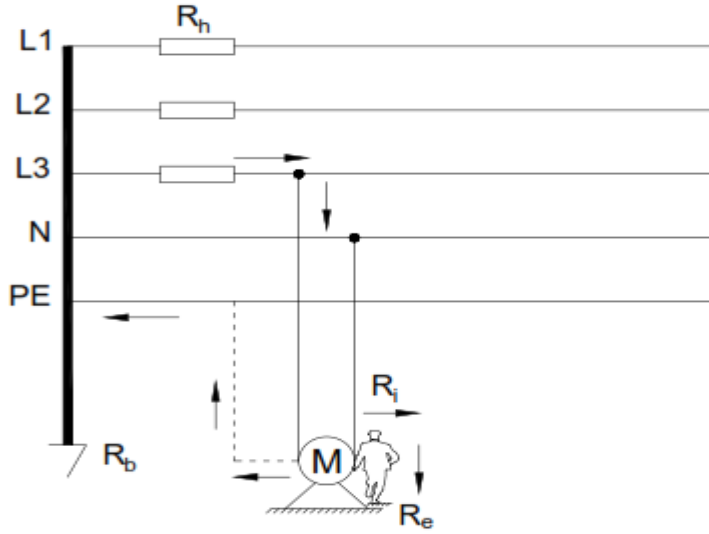
U₀: faz toprak gerilim değeri

R_b: Toprak elektrot direnci (işletme topraklaması değeri)

R_e: açıktaki aktif olmayan iletken bölümler ile toprak arasında meydana gelen direnç değeridir.

TN sistemlerin çeşitlerine göre koruma iletkenlerinin tek başına yetkinliği aşağıdaki hesaplamalarda incelenmiştir;

3.1.1. TN-S sistemi



Şekil 3.1. TN-S sistem örnek devresi

Sistem 34.5/0.4 kV topraklı trafo ile beslenmekte ve gücü 1000 kVA'dır. Bağlı kısa devre gerilimi $u_k=6\%$ olarak belirtilmiştir.

Faz-Nötr gerilimi 230 V'tur. Faz ve koruma iletkenlerinin uzunluğu 100 m olarak seçilmiştir. Bu iletkenler faz iletkeni olarak 3x50mm²'lik bakır kablo kullanılmıştır. Trafonun üçgen noktasından yapılan işletme topraklaması 2 Ω olarak tesis edilmiştir.

Trafo Reaktansı yüzde hesabıyla hesaplanarak; $X_{tr}=6/100 \times 0,4^2/1 = 0,0096 \Omega$ bulunur.

$$\text{Hat direnci } R = \rho \frac{L}{A} = 100/(56 \times 50) = 0.03729 \Omega \approx 0.04 \Omega \text{ dur.} \quad (3.5)$$

Hat reaktansı, IEC reaktans tablosundan 50 mm²'lik kablo için bakılarak $X_h=0,0779 \Omega/\text{km}$ dir.

Yukarıda özellikleri belirtilen sistem üzerinde çalışan tek fazlı bir motorda meydana gelen hata durumunda gövdede bulunan metal kısımlar üzerinde dokunma gerilimi oluşacaktır. Sistemin hatayı tespit edip etmeyeceğine bakılırsa;

Devre TN-S sistem ve aşırı akım koruma aygıtı ile korunmaktadır. TN-S sistem olması sebebiyle ayrı bir PE iletkeni bulunmaktadır. Aşırı akım koruma aygıtı 16 A'lık C tipi otomatik sigortadır. Hata durumunda açma değeri 80 A'dır (URL: www.viko.com.tr). Motorda oluşan bir yalıtım hatası nedeniyle gövde üzerinde gerilim oluşmuştur. Aşırı akım koruma cihazıyla korunan sistemin hata anında devreyi açabilmesi için aşağıda belirtilen şartı sağlamalıdır.

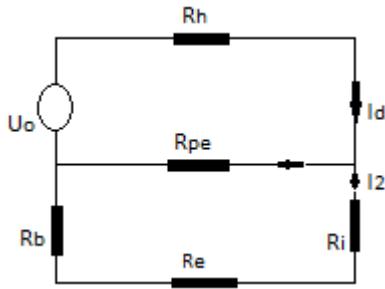
Eş. 3.3'e göre $Z_s \leq 2,875 \Omega$ olmalıdır.

Ayrıca Eş. 3.4'e göre $\frac{R_b}{R_e} \leq 50V/(230-50) V$ değerini sağlamalıdır.

O halde; $R_e \geq 7,5 \Omega$ olmalıdır.

Koruma iletkeninin kesit değeri minimum 4 mm²'lik bir iletken bakır kablo ile tesis edilmiştir. O halde PE iletkeninin direnç değeri yaklaşık olarak 0,43 Ω olmaktadır.

Bir hata durumunda insan vücudunun temas ettiği düşünölsün. Devre eşdeğeri Şekil 3'deki gibi olmaktadır.



Şekil 3.2. TN-S sistem devre eşdeğeri

Hesaplanan reaktans değerleri çok düşük olduğu için ihmal edilebilir. O halde hata meydana gelen yoldaki toplam empedans değeri;

$$Z_{\text{toplam}} = Z_s = R_{pe} + R_d + R_h \text{ olur.} \quad (3.6)$$

R_{pe} değerinin bulmak için Thevenin eşdeğer değeri bulunur. R_i insan direnci devrede bulunan R_{pe} direncinden çok yüksek olacağından $R_b + R_i + R_e$ toplamının direnç

hesaplamasına etkisi bulunmayacaktır. Bu durumumda R_{pe} değeri R_{pe} değerine yakın olacaktır. Ayrıca motorun iç direnci olan R_d direncinin değeri sıfıra yaklaşıktır. O halde devreden geçen akım değeri I_d şu şekilde hesaplanabilir;

Eş. 3.3'ten yola çıkılarak $I_d = 230 / (0,04 + 0,43) = 489,3$ A olur.

$$\frac{I_2}{I_d} = \frac{R_{pe}}{R_i + R_b + R_e} \quad (3.7)$$

$I_2 = 0,095$ A = 95 mA dir.

İnsan üzerinde oluşacak dokunma gerilimi ise Eş. 3.3'ten;

$2200 \times 0,095 = 210$ V olur.

I_d değeri bu devre için sigortanın açma akımından yüksektir. Sigortada hata olmadığı durumda 0,4 s içerisinde devre açması gerekmektedir. Sigortaların genellikle bu değeri sağlayamadığı ve 5 s içinde açtığı görülmektedir. Ancak kişi üzerinde oluşan akım ve gerilim değeri izin verilen seviyeden yüksektir. 5 s boyunca 95 mA'e maruz kalınması durumunda ventriküler fibrilasyon sonucu ölüm olur (Bayram ve Ilısu, 2004).

TN-S sistem bir başka devre incelenirse; 400V gerilim ile çalışan 5.5 kW'lık 3 fazlı motoru beslemek için 200 m uzunluğunda 4x6 mm²'lik NYY-J kablo çekilmiştir. Koruma iletkeni içinde 6 mm²'lik bakır kablo kullanılmıştır. Motor koruması için 25 A'lık D tipi otomatik sigorta konulmuştur (URL: www.legrand.com.tr). Hata durumunda devrenin değerleri;

4x6 mm²'lik NYY-J kalaylı kablonun km deki direnç değeri 3,11 Ω 'dur (URL: www.egekablo.com). O halde 200 m deki direnç değeri $R_h = 0,622$ Ω olur.

Devrede toplam direnç değeri;

Eş. 3.3'e göre $Z_s \leq 0,92$ Ω olmalıdır.

Ayrıca Eş. 3.4'e göre $\frac{R_b}{R_e} \leq 50V / (230 - 50)$ V değerini sağlamalıdır. O halde;

$R_e \geq 7,5 \Omega$ olmalıdır.

Şekil 3.2’de görülen eşdeğer devre burada da geçerli olacaktır.

O halde devrede bulunan eşdeğer direnç değeri;

$$Z_s = 0,622 + 0,622 = 1,244 \Omega$$

Hesaplanan değer olması gereken direnç değerinden yüksektir. Ayrıca;

$$R_{pe} \leq \frac{U_0 \times S_h}{I_d \times (S_h + S_{pe})} \quad (3.8)$$

$I_d > I_a$ olması gerektiğinden

$$R_{pe} \leq 0,46 \Omega \text{ olur.}$$

Burada hesaplanan R_{pe} değeri kullanılan iletkendeki R_{pe} değerinden düşüktür. Dolayısıyla direnç yükseldiğinden akım değeri düşecek ve kullanılan otomatik sigorta açmayacaktır.

Bu durumda devrede oluşan akım değeri I_d ;

$$\text{Eş. 3.3'ten yola çıkılarak } I_d = 230 / (0,622 + 0,622) = 184,88 \text{ A olur.}$$

$$\frac{I_2}{I_d} = \frac{R_{pe}}{R_i + R_b + R_e}, \quad I_2 = 52 \text{ mA olur.}$$

İnsan vücudunda oluşacak dokunma gerilimi ise; 114 V olur.

Hesaplama sonucundan görüldüğü üzere seçilen sistemde akım değeri sigortanın açma değerine göre alçak kalmaktadır. Bu durumda sigorta açmayacağından insan üzerinden 114 V gerilim oluşacak ve 52 mA akım geçecektir. Güvensiz bölgede bulunmaktadır.

TN-S sistemlerde elektrik çarpmasına karşı korunmayı sağlayan diğer yaygın kullanılan yöntemler ise kaçak akım rölelerinin tesis edilmesi ya da çift veya takviyeli yalıtıma sahip sistemlerin kullanılmasıdır. Kaçak akım rölelerinin kullanıldığı sistemlerde algılama akım seviyesi çok düşük olduğu için direnç hesaplamasında değerler çok yüksek çıkmaktadır.

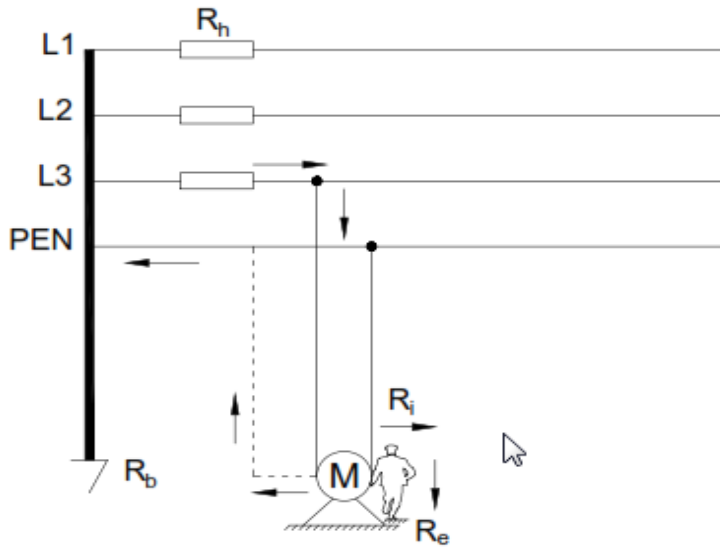
Bu değerler teorik ve pratik olarak elde edilmesi çok kolay değerlerdir. Ancak kaçak akım rölelerinin sistemde güvenilir şekilde kullanılması için daima aktif olması gerekmekte 3 ayda 1 test düğmeleri aracılığıyla yılda 1 ise sistemlerinin düzgün çalışması konusunda muayeneye tabi tutulması gerekmektedir. Bu rölelerin açma ömürlerinin olduğu da unutulmamalıdır.

Ayrıca sistem üzerinde çalışan motorlarda mevcut gelişen kaçak akımlar 3mA-5mA gibi değerlerde olabilmektedir. 30 mA kaçak akım rölesinin bağlandığı bir tali panoda kaçak seviyesi yüksek olan birden çok cihazın bağlı olması nedeniyle sık amalar meydana gelmektedir. Bu durumda işyeri sahipleri üretimi zorlaştırması ve bazı durumlarda makinelere zarar vermesi nedeniyle rölelerin iptal edilmesi yoluna gitmektedir. Böylece kaçak akım rölesi bulunan sistemlerde direnç değerinin sadece rölenin belirlediği sınırlar içinde tutmak güvenliği tehlikeye atmaktadır. Bu durumda öncelikle motorların sargılarında problem olup olmadığı kontrol edilmelidir. Ayrıca elektrik akımı kullanan kaynak makinesi gibi cihazlarda ise tek röle kullanılması gibi koruma önlemleri alınabilir.

Çift veya takviyeli yalıtıma sahip sistemlerin kurulması durumunda ise devrede oluşabilecek hata sonucu ulaşılabilen alanlarda tehlikeli dokunma gerilimlerini önlemek amaçlanmaktadır. Bu nedenle koruma sınıfı II olan teçhizatlar tesis edilir. Burada önemli olan tek başına önlem olarak kullanılsın ya da kullanılsın devrede meydana gelebilecek değişiklik sonucu bu koruma özelliğinin yitirilmemesidir.

3.1.2. TN-C sistemi

Bu sistemde PE ve N iletkenleri ortak bir PEN iletkeni olarak tesis edilir. Ülkemizde eski tip binalarda ve tesislerde bulunmaktadır. Artık daha çok TN-S ve TT sistemlerle karşılaşılmaktadır.



Şekil 3.3. TN-C sistem örnek devresi

Bu devrenin örnek şeması Şekil 3.3'teki gibidir.

Sistem 34.5/0.4 kV topraklı trafo ile beslenmekte ve gücü 1000 kVA'dır. Bağlı kısa devre gerilimi $u_k=6\%$ olarak belirtilmiştir.

Faz-Nötr gerilimi 230 V'tur. Faz ve koruma iletkenlerinin uzunluğu 100 m olarak seçilmiştir. Bu iletkenler faz iletkeni olarak 4x50mm²'lik bakır kablo kullanılmıştır. Trafonun üçgen noktasından yapılan işletme topraklaması 2 Ω olarak tesis edilmiştir.

Trafo Reaktansı; $X_{tr}=0,0096 \Omega$ dir.

Hat direnci $R_h \approx 0.04 \Omega$ dur.

Hat reaktansı; $X_h=0,0779 \Omega/\text{km}$ dir.

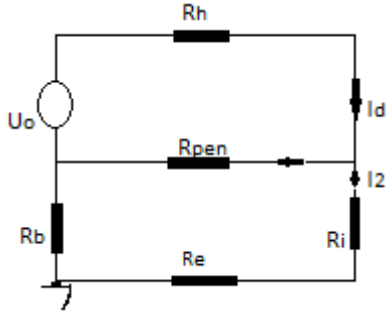
Devre TN-C sistemdir ve aşırı akım koruma aygıtı ile korunmaktadır. Aşırı akım koruma aygıtı 16 A C tipi otomatik sigortadır. Hata durumunda açma değeri 80 A'dir. Motorda oluşan yalıtım hatası nedeniyle gövde üzerinde gerilim oluşmaktadır.

Aşırı akım koruma cihazıyla korunan sistemin hata anında devreyi açabilmesi için şu şartı sağlamalıdır;

Eş. 3.3'e göre $Z_s \leq 2,875 \Omega$ olmalıdır.

Ayrıca Eş. 3.4'e göre $R_b/R_e \leq 50V/(230-50) V$ değerini sağlamalıdır. O halde;

$R_e \geq 7,5 \Omega$ olmalıdır.



Şekil 3.4. TN-C sistem eşdeğer devresi

Hesaplanan reaktans değerleri çok düşük olduğu için ihmal edilebilir. PEN iletkeni kullanıldığından $R_{pen}=R_h=0,04 \Omega$ 'dur. O halde hata meydana gelen yoldaki toplam empedans değeri (Eş. 3.6);

$$Z_{toplam} = Z_s = R_{pen}' + R_d + R_h \text{ olur.}$$

R_{pen}' değerinin bulmak için Thevenin eşdeğer değeri bulunur. R_i insan direnci devrede bulunan R_{pe} direncinden çok yüksek olacağından $R_b+R_i+R_e$ toplamının direnç hesaplamasına etkisi bulunmayacaktır. Bu durumunda R_{pen}' değeri R_{pen} değerine yakın olacaktır. Ayrıca R_d direncinin değeri sıfıra yaklaşıktır. O halde devreden geçen akım değeri I_d şu şekilde hesaplanabilir;

$$\text{Eş. 3.3'ten yola çıkılarak } I_d = 230 / (0,04 + 0,04) = 2.875 \text{ A olur.}$$

$$\text{Ayrıca Eş. 3.7'ye göre } \frac{I_2}{I_d} = \frac{R_{pe}}{R_i + R_b + R_e}$$

$$I_2 = 0,052 \text{ A} = 52 \text{ mA}$$

İnsan üzerinde oluşacak dokunma gerilimi ise;

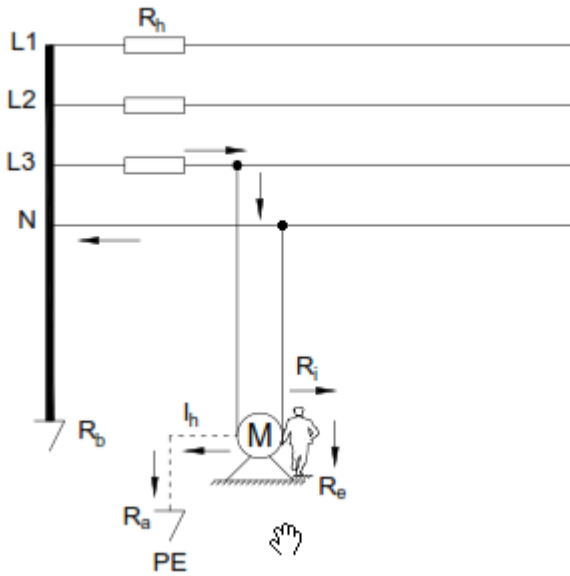
$$2.200 \times 0,052 = 114 \text{ V olur.}$$

Bu sistemde eğer nötr hattı faz iletkenleri ile aynı iletkenlerden yapılırsa hata durumunda akacak akım çok yüksek olacaktır (Aydın, 2015). Bu incelemeler hata esnasında herhangi bir gerilim düşümü yaşanmadığı varsayılarak yapılmıştır.

TN-C sistemlerde nötr hattında oluşacak bir hata durumunda (hattın kopması, kısa devre vb.) akımın geri dönüş yolu kesileceğinden gerilim gövde üzerinde toplanacaktır. Koruma iletkeni de nötr ile birleşik olduğundan işlevini göremez hale gelecektir. Bu durumda temas eden bir kişi üzerinden devre tamamlanacak insan direnci çok yüksek olduğu için akım değeri düşük olacak ve otomatik sigortalar hatayı göremeyeceklerdir. Bu durum ölüme neden olabilmektedir.

3.2. TT Sistem İçin Koruma Topraklaması Direnç Hesaplaması

Sistemimiz aşırı akım koruma cihazlarıyla korunmaktadır. C tipi 16 A'lık otomatik sigorta kullanılmaktadır. Faz iletkenleri $3 \times 50 \text{ mm}^2$ lik bakır kablodan tesis edilmiştir.



Şekil 3.5. TT sistem devre örneği

Motorda meydana gelen bir hata durumunda oluşacak I_h (hata akımı) akımı faz iletkeni üzerinden cihazın metal aksamına geçerek dokunma gerilimi oluşturacaktır. Gövdede koruma topraklaması bağlı olduğundan akım PE iletkeni üzerinden geçerek devreyi

tamamlayacaktır. Burada $I_h = U_0 / (R_b + R_h + R_a)$ olur. R_a direnç değeri için sıklıkla karşılaşılan 2Ω değeri alınırsa;

$$I_h = 230 / (2 + 0,04 + 2)$$

$I_h = 56,93$ A olacaktır.

R_a direnci üzerinde oluşan gerilim değeri ise $56,93 \times 2 = 113,86$ V

Burada hata akımı aşırı akım koruma cihazının açma akımından düşük bir değerdedir.

Hata akımı 80 A olarak alındığında R_a direnç değeri hesaplanırsa;

$R_a \leq 0,835 \Omega$ olması gerekmektedir. Bu direnç değeri sağlandığı durumda sistem hatayı fark edecektir.

Hata durumunda bir insanın temas etmesiyle R_a direnci ile R_i insan direnci paralel bağlı olur. İnsanın direnç değeri 2200 ohm (kuru ve orta seviyeli dokunma) alındığında toplam direnç değeri üzerinde bir etki oluşturmayacağından R_a değeri aynı kalır ve hesaplama değişmez.

R_a 'nın 2Ω olduğu durumda insan üzerinde oluşacak gerilim değeri 113,86 V ve akım değeri de 51 mA olacaktır. Bu değer insan için zarar verici akım eşiğinde bulunmaktadır. R_a 'nın 0,835 olduğu durumda ise; R_a direnci üzerinde oluşacak gerilim değeri $80 \times 0,835 = 66,8$ V olmaktadır. Bu durumda insan üzerinde 0,030 A yani yaklaşık 30 mA akım geçecektir.

İnsan üzerinde oluşabilecek izin verilen dokunma gerilimi 50 V tur. İnsanın direnç değeri 2200 ohm alınırsa akım değeri 22 mA civarında olur. Bu değerde insan güvenli bölgede kalır. İnsanın direnç değeri düştükçe akan akımın değeri yükselecektir. Bu nedenle ıslak ve nemliliğin yüksek olduğu bölgelerde dokunma gerilimi 25 V alınmaktadır.

TT sistemde dolaylı dokunmaya karşı korunmada sadece koruma topraklamasının yapılması durumunda sistemin koruma topraklama direnç değeri çok önemlidir. Kullanılacak olan sigortaların tipi sigortanın devre harici bırakma akımı değerleri

topraklama direnç değerlerini değiştirmektedir. Çarpılmaya karşı tek başına koruma sağlamadığını yapılan hesaplar göstermektedir. O halde RCD olarak bilinen kaçak akım koruma cihazlarının kullanılması, koruma sınıfı II cihaz kullanımı gibi ek önlemlere geçilmesi gerekir.

TS HD 60364-4-41 standardında eğer kaçak akım rölesi koruma amaçlı kullanıyorsa devrenin aşağıdaki şartı taşıması gerektiği belirtilmiştir.

$$R_a \times I_{\Delta n} \leq 50 \text{ V} \quad (3.9)$$

$I_{\Delta n}$, Artık akım cihazının beyan artık çalışma akımı (30 mA, 300 mA v.b.)

Ayrıca TS EN 60204-1 standardı; eğer dolaylı temasa karşı korunma yöntemi olarak beslemenin otomatik olarak ayrılması ile koruma yöntemi kullanılacaksa TT sistemler için açığıdaki iletken bölümlerin koruyucu kuşaklaması ile artık akım koruma cihazının beraber kullanılmasını zorunlu kılmıştır.

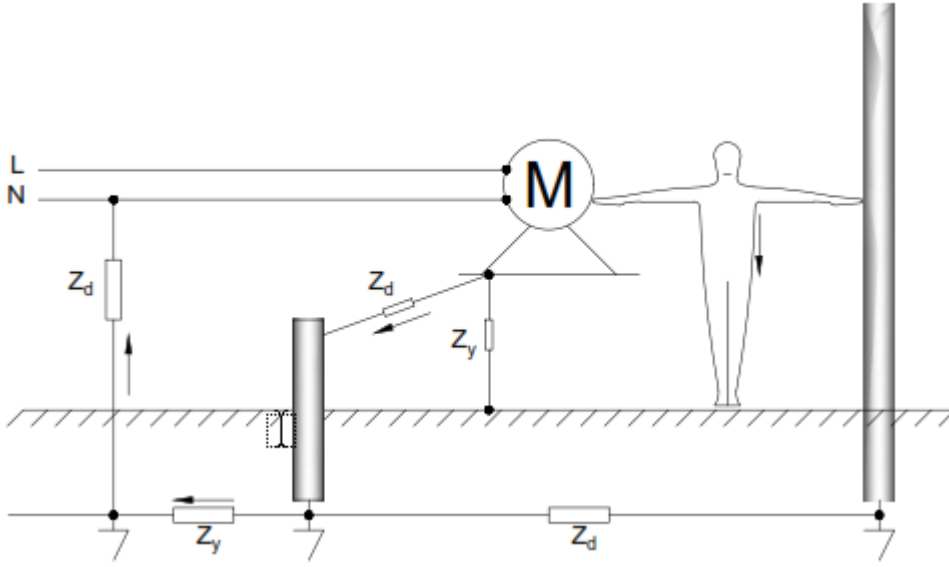
3.3. Eşpotansiyelleme

Bütün bu sistemler incelendiğinde akımın yolunun daima düşük dirençli yol olduğu görülmektedir. Direncin değeri de kablonun uzunluğuyla doğru orantılı olarak değişmektedir. O halde kabloların yolunu azaltacak önlemler hayat kurtaracak önlemler olacaktır.

Eş potansiyelleme sistemdeki metal aksamaların birleştirilip topraklanması anlamına gelmektedir. Eş potansiyelleme yaparken amaç akım için düşük dirençli yol sağlayarak gerilim düşümlerini azaltmaktır. Genellikle gaz boruları hariç su boruları, metal yapı aksamalar, temel topraklaması, parafudr topraklaması vb. birleştirilerek oluşturulan sistemlerdir.

Eş potansiyelleme aşağıda sayılan nedenlerden dolayı yapılmalıdır;

- 1) Elektrik enerjisi ve sinyal akımlarının diğer metal aksamalar üzerinden geri dönmesinin engellemek,
- 2) Elektrik çarpmasını önlemek,



Şekil 3.7. Eş potansiyelleme yapılarak düşük direnç değeri elde edilen devre düzeni

Şekil 3.7’de görüldüğü gibi çelik sütunla birleştirildiğinde Z_d direnci çok küçük bir değer olacak ve hata durumunda kişi üzerinden geçen akım değeri tehlikeli seviyelere ulaşmayacaktır.

Gövde güvenlik topraklaması seyyar el aletleri için yapılması kolay olmayan bir koruma sistemidir. Sahada uygulaması yapılan harici kablo istasyonu kurarak seyyar toprak hattı çekme çalışmaları göstermektedir ki işyeri ortamının değişken olması bu yöntemi başarısız kılmaktadır. Ancak araştırmalar ve istatistikler; el aletleri sonucu elektrik akımına çarpılmanın sanayi ortamında iş kazaları arasında çok yüksek bir orana sahip olduğunu göstermektedir (Nenonen, 2011).

İmalat veya kullanım gereği elle temas edilebilen parçaları metal olan seyyar veya portatif aletlerin metal kısımlarının dikkatli bir şekilde topraklanması ve bu irtibatın kolay bozulmaması için özel önem verilmesi gerekir. Gövde güvenlik topraklamasının kullanılmadığı el aletlerinde üretim sırasında bazı tasarımsal önlemler alınmaktadır. Bu tipteki aletler “Sınıf I” olarak bilinir. Metal kısmın topraklama irtibatının ortadan kalkması durumunda, elektriksel bir kaçak halinde elektriğe maruz kalma riski oluşur. Kullanım esnasında mekanik darbelere ve gerilmelere daha fazla maruz kalacak aletler ise, elektriksel kaçaklara karşı çift izoleli imal edilirler ve etiketlenirler. Bu tür aletler “Sınıf II” olarak bilinir. El ile temas edilebilecek kısımların yalıtkan malzemeden olması dolayısı ile topraklanmalarına gerek olmayacak şekilde imal edilirler (Küçük, 2015). Bu aşamada

önemli olan koruması Sınıf I olan bir el aletinin yalıtım devamlılığının takip edilmemesidir. Bu aletler kullanımlarının düzenli olmaması, uygun koşullarda taşınıp, saklanmamaları nedeniyle yalıtkanlık özelliklerini kaybetmektedirler. Koruma sınıfı II olan el aletlerinde ise bakım sonrası kabloların doğru bağlandığının, yalıtıma zarar verecek hataların bulunmadığının kontrolünün yapılması önemlidir.

Seyyar aletlerin en fazla zarar gördüğü parçaları, bu aletlerin beslemesinde kullanılan kablolardır. Bu kablolar ekipmanın daima hareket ettirilerek kullanımı nedeniyle, gerekli esnekliği sağlamak için damar iletkenleri ince telli ve çok damarlı imal edilirler (Küçük, 2015). Dış kılıfları yumuşak ve esnek malzemeden yapılan bu kabloların ezilmesi, kaynak kıvılcımları sonucu yanma gibi olasılıkları yüksektir. Ayrıca topraklama bağlantısı olan el aletlerinde topraklama hattı olmayan uzatma kablolarının kullanılması ise ayrı tehlike oluşturmaktadır.

4. STATİK ELEKTRİK

Statik elektriğin temas sonucu yüklerin ayrılması ile meydana gelir. İki farklı cisim temas edip ayrıldığında cisimlerde eşit ve zıt kutuplu yükler toplanır. Statik elektriğin oluşumu genellikle aşağıda belirtilen işlemler sonucu oluşur;

- Sıvıların boru ya da hortumdan akması veya boru yada hortumdaki bir açıklıktan akması,
- Püskürtme veya spreyleme,
- Karıştırma işlemi,
- Tank, bidon, kova ya da kutu gibi yerlere doldurma işlemi,
- Kuru tozlu malzemelerin oluklardan veya pnömatik konveyörlerden taşınma işlemi,
- İletken olmayan konveyör kayışları ya da tahrik kayışları ve elektriksel çıkışlarda takılı hareketli parçaların hareketi (Başarır İnce, 2013)

4.1. Statik Elektrik

Statik elektrik; ‘volumetrik’ ve ‘yüzey’ olarak iki çeşit olarak bahsedilebilir. Volumetrik statik elektrik malzemenin gövdesi içinde oluşurken yüzey statik elektrik ise malzemenin dış yüzeyinde oluşarak birikmektedir. Endüstride tehlike oluşturan yüzey statik elektriktir (BS 5958-1:1991, s.12). Statik elektrikle ilgili ülkemizde özel bir standart bulunmamaktadır. Ancak BS 5958 standardında statik elektriklenmenin oluşumunun 3 şekilde olduğu söylenmiştir.

Dokunmayla elektriklenme

Elektriklenme; Katı/katı, sıvı/sıvı ya da katı/sıvı yüzeylerin temas etmesi sonucu meydana gelebilir. Gazlar bu yolla elektriklenmez ancak gaz içerisinde katı partiküller yada sıvı damlacıklar bulunuyorsa dokunmayla elektriklenme meydana gelebilir.

Sıvılarda dokunmayla elektriklenme iyonlarla ya da mikroskopla görünemeyen yüklü partiküllerle oluşur. Bu durum sıvının bir boru içindeki hareketinden ya da başka bir sıvıdan ayrılması esnasında meydana gelebilir.

İndükleme yoluyla elektriklenme

Yüklü herhangi bir cismin etrafında bir elektrik alan oluşur. Bu alan içerisine iletken bir cisim yaklaştırıldığında cismin potansiyel dağılımında değişimler meydana gelir. Yüklü cismin zıttı bir potansiyel oluşur. Eğer bu cisim aynı zamanda topraklanırsa potansiyeli '0 V' olacak şekilde dengeye ulaşır. Eğer cismin topraklama bağlantısı kesilip yüklü cisimden uzaklaştırılırsa üzerinde yük olduğu görülür. Çünkü elektrik alan cismin elektron dengesini bozmuştur. Bu sayede cisim yüklenmiş olur. Bu olay insanlarda da meydana gelebilir. Eğer kişi yüklü hale gelirse belki de çok tehlikeli sonuçlar meydana gelebilir. Buna örnek olarak plastik bir çuvaldan, metal kap içerisine un doldurulması verilebilir.

Yük transferi

Yüklü olan bir cisim yüksüz olan bir cisimle temas ettirildiğinde; yükler iki cisim arasında iletkenlikleri izin verdiği ölçüde paylaşılır.

Normal şartlarda iletkenliği olan bir cisim daima potansiyelini 0 V'a yakın tutmak ister. Bu nedenle doğrudan veya topraklama bağlantıları aracılığıyla sürekli bir iyon akışı oluşur. Eğer akış yalıtım ile önlenirse cisim üzerinde yük birikimi başlar.

Katı cisimlerin elektriklenmesi

Katılar arasında temas ve sürtünmeden dolayı oluşan yük ayrımına triboelektriklenme denir. Burada pozitif ya da negatif yüklenme cisimlerin iletkenlik ve yalıtkanlıklarına göre değişmektedir.

Sıvı maddelerin elektriklenmesi

Bir sıvı bir borudan aktığında borunun yüzeyinde yük ayrılması meydana gelir. Oluşan yükün miktarı akış koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Girdaplı, çalkantılı akış; yavaş ve ince akıma göre daha çok yük açığa çıkarır (BS 5958-1:1991, s.26)

Sıvılarda yük oluşması hareket esnasında oluşmaktadır. Sıvılar karıştırma yoluyla ya da filtreleme esnasında da statik elektrikle yüklenebilirler. Sıvı borudan ayrılırken; oluşan

yükler sıvının aktığı borunun dış duvarına doğru hareket eder ve bu şekilde cisim yüklenmiş olur.

Sıvıların iletkenliğini üzerinde yük tutma miktarı gösterir. 10^4 pS/m üzerinde iletkenliği olan sıvılar iletken kabul edilir ve bu sıvılardaki yük miktarı ölçümleri geleneksel yöntemlerle yapılabilir. Diğer sıvılar için laboratuvar ölçümleri yada alan ölçümleri gibi yöntemler gerekmektedir.

Tozların elektriklenmesi

Parçacıklı maddelerin hava içerisindeki hareketi yük oluşturur. Maddelerin üretebileceği yük miktarı fiziksel özelliklerine göre değişmektedir. Parçacık boyutu azaldıkça kilogram başına düşen yük miktarı artar. Tozlarda temas yoluyla elektriklenme yaygın olarak görülür. Tozlarda yapılan işlem sonucu üretilen yük miktarı Çizelge 4.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.1. Yapılan işleme göre üretilen yük miktarı

Yapılan İşlem	Üretilen Yük Miktarı $\mu\text{C/kg}$
Eleme	10^{-3} - 10^{-5}
Dökme	10^{-1} - 10^{-3}
Sarmal Besleme	1 - 10^{-2}
Öğütme	1 - 10^{-1}
Mikronize Etme	10^2 - 10^{-1}
Pnömatik taşıma	10^3 - 10^{-1}
Silo Dolumu/Boşaltımı	10^{-7} - 10^{-9}

Gazların elektriklenmesi

Saf gazların veya gaz karışımlarının hava içindeki hareketi neredeyse hiç elektrik yükü oluşturmaz. Ancak gazlar içerdikleri katı partiküller veya sıvı damlacıklar nedeniyle elektrikle yüklenebilirler.

Genellikle kontrolsüz olarak oluşan statik elektrik; toprağa doğru bir yol bulamazsa hareket edemez ve durgun olur. Eğer cisim bir an önce nötr hale getirilmezse; biriken

yükler giderek artacaktır. Yüklerin enerjisi atmosferin kırılma enerjisine ulaştığında cisim etrafında bulunan topraklı iletken cisimlere doğru ya da daha az yüklü başka cisimlere doğru kendini dengelemeye çalışır. Örneğin kıvılcım yoluyla vb.

Statik elektrik deşarjı oluşumuna göre birçok çeşidi bulunmaktadır. Ancak burada en çok yaşanan 3 türü açıklanacaktır.

Kıvılcım

Kıvılcım deşarjı sıvı ya da katı iletkenler arasında oluşabilen bir türdür. Bu olay sınırları belli ve yüksek yoğunlukta akım taşıyan parlak bir boşalma kanalı olarak karakterize edilebilir. Kanaldaki gaz kanal boyunca iyonlaşmasını tamamlar. Deşarj çok hızlı gerçekleşir ve keskin bir darbe ile yükselir.

Kıvılcım iletkenler arasındaki alan gücü aşıp havanın kırılma seviyesine gelindiğinde oluşur ve büyüklüğü cisimler arasındaki boşluğun genişliğine bağlı olur.

Korona deşarjı

Bu deşarj çeşidi bir iletkende çok küçük, sivri ya da keskin köşeler bulunuyorsa meydana gelir. Mesela küçük yarıçaplı kavisleri olan bir yüzey. Korona deşarjı bir başka cisme doğru ya da direk atmosfere doğru oluşabilmektedir. Cismin sivri bölgesinde deşarj alanı çok geniş olur ancak mesafe arttıkça bu alan giderek düşer. Korona deşarjı sivri noktaların etrafındaki gaz iyonize edildiğinde, yani elektrik alan kuvveti iletken noktanın etrafındaki yalıtkanın (hava) delinme dayanımını aştığında görülür.

Korona deşarjı yüksek gerilim iletim tesislerinde çok sık yaşanabilen bir olaydır ve özel hesapları yapıp, keskin köşelerden kaçınılarak etkisi azaltılmaktadır.

Fırça deşarjı

Fırça deşarjı yüklü bir yalıtkindan iletken bir cisme doğru meydana gelir. Bu deşarj çeşidi yalıtkanın yüzeyinden farklı bölgelerde kısa kısa kıvılcım gibi deşarjlar oluşturur. Oluşan toplam deşarjlar genelde fırça görünümünde olduğu için bu isim verilmiştir. Eğer akımın aktığı iletken sivri ise deşarj korona deşarjı gibi olur. Bir fırça deşarjındaki yerleşik enerji

ateşleme kaynağı olabilecek miktarda oluşabilir. Yapılan deneylerde fırçadeşarjının 4mJ değerine ulaşabildiğini göstermektedir.

Statik terimi nispi bir kavram olup, zamana bağlı olarak yükler (şarj) yavaş bir şekilde azalır. Zamanın uzunluğu malzemenin direncine bağlı olarak değişir. Plastik ve demir göz önüne alındığında plastiğin elektrik direnci çok yüksek olduğu için uzun süre statik elektriği tutabilir. Demir ise düşük elektrik direnci sebebiyle fark edilemeyecek kadar kısa sürede üzerindeki şarjı boşaltır. Bu durum iki faktöre bağlıdır. Birincisi malzemenin üzerindeki şarj miktarı ikinci durum ise malzemenin kapasitif değeri;

$$Q = C.V \quad (4.1)$$

Q: Şarj(Yük), C: Kapasite, V: Yüklenen gerilim değeri'dir.

BS 5958'de kıvılcım sonucu açığa çıkacak olan enerji için ölçüm metodu ayrıntılı olarak bahsedilmiştir. Bu enerjinin boyutuna parçacık boyutunda etki ettiği belirtilmektedir.

Elektrik alan ölçüm metodu ile açığa çıkacak olan enerji hesaplanabilir. Hesaplama yapılırken malzemelerin kapasitansı C değeri çarpan olarak kullanılır. C için standartta kabul edilen değerler aşağıda Çizelge 4.2'de belirtilmiştir

Çizelge 4.2. Çeşitli maddelerin kapasitif değerleri

Nesne	Kapasitans (pF)
Küçük Metal Parçalar (Hortum Memesi, Kepçe)	10 - 20
Küçük Konteynırlar (Kova, 50 L Bidon)	10 - 100
Orta Boy Konteynırlar (250 L – 500 L)	50 - 300
Toprakla çevrili Ana Tesis Öğeleri (Reaksiyon Kapları)	100 - 1000
İnsan Vücudu	10 ² - 300
1 pF = 1x10 ⁻¹² F	

Standartta ayrıca ölçülen değerlerin tehlike oluşturup oluşturmayacağını tespit etmek için ortamda bulunan maddelerin Alt Tutuşma Enerji seviyesi (MIE: Minimum Ignition Energy) ile karşılaştırılması gerekliliği belirtilmektedir.

Alt Tutuşma Enerjisi (MIE); elektrotlar arasındaki mesafeye bağlı olan, maddelerin tutuşmadan önce sahip olabileceği maksimum enerji yada tutuşmak için ihtiyaç duyduğu minimum enerjidir. Yapılan deneylerde her yanıcı maddenin bir güvenlik mesafesi olduğu kanıtlanmıştır. Güvenlik mesafesinde elektrotlarda yaşanan ısı kaybının aşabildiği mesafedir. Örneğin hidrokarbonlar için bu mesafe 1mm'dir.

Herhangi bir yanma veya patlama oluşabilmesi için $U_e > MIE$ olması gerekmektedir. Çizelge 4.3'te standartta bazı maddeler için belirtilen MIE değerleri verilmiştir;

Çizelge 4.3. Çeşitli maddelerin alt tutuşma enerjileri

Madde	MIE(mJ)	Madde	MIE(mJ)
Alkanlar	0,28	Alüminyum	10
Aromatikler	0,2	Kömür(%37 nemli)	60
Hidrokarbonlar	0,3	Magnezyum	20
Alkoller	0,14	Polistren	15
Aseton	1,15		

4.2. Statik Elektrik Kazaları

Statik elektrik yükleri tek başlarına bir patlamaya ya da yangına neden olmazlar. Bölüm 4.2' de bahsedilen boşalmalar sonuca açığa çıkan enerji düzeyi sıvı buharı, gaz ve tozların bulunduğu ortamlarda patlamaya sebep olma potansiyeli taşımaktadır. Tehlikenin gerçekleşmesi için aşağıdaki şartların oluşması gerekir;

- Gaz ve sıvı buharı hava içinde alt yanma/ patlama sınırı ile üst yanma/patlama sınırları arasında olmalıdır.
- Kıvılcım sıvı buharı ve gazları parlama noktasının üzerine kadar çıkarabilmelidir.
- Kıvılcım en düşük tutuşma enerjisinin üzerinde bir enerjiye sahip olmalıdır.
- Ortam havasındaki oksijen seviyesi genel kabul olarak %16'nın üzerinde olmalıdır.

Statik elektrik boşalması ya da birikmesi sonucu aşağıdaki tehlikeler oluşabilir;

- Yanma/parlama
- Sınırlandırılmayan buhar bulutu veya gaz patlaması

- Toz patlaması
- Bütünleşik devrelerin ve diğer elektronik devrelerin zarar görmesi
- Üretimde aksaklık oluşması
- Psikososyal etki

Statik elektrik tarafından oluşan en yaygın tehlike kaynağı bir iletkende yükün muhafaza edilmesidir. Çünkü neredeyse bütün depolanmış enerji tek bir kıvılcımla toprağa ya da diğer iletkenlere yayılırlar. Bu tehlikeden kaçınmak için kabul görmüş yöntem bütün iletkenlerin birbirleriyle ve toprakla direnç değeri yüklerin geçişine izin verecek kadar düşük dirençli elektriksel yollarla bağlanmasıdır (BS 5958-1:1991, s.26).

Statik yükler ateşleme kaynağı görevi görebilmektedir. Bir ortamda bulunan gaz, buhar veya toz içerisinde bulunan yanıcı madde miktarı alt ve üst patlama limitleri içerisinde ise patlama tehlikesi bulunmaktadır. Böyle bir ortamda oluşan statik yüklerin ani boşalma kaynağı bulmasıyla oluşacak ısı ateşleme kaynağı görevi görebilir. Ancak bu durum karışımın yoğunluğuna, sıcaklığa, deşarj enerjisine ve enerjinin boşluktaki yayılımına bağlı olarak değişmektedir.

Genellikle cisimlerde oluşan kıvılcımlar patlayıcı ortamlarda ateşleyici görevi görmektedir. Havada bulunan çoğu organik buharlar ve hidrokarbonların gazlarının minimum ateşleme enerjisi 0.01 mJ ile 1 J arasında bulunmaktadır. Çizelge 4.4'te standartta yer alan tanecik boyutuna göre minimum tutuşma enerjileri belirtilmiştir.

Çizelge 4.4. Tanecik boyutuna göre minimum tutuşma enerjisi

Tanecik Boyutu (μm)	MIE (mJ)
710 – 1680	>5000
355 - 709	250 – 500
180 – 354	50 – 250
105 – 179	<10
53 - 104	<10
5	<10

4.3. Statik Elektrik Topraklama Sisteminin Yapısı

Statik elektriğin önlenmesi adına yapılan topraklama; elektrik çarpmasına karşı yapılan topraklamaya göre işleyiş açısından farklıdır. Güvenlik topraklaması herhangi bir hata

durumunda gövdede dokunma geriliminin izin verilen değerin üzerine çıkmasını engellemek amacıyla yapılmaktadır. Ancak statik elektrik topraklaması üzerinde herhangi bir enerji olmasa bile iletkenlerde yük birikiminin engellenmesini amaçlamaktadır.

İletken bir nesnenin topraklaması 2 yolla yapılabilir. İlk olarak doğrudan toprak üzerine yerleştirilmesi sonucu topraklanabilir ki buna örnek olarak çelik konstrüksiyon binalardaki çelik kısımlar, binaların destek elemanı olarak kullanılan demirleri ya da toprağa tamamen ya da bir bölümüne gömülmüş olan tanklar gösterilebilir. İkinci olarak ise cisimlerin iletkenlerle topraklama sistemine bağlanmasıdır.

Eş potansiyelleme ve topraklama için kullanılan bakır kablo ya da kelepçelerin iletkenliği iyi şekilde sağlaması önemlidir. Bunun devamlılığını sağlamak için;

- Bağlantının yapılacağı bölgelerde kir, pas, boya ve korozyon temizlenmeden yada malzeme değiştirilmeden bağlantı yapılmamalıdır.
- İşe uygun güç ve dayanımda kablolar, bağlantılar kullanılmalıdır.
- Titreşimli bölgelerde ve ya birleşik hareketin yapıldığı alanlarda esnek kablolar kullanılmalıdır.
- Metaller ile metallerin bağlantısı yapılmalıdır.
- Kelepçe ve tertibatlar fiziksel tehlikelere karşı korunmalıdır.

Resim 4.1. ve Resim 4.2.'de eşpotansiyelleme için kullanılan örnek ekipmanlar verilmiştir.

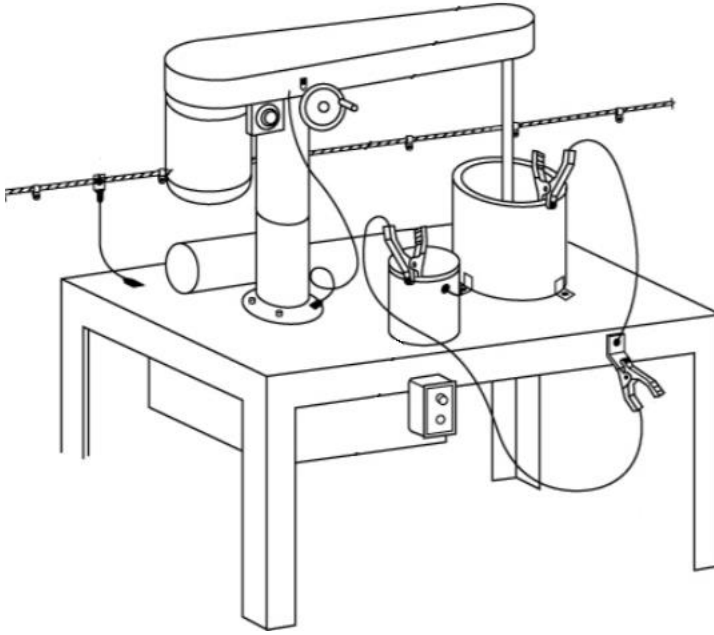


Resim 4.1. Boru eşpotansiyelleme maşası (buy.wesco.com)



Resim 4.2. Topraklama maşası (www.teraelektronik.com.tr)

Şekil 4.1.'de çalışma düzeninde olması gereken örnek topraklama bağlantısı gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Küçük boyutlu ekipmanlar için örnek topraklama bağlantısı (NFPA 77: Annex G1, g)

Tehlikeli seviyelerde bulunan yüklerin taşınmasını sağlayabilecek maksimum direnç değeri iletkenin taşıyabileceği yük miktarına göre değişir. Topraklama ve eş potansiyelleme sistemlerinin kurulumunda direnç değeri kabul edilebilecek maksimum seviyeyi geçmemelidir.

Statik elektriğe karşı etkin bir topraklama sistemi oluşturmak; güç dağıtım sistemlerine göre farklıdır. Yük oluşumunu önlemek için iki cisim arasında yada cisimle toprak arasında olması gereken maksimum direnç değeri standartta $1 \text{ M}\Omega$ 'u aşmaması gerektiği kabul edilmiştir. Bu değer yapılan kabuller sonucu aşağıda belirtildiği şekilde hesaplanmaktadır;

100 V tehlikeli (patlayıcı) madde üretimi yapılan fabrikalarda tehlikeli bir gerilim değeri olarak görülmektedir.

$$E = \frac{1}{2} CV^2 \text{ dir.} \quad (4.2)$$

$$V = I \times R \text{ dir.} \quad (4.3)$$

Oluşabilecek kıvılcımın enerjisinin maksimum değerden düşük olması için gerilim değerinin tehlikeli gerilimden düşük olması yeterli olacaktır.

$$R \times I < 100 \text{ V} \quad (4.4)$$

Şarj akımlarının 10-11 A ile 10 -4 A arasında olduğu yapılan çalışmalar sonucu elde edilmiştir. O halde en yüksek akım değeri dikkate alınırsa maksimum direnç değeri 106 Ω çıkar. Bu örnekler daha da çoğaltılabilmektedir (Kassebaum ve Kocken, 1997).

Hesaplamalardan görüldüğü üzere topraklama sisteminden beklenen direnç değerin elde edilmesi zor bir değer olmadığı sadece antistatik değerde bulunmasının yeterli olduğu yönündedir. İletken iki maddenin birbirine bağlanmasıyla bu değerin çok kolay sağlanacağı ve bu değerin üzerinde kolayca çıkılmayacağı düşünülse de kirlenme, korozyon, boyama gibi durumlarda 106 Ω 'un üzeri bir değer oluşabilir. Ayrıca statik elektrik tehlikelerinden korunmak üzere belirlenen direnç değerlerin diğer sistemlerle uyum içinde olması gerekmektedir. Yıldırımdan korunma ve gövde güvenlik topraklaması örnek olarak verilebilir. Statik elektrik topraklamasının direnci bu topraklama sistemlerinde çok yüksek kalabileceğinden; tasarım aşamasında bu hususun göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Ayrıca bu direnç değeri sadece metal-metal bağlantılarda geçerli olmaktadır. Malzemenin yapısına göre maksimum direnç değeri azalabilir. Sonuçta; yıldırım tesisatı için konulan 10 Ω şartı (aktif paratoner) statik elektrik topraklaması için de geçerli kabul edilmiştir. Ancak bu değer tehlikeli madde üretimi yapılan fabrikalarda 1 Ω olarak belirtilmektedir (Coles, 2006).

Statik elektrik topraklamasının aşağıda belirtilen yerlere yapılması sakıncalı olabilmektedir;

- Elektriksel elemanların taşındığı boru sistemleri,
- Plastik borular,
- Gaz ya da buharların taşındığı borular,
- Kuru spring boruları,
- Yıldırım topraklaması,
- Metal yükleme rafları,
- Bina destekleme demirleri.(IAPA, 2008)

Patlayıcı ortam tesislerinde statik elektriklenmeye karşı önlem alınması zorunludur. Bu durum ATEX 137 Madde 6/b'de belirtilmiş olup ülkemizde Çalışanların Patlayıcı

Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik Madde 6/b’de “statik elektrik de dâhil tutuşturucu kaynakların bulunma, aktif ve etkili hale gelme ihtimalleri” şeklinde belirtilerek; işverenin bu riski; risk değerlendirme aşamasında gözden geçirmesi gerekliliği belirtmiştir. IEC 60079-14 te tavsiye şeklinde belirtilmiş olup IEC 60079-0 da statik elektrikle ilgili olarak patlayıcı ortamda kullanılan aletleri kapsayacak şekilde sunulmuştur.

Yalıtkan malzemeler elektriği üzerlerinde depolamaktadır. Bu durumda patlayıcı ortamda yalıtkan özellikli bir maddenin kullanılması yasaktır. IEC 60079-0’da patlayıcı ortamın sınıfına göre kullanılabilir en yüksek yalıtkan madde miktarı belirtilmiştir. Değerler incelendiğinde plastik gibi maddelerin bu tür ortamlarda kullanılmasının çokta olası olmadığı anlaşılmaktadır.

4.4. Alınması Gereken Özel Önlemler ve Dikkat Edilecek Hususlar

Birçok endüstriyel işlem esnasında veya sonucunda statik elektrik oluşumu gözlenmektedir. Yapılan işe göre meydana gelen yük miktarları ve deşarj tipleri değişiklik gösterebilmektedir.

4.1.1. Endüstriyel ve ticari işlemler

Statik elektrik birçok endüstriyel işlemin sonucunda oluşmaktadır. Yüklenme bazı durumlarda istenen bir araç olabilir ancak çoğu durumda istenmeyen hatta üretimi bozan bir unsur olmaktadır. Bu işlemlere örnek olarak taşıma, filtreleme, dolum, karıştırma vb. örnek gösterilebilir.

Motor kayışları, konveyör kayışları işlemleri sırasında statik yüklerle yüklenirler. Kayışların çarklara ve dişlilere teması ve ayrılması ile yük oluşmaktadır. Burada malzemelerin iletken yada yalıtkan olmaları yük oluşumunu engellemez. Sadece çalışma hızlarının oluşan yük miktarına etkisi vardır. V kayışlar; yassı kayışlar kadar yük oluşturmazlar. Kauçuk ya da deri kayışlar normal-hızlı düzeyde çalıştırıldıklarında kıvılcım oluşacak kadar yük biriktirirler.

Katı parça taşıyan konveyörler alçak hızda çalıştıklarından çok fazla yük üretimi olmaz. Konveyör bantlar; ısıtılmış ya da ıslak bir malzemeyi, özel sıcaklık koşullarına sahip ortamda taşıdıklarında veya yüksek hızlarda çalıştırıldıklarında statik yük oluşumu dikkate değer bir seviyede olur. Burada yükün üretildiği bölge konveyör bantların kendi üzeri değil doğrudan tahrik edilen noktasıdır. Konveyör bantlarda tehlikeli statik yük oluşumunu engelleme adına aşağıda belirtilen işlemler yapılmaktadır;

1. Yük toplayıcı çubuklar kullanılmaktadır. Bu çubukların çivili toplama uçları bulunur ve bir noktalarından topraklanırlar. Genellikle kayışların sürücünden veya kasnaklardan ayrılma noktalarından hemen sonra kullanılır.
2. Kayış olarak iletken kayışlar kullanılmaktadır. Bu kayışların üretimi elbette mümkündür ancak her işlemde kullanılamamaktadır. Genellikle maden işlerinde kullanılmaktadır. Topraklama yapılarak tehlikenin devamlı olması engellenebilmektedir.
3. Özel bant kılıfları kullanılmaktadır. Bu sistemler bant iç yüzeyini yeterli iletkenliğe ulaştırmak adına yapılır ancak çabuk yıpranırlar bu sebeple kontrolünün sık aralıklı yapılması önemlidir ve sık değişim gerektirmektedir.

Bant sonunda taşınan malzemelerin başka bir bant ya da kaba boşaltımı yapılıyorsa bu ayrılma işleminde de yük oluşabilir Bu durumda dolum yapılan kap ile boşaltım yapılan sistem arasında eş potansiyelleme yapılmalıdır.

Karıştırma ve çırpma işlemleri endüstrinin birçok alanında hazırlama amacıyla kullanılmaktadır. Örnek olarak boya hazırlanması verilebilir. Bir yada daha çok sayıda düşük iletkenli sıvı içeren maddelerin, sıvı-sıvı yada katı- katı parçaların birlikte karıştırılması işleminde üretilen yük miktarı karıştırma fiili devam ettikçe artış gösterir. Çünkü karıştırma esnasında yüklerin birbirine temas edip ayrılmasıyla ciddi bir enerji açığa çıkar. Buralarda topraklama her metal parçaya olacak şekilde yapılmalıdır. Ancak karıştırma yapılan kapların yalıtkan malzemeden olması veya iç yüzeylerinin yalıtkanla kaplı olması potansiyel dengelemeyi engeller. Bu durumda iç topraklama sistemleri kurularak sistemde biriken yüklerin toplanmasına yardımcı olunabilir. Bazı üretim süreçlerinde buhar ile bu durum etkisiz hale getirilmeye çalışılmaktadır. Böyle bir durumda ise buhar salınımı için kullanılacak olan borunun ayrı bir hatla toprağa bağlanması gerekir.

Kağıt ve matbaa sektörlerinde süreç içerisinde yanıcı maddelerde kullanılmaktadır. Dolayısıyla statik yük oluşumu tehlikeli olmaktadır. Bu sektörlerde genellikle fırçadeşarjı görülür.

Kâğıdın silindirler üzerinde dönmesi ile, hızlı sürtünme ve ayrılma hareketi sonucu yük oluşmaktadır. Tesislerde kullanılan makinelerde genelde yük oluşumuna eğilimli olurlar. Aynı şekilde yanıcı mürekkeplerin kullanıldığı matbaalarda mürekkepler genelde Sınıf III B olacak şekilde seçilir. Bu mürekkeplerin parlama noktaları 380C'den yüksek olan sıvılardır. Ancak serigraf, bakır merdane baskısı (rotogravür), fleksografik baskı gibi türlerde sınıf IB ve IC mürekkepler kullanılmaktadır. Bu mürekkeplerin parlama noktaları 380C'den küçüktür. Yangınlarsa genellikle bu işlemler esnasında meydana gelir. Buralarda makine ve ekipmanlardaki metal aksamların topraklanması önemlidir. Ancak metal aksamların topraklanması kağıt ya da filmlerin üzerinde statik yük birikimini engellemez. Bu işyerlerinde kağıt üretiminde genellikle nemlendirme yöntemi kullanarak statik yük birikimi engellenmeye çalışılır. Bazı üretim çeşitlerinde ise kağıtların hamuru içine antistatik malzemeler eklenerek iletken hale getirilmesi amaçlanmaktadır. Ancak antistatik malzeme eklenmiş kağıtların içerdiği su oranı iletkenliği etkilemektedir.

Boya işlerinde statik yük oluşumu daha çok spreyci boya esnasında oluşmaktadır. Boya atılan tabancadan ayrılan parçacıkların sürtünmesiyle statik yük birikir ve belli bir seviyeden sonra kıvılcımla yük boşalması kaçınılmaz olur. Elektrostatik spreyci işlemlerinde genellikle 30kV ile 150kV arası bir değerde çalışır ki bu değeri tehlike oluşturmak için yeterince yüksektir. Bu durumda kullanılan ekipmanların topraklama yapılarak yük dengesi sağlanabilir. Boya tabancalarının statik yük tutmaz özellikte olması ve Ex işareti taşınması dikkat edilmesi gereken bir husustur. Ayrıca boya atılan malzeme yüzeyinde de yük birikimi olabilir bu durumda tabanca ile birlikte metal alanlarda topraklama yapılarak yük dengelemesi yapılır. Boya işlerinde kıvılcım oluşumu sadece tabancadan değil boyanın kaplar arasında aktarımı esnasında ani ve sert boşaltılmasından, çalışanın üzerinde yük birikmesinden de oluşabilir. Bu ortamlarda havalandırma sistemi, motorlar, aydınlatma gereçleri kısaca ortamdaki bütün cisimler ve hatta çalışan kişinin yükü tutmaması gerekir. Topraklamanın etkinliği ve devamlılığı sağlanmalıdır (Kılıç, 2013).

4.1.2. Sıvıların taşınması ve depolanması

Sıvılarda yanma noktası alçak olanlarla çalışılan süreçlerde tehlikeli durum oluşma ihtimali daha yüksektir.

Statik elektriğin yüksek olan potansiyelden alçak olan potansiyele doğru hareket ettiği daha önceki Bölüm 4.1’de bahsedilmişti. Bu kurala göre bir benzin istasyonuna dolum için gelen tanker incelenirse; hareket ve hava ile sürtünme sonucu tanker üzerinde yük birikir. Bu yükler ilk fırsatta toprağa doğru akmaya çalışacaktır. Eğer tanker potansiyel olarak sıfır hale gelmeden dolum yapılmaya çalışılırsa; dolum yapılacak olan tank ile tanker arasında bulunan potansiyel farktan dolayı yük deşarjı oluşması ve dahası patlama olması yüksek ihtimaldir. Bu gibi durumlarda metal kısımlar topraklanır dolum-boşaltım işlemi yapılan kaplar ve yardımcı ekipmanların eş potansiyelleme ile birleştirilmesi sağlanır Resim 3’te tanker topraklaması ile ilgili örnek görülmektedir.



Resim 4.3. Tanker topraklama sistemi (www.connectingindustry.com)

Dolumu ya da boşaltımı yapılacak olan sıvının işleminde önce; hem dolum yapılan konteynıra hem de içinden sıvı boşaltılan tankere hem de boşaltım işlemini yapan boru ya da vanaların aynı topraklama sistemine bağlanması ve eşpotansiyelleme yapılması çok önemlidir. Depo ve tank topraklamasının sistemin kurulumu esnasında sabit olarak yapılması ve dolum tankerleri için ayrıca bir topraklama maşası yapılması bu sistem için güvenliği artıracaktır.

İş sağlığı ve güvenliği mevzuatlarında belirtildiği üzere ilk defa kullanılacak olan tankların ve bakım onarım nedeni ile kullanım dışı olan tanklar tekrar kullanıma alındığında; ilk dolumdan önce içerisinde herhangi bir yabancı cisim, farklı türden bir sıvı buharı olup olmadığı kontrol edilmeli topraklama sistemlerinin devamlılığı gözle kontrol edilmeli gerekiyorsa test edilmelidir.

Bu süreçte kullanılacak pompalar ve valflerin mühendislik tasarımı yapılmalıdır. Kullanılan ekipman ve tesisatların periyodik kontrol ve bakımları yapılmalı; düzenli kayıtlar tutularak etkinliği takip edilmelidir. Bu malzemelerin tehlike oluşturmayacak özellikte seçilmesi önem arz etmektedir.

Sıvıların iletkenliği yük oluşmasında önemli bir faktördür. İletken sıvılar genellikle 10^4pS/m 'den fazla iletkenliği olan sıvılardır. İletkenliği az olan sıvılarda statik yük oluşumu çok olduğundan, birçok probleme sebep olurlar. Sıvı yüzeyinde depolanan yük sürekli potansiyelini 0 V'a (toprağa) indirmek isteyecektir. Statik elektrik oluşumunu önlemek için aşağıda sıralanan işlemler yapılır;

- İletkenlerin ve personelin eş potansiyelleme ile bağlanması ve topraklamasının yapılması,
- Elektrik yük oluşumunu engellemek (yavaş hareket, iletken katkı ekleme vb.)
- Yükün hareketini maksimum seviyeye getirmek.

Bazı süreçlerde yapılan yük ölçümleri yukarıda bahsedilen işlemlerin yetersiz kaldığını göstermektedir. Bu sebeple tasarım gerektiren başka önlemlerin alınması gerekmektedir. Örn; havalandırma ve ikmal.

Polietilen, plastik ya da cam gibi metal olmayan kaplar topraklanamaz. Topraklanamayan kapların içinde oluşabilecek yüklenmenin toprağa aktarılamaması yük birikmesini artırarak kötü sonuçlar doğuran deşarjlara sebep olabilmektedir. Bu durumda alınabilecek önlemler akış hızının azaltılması (1 m/s gibi.), dolum yapılacak kabın iç kısmına kadar borunun veya hortumun uzatılması, sıvıların türbülansa neden olmadan doldurulması ya da anti statik katkı kullanılması olabilir. Ancak ilk yapılması gereken ortamda bulunan metal kısımların topraklamasının yapıp eşpotansiyelleme ile bağlanması gerekir. Yalıtkan maddelerde

topraklama birikmeye engel olamayacağından; patlayıcı sıvıların konulduğu kapların iletken olmayan maddelerden yapılmaması esastır.

Sıvılarda statik yük genelde boru içinde akma, filtre içinden geçirilirken veya püskürtülerek dolum yada boşaltım yapılırken oluşmaktadır.

Sıvıların süzgeç ve filtrelerden akışı

Süzgeçler ve gazlı bezler, sıvıların içerisinde bulunan ve belirlenen bir boyut üzerinden büyük parçacıkları ayırmaya yarayan sistemlerdir. Örgü numaraları 350'nin altında olan (30 µm) kaba filtrelerdir. Bu işlem esnasında sıvı eğer tek fazlı ise üretilen yük miktarı fazla olmaz ve ihmal edilebilir. Eğer işlemde ikinci bir faz varsa bu durum yüklerin yayılmasına neden olabilir, yani yük sistemin başka bölgelerine dağılarak orada yük oluşumunu artırabilir. Bu tarz sistemlerde ne kadar ince filtreleme işlemi gerekiyorsa o kadar yük açığa çıkar. Buralarda 'metal gevşeme bölümü' gibi önlemler alınmaktadır. Sıvılarda iletkenliğe göre sıvının rahatlatma süresi değişmektedir. Bu tür durumlarda boru ve filtre üzerinde yapılan topraklama tek başına yeterli olmamaktadır.

Yanıcı sıvıların karıştırılması

Yanıcı sıvılarda; karıştırma işleminde oluşacak sürtünmeden dolayı statik yük birikir. Bu durumda yük dengelenmesinin sağlanabilmesi için karıştırma işlemi yapan makinenin bütün parçalarına eşpotansiyelleme yapılmalıdır. Ancak eş potansiyelleme sıvı yüzeyinde yük birikmesini engellemez. Bu durumda genellikle katkılama ile sıvının iletkenliği artırılmakta ya da mümkünse iletken sıvılar kullanılmaktadır. Genel olarak; metal ve diğer iletken malzemelerin kullanılmasına dikkat edilmelidir. Karıştırma işlemlerinde üstünde buhar boşluğu oluşturmayan sıvı depolama tankları tercih edilebilir.

Sıvıların püskürtülerek dolumu ya da boşaltılması esnasında yük açığa çıktığı bilinmektedir. Burada eğer püskürtülen sıvı ikinci bir engelle karşılaşırsa yük oluşumu artacaktır. Buda yanıcı maddelerle çalışma esnasında yüksek tehlike oluşturmaktadır. Püskürtme işleminden vazgeçilmeli ve boru yada hortum ucu zemine çok yakın mesafede olmalıdır.

Temizleme işlemleri

Tanklarda temizleme işlemleri yapılırken işlemler gereği statik elektrik oluşabilir. Metal tanklarının temizlenmesi genellikle su, solvent ve buhar püskürtülmesi gibi yöntemlerle olmaktadır. Daha önce yanıcı madde bulunan kapların temizliği esnasında kap içerisinde bulunan buhar ve sisler temizlik esnasında meydana gelebilecek bir yük boşalmasıyla alev alabilir. Buhar, sis veya köpüklerin oluşturduğu yanıcı atmosfer tankın yapısından, solventle temizlenmesinden veya tankın duvarlarında kalan artıklardan oluşabilir. Temizleme sistemlerinin bütün iletken bileşenleri topraklanmalıdır. Temizlik işini yapan çalışanlar tutuşturma riski oluşturmayacak şekilde korunmuş (giysiler ve ayakkabı vs.) olmalıdır (BS 5958-2:1991, s.15).

Ölçüm yapma veya numune alma

Ölçme esnasında veya numune alınırken kullanılan ekipmanların tanka girmesi statik elektrik tehlikeleri doğurabilir. Pompalama ya da çalkalanma sonucu tank içindeki sıvı üzerinde elektrostatik yük oluşabilir. Yapılacak işlem için kullanılan ekipmanlar yüksüz halde ise sıvı yüzeyinden ölçüm ekipmanlarına doğru oluşabilecek deşarjlar sıvı buharını ya da sıvının kendisinin alev almasına neden olabilir. Ayrıca ölçme veya numune alımında ekipmanlarının içeriye girmesi esnasında yük oluşabilir. Bu yükler yanıcı buhar karışımının mevcut olduğu durumlarda oluşursa, tutuşma tehlikesi olur.

Ölçme veya numune alma ekipmanlarının bütün metal parçaları, tanka veya tank yüksek dirençli bir malzemeden yapılmışsa doğrudan toprağa bağlanmalıdır. Ölçme ve numune alma ekipmanı ahşap veya doğal lifler gibi tamamen doğal malzemelerden ya da öz dirençleri nedeniyle elektrostatik yük biriktirmesi veya doğrudan deşarj olması mümkün olmayan malzemelerden yapılabilir (BS 5958-2:1991, s.6). Ölçme ve numune alma işlemleri mümkünse tanklar dinlendirilip nötrlendikten sonra yapılmalıdır.

4.1.3. Tozlar

Toz taşıma sisteminde tutuşma riski bulunuyorsa en önce alınması gereken tedbir tutuşturma kaynaklarının ortadan kaldırılması ve konsantrasyonun tehlikeli değerlere

ulaşmasını önlemektir. Eğer ikincil önlemlerin alınması gerekiyorsa; pratikte uygulanan anti statik barlar, anti statik fırçalar, statik yükleyici barlar gibi çeşitli önlemler mevcuttur.

Statik elektrik; toz halindeki maddelerin pnömatik konveyörlerle taşınması, borular içerisinden geçirilmesi, püskürtülmesi, depolama silolarına veya tanklara aktarılması esnasında da meydana gelir. Meydana gelecek statik elektrik yüklerinin, ark yapmadan sürekli olarak boşaltılmasını sağlamak için, konveyörün ayrıntılı metal boruları bütün hat boyunca birbirine bağlanmalı ve daha sonra topraklanmalıdır.

Titanyum, alüminyum ve magnezyumun ince tozlarının taşındığı yerlere, statik elektrik detektörleri veya benzeri uygun tertibat konulmalıdır. Bu yerlerde antistatik koruyucuların kullanılması sağlanmalıdır.

4.5. Statik Elektrik Topraklama Planı

NFPA ve NEC standartlarında özellikle şart koşulan belgelerden biridir. Çalışma prosedürü şeklinde hazırlanması istenen bu plan genel anlamda güvenli çalışma için ön hazırlıkları içermektedir. Prosedür hazırlanırken bir sorumlu belirlenmektedir. Ekip çalışması yapılarak izlenecek adımların belirlenmesi, bu planların aktif bir şekilde kullanımının sağlanması elbette işyerindeki yetkililerin gözetimi altında olmaktadır. Bu plan altı ana başlıkta oluşturulabilir (Kassebaum ve Kocken, 1997).

- 1) Tanımlar Bölümü: Bu bölümde statik elektrikle ilgili temel ve özel tanımlamalar kısaca yapılabilir.
- 2) Planlama Bölümü: Bu bölümde işyerinde alınması gereken tedbirler genel başlıklar halinde verilebilir. Örneğin patlayıcı madde üretimi yapılan bir fabrikada çalışanların ayakkabıları, giysileri kullanılan taşınabilir ekipmanlar, kimyasal madde depoları ve işyerinde bulunan diğer yanıcı malzemelerin durumu tespit edilebilir.
- 3) Aksiyon Bölümü: Belirlenen tehlikelerin meydana gelmesini engellemek adına yapılacak adımlar belirlenir. Örneğin kullanılacak ayakkabıların özellikleri, çalışanların kullanım şekli, test edilme süreci, daha önceden yapılmışsa test sonuçları vb. bilgiler bulunabilir.
- 4) Mevzuat Bölümü: Burada referans alınan kanun, yönetmelik ve standartlar belirtilir.

- 5) Dokümantasyon: Hazırlanan planın kimlere ulaştırılacağı, sorumlular vb. ve yenilenme durumlarını belirtir bir bölümdür.
- 6) Örnek Formlar: Prosedürün gerçekleştirilmesi esnasında kullanılacak formlar burada tanımlanıp belgeye eklenebilir.

Bu planların hazırlanması ciddi çalışmalar gerektirmektedir. Risk değerlendirmesi hazırlanırken belirlenen risklere daha ayrıntılı çözüm bulmayı sağlar. Örnek formlar sayesinde kurumsallaşmayı sağlayarak tehlikelerin önceden fark edilip çözülmesine faydalı olması hedeflenmektedir. Tez araştırması esnasında uygulamalar tarafından zorunlu olması nedeniyle bu konu üzerinde özellikle Amerika ve Kanadalı araştırmacı ve akademisyenlerin sıkça durduğu görülmüştür.

5. METAL SEKTÖRÜNDE YAŞANAN ELEKTRİK KAYNAKLI KAZA SEBEPLERİNİN ÖNCELİKLENDİRİLMESİ

İş kazası 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunun'da “ölüme sebebiyet veren veya vücut bütünlüğünü ruhen ya da bedenen engelli hâle getiren olay” olarak tanımlanmaktadır. Ancak iş kazaları ile ilgili yapılan çalışmalarda “kaza” olayı öncesinde ve sonrasında birçok etmen/etki olduğu görülmektedir. Bunun en açık örneği ise elektrik kaynaklı kazalardır. Öncesinde alınması gereken doğru önlemler ve olay sonrasında yaşanan fiziksel ve psikolojik problemler organizasyon ve çalışanların tümünü etkilemektedir.

“Risk değerlendirmesi; işyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan faktörler ile tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılması gerekli çalışmalardır” (İş Sağlığı Ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği, 2012). Artık birçok işyerinde yapılan risk değerlendirme raporları tehlikenin belirlenmesi aşamasında başarılı sayılabilir. Ancak tehlikenin riske dönüşmesine neden olan faktörlerin tespiti ve derecelendirmesi veya kontrol tedbirleri için verilmesi gereken azami termin sürelerinin belirlenmesi aşamasında başarısız olunmaktadır.

5.1. Elektrik Kaynaklı İş Kazaları

2017 yılı iş kazası istatistiki verilerine bakıldığında ölümlü iş kazalarının %5.69'unun elektrik akımı sonucu olduğu görülmektedir. Ayrıca elektrik akımının dolaylı yoldan neden olduğu kazalar da düşünüldüğünde bu oranın daha da yükseleceği aşikârdır. Elektrik kazaları ülkemizde olduğu gibi dünyada da ciddi yer almaktadır. Bu oranlardan elektrik güvenliğinin tam olarak sağlanamadığı sonucuna ulaşılabilir.

Elektrik iş kazasına sebep olabilecek 3 temel faktör bulunmaktadır. İlk faktör tasarımsal ve yerleşimsel hatalardır. Yapılan tesisat yada ekipman tasarımlarının mevzuatlara uygun olmaması, yapılacak olan işin niteliği ile bağdaşmaması, kurulumunun doğru yapılmaması vb. nedenler bu kategoride yer alabilir. İkinci faktör yönetsel ve işletme temelli hatalardır. Buna organizasyon hatası da denilebilmektedir. İşveren kuruluşların yasal

mevzuatta belirtilen görev ve sorumluluklarını yerine getirmemesi sonucu iş kazası olabilmektedir. Üçüncü faktör ise çalışanın kendi ruhsal durumu ya da ihmalkâr davranışları sebebiyle kaza olabilmektedir.

Elektrik kazaları üzerine birçok araştırma yapılmış, bu araştırmalar da elektrik kaynağı olarak elektriğin doğrudan ve dolaylı olarak kazalara neden olabildiği, kaza geçiren çalışanların daha çok elektrikçilerin olduğu ancak elektrikçi olmayan ‘diğer’ çalışanların (özellikle elektrikli el aletleriyle çalışanların) maruziyetlerinin yüksek olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

Elektrik çarpmasının çalışanda ve işyerinde fizyolojik ve psikolojik etkisi bulunmaktadır. Elektrik akımına maruz kalan çalışanlarda; yanık, uzuv kaybı, stresli olma, anksiyete gibi uzun vadeli sonuçlar olabilmektedir. Ayrıca kaza geçiren işyerinde diğer çalışanların yaşayacağı panik, korku gibi durumlar da psikolojik etki bırakmaktadır. Kalıcı fiziksel ve psikolojik problemler çalışanda iş gücü kaybına neden olur çalışan – özel sektör - devlet arasında bulunan ilişkinin zedelenmesine neden olmaktadır.

5.2.Metal Sektöründe Elektrik Kazaları

Elektrik kazalarının daha çok elektrik üretim, iletim ve dağıtım sektörlerinde olduğu SGK istatistiklerinde görülmektedir. Ancak elektrik konusunda tecrübeli ve eğitilmiş çalışan oranı üretim, iletim ve dağıtım sektörlerinde tüm çalışanların % 50 sinden fazladır (Ceylan, 2012). Bu nedenle birçok çalışma bu sektörler üzerinden yapılmıştır. Ancak burada göz ardı edilen nokta elektrikçi olmayan çalışanların elektrik enerjisine maruz kaldıklarıdır. Ayrıca yüksek gerilim ve alçak gerilimde çalışmalarda tecrübe ve usul farklılıkları bulunmaktadır. Metal sektörünün çalışma evreni olarak seçilmesinde el aletlerinin çok kullanılması, genellikle elektrikçi dışında çalışanların istihdam edilmesi gibi etkenler yer almaktadır.

Yapılan literatür araştırmasında metal sektörü ve elektrik konularının özel olarak irdelenmediği saptanmıştır. Elektrik kaynaklı iş kazalarında kaza sonrasında kaza algoritmasına bakıldığında kaza olayından sonraki kısım farklı sektör işyerleri için çok ciddi fark oluşturmamaktadır. Ancak kaza olayından önceki hatalar zincirini ise çalışılan sektör, çalışan profili vb. konular önemli derecede etkilemektedir. Örneğin; yüksek gerilim

hatlarının bakımını yapılması esnasında elektrik çarpması tehlikesi bulunmaktadır. Burada risk yüksek gerilim hatlarına azami yaklaşma mesafesini aşılması olabilir. Bunun sonucunda çalışan elektrik akımına maruz kalabilir. Makine üretimi yapan bir işyerinde makine parçalarını puntalamak suretiyle birleştiren bir çalışanın kaynak makinesinde dolayı yaşayacağı tehlike elektrik çarpmasıdır. Burada izolasyonsuz şase pensesine temas etme riski bulunmaktadır. Bunun sonucunda çalışan elektrik akımına maruz kalabilir. Yukarıda bahsedilen iki örnekten görüldüğü üzere tehlike aynı olup riskler sektörel özelliklere göre değişmektedir.

Metal sektöründe meydana gelen elektrik kazaları incelendiğinde kaynak makinesinden veya kaynak işlemi esnasında birçok kaza yaşandığı görülmektedir. Bu kazaların geneli ölüm ile sonuçlanmıştır. Elektrik sistemlerinin bakım onarımı sırasında da elektrik kazaları yaşanmış ve bunlar incelenen kazalar içerisinde 1. sırayı oluşturmaktadır. Metal sektöründe yaşanan elektrik kazaları için incelenen 40 adet kazaya ilişkin bilgiler EK 1’de belirtilen listede görülmektedir. Ayrıca EK 2’de kaza incelemeleri sonucunda elde edilen sebeplerin belirtildiği liste bulunmaktadır.

5.3.Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)

Analitik hiyerarşi süreci (AHP) birçoklu karar verme metotudur. Thomas L. Saaty tarafından oluşturulmuştur. Saaty (2008); bir olayı anlamak için edinilen bilgiler çok ise ya da karar verenin konu hakkında çok fazla bilgisi var ise; bu durumun karar verme aşamasında dezavantaj oluşturduğunu belirtmektedir. Sezgisel olarak yaklaşımlarla problem çözümünde; eldeki verilerin doğru karar vermede kullanışlı olamayabileceği ve bu durumun birçok örneği olduğunu belirterek karar verme aşamasına matematiksel yaklaşılması gerekliliğini savunmaktadır. Ayrıca analitik hiyerarşi sürecinin; bir olaydaki paydaşlar ve etkilenecek gruplar göz önünde bulundurularak, düşünceleri formülize edip en iyi sonuca ulaşmaya yardımcı olacağını belirtmektedir.

Analitik hiyerarşi süreci; bilimsel yaklaşımı sayesinde birçok alanda karar verme işlemi esnasında kullanılmaktadır. Sürecin iş sağlığı ve güvenliğinde kullanılması ise çok yaygın değildir. Caputo vd. (2013) endüstri makinelerinde kullanılacak olan güvenlik ekipmanlarının birden çok alternatif arasından en fiyat- fayda dengesini sağlayacak olanın seçiminde kullanmıştır. Fang vd. (2003) AHP’yi inşaatlarda kullanılacak en uygun

iskelenin seçiminde kullanmıştır. Abinbakhsh vd. (2013) yeni bir inşaat projesine başlanmadan önce iş sağlığı ve güvenliği konusunda meydana gelen iş kazası çeşitlerini fiyat-fayda dengesini de göz önüne alarak AHP ile öncelik sırasına koymayı; bu sayede bütçe planlanmasının ona göre yapılmasını amaçlamıştır. Badri vd. (2012) AHP'nin kullanılmasıyla bir risk skoru hesabı oluşturarak iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirmesi esnasında kullanılabilirliğini göstermiştir. Kaza sebeplerinin kendi içerisinde sıralanmasına dair herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Analitik Hiyerarşi Metodu ile karar verme aşaması önceden belirlenmiş olan kriterler, alt kriterler ve alternatifler ile hiyerarşik bir yapı oluşturulmasıyla başlar. Uzman kişi ya da grup tarafından alternatiflere göre kriterlerin değerlendirilmesi yapılır. Değerlendirmenin sonucunda kriter ve alt kriterlerin ağırlık değerlerine göre sıralaması yapılmış olur. Birden fazla seçeneğin olduğu durumlarda amaca göre en öncelikli kriter belirlenmiş olur.

Hiyerarşik düzen gösterimi kriter, alt kriter ve alternatiflere toplu bir bakış yapılmasını sağlar ki bu sayede değerlendirmeyi yapacak olan uzman kişi daha homojen ve doğru şekilde karar verebilir. Kıyas değerleri sözlü ifadelerle olabileceği gibi (eşit, az üstün, çok üstün, mutlak üstün vb.); sayısal değerler (1, 3, 5, 7, 9 vb.) kullanılarak da yapılabilmektedir (Saaty, 2008).

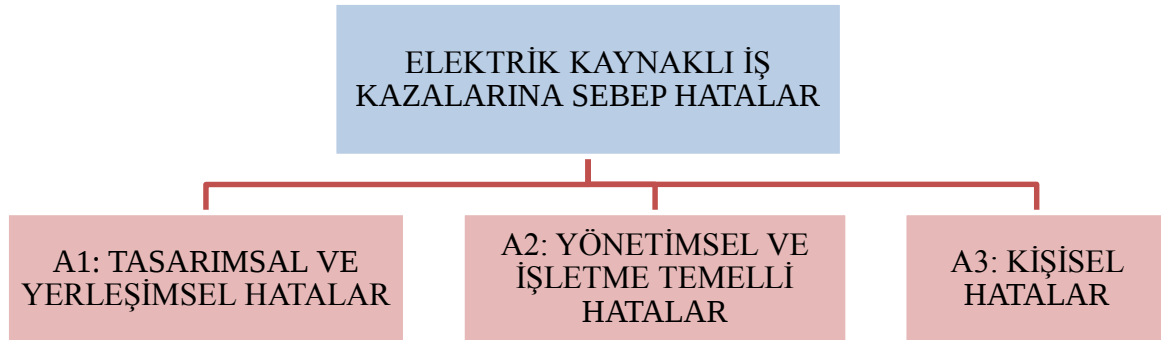
Önceliklerin belirlenmesi aşamasında karar verilebilmesi için bazı adımların uygulanması gerekmektedir (Saaty, 1990). Öncelikle problem tanımlanmalı ve hangi tür bilgi isteniyorsa karar verilmelidir. Hiyerarşik yapının en üst hedeften en alttaki yapı elemanına kadar düzenlenmesi gerekmektedir. Kriterler, alternatifler ve alt kriterlerin hepsinin bu yapıda görünmesi sağlanmalıdır. Oluşturulan hiyerarşik yapıya göre ikili karşılaştırma matrisleri hazırlanmalıdır. Bu matrislerde en alttan başlanarak önem dereceleri verilmelidir. Bu derecelere göre ise AHP matematiği kullanılarak ağırlık vektörleri ve önem sıraları belirlenmelidir.

Saaty'nin önerdiği numaralandırma değerleri Çizelge 5.1'de belirtilmektedir.

Çizelge 5.1. Karar verme ölçeği ve açıklaması

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Önemde	İki durumda olay üzerinde eşit derecede etkili
3	Orta derecede önemli (az üstün)	Bir durum diğerine göre hafif seviyede daha etkili
5	Oldukça Önemli (Fazla Üstün)	Bir durum diğerine göre daha çok etkili
7	Çok Önemli (Çok Üstün)	Bir durumun etkileme miktarı diğerine göre çok daha baskın
9	Son Derece Önemli (Mutlak Üstün)	Belirtilere göre bir durumun etkileme miktarı diğerine göre olabildiğince yüksek seviyede.
2, 4, 6, 8	Ara Değerler (İki Yakın Değerlendirme İçin)	Ara değerler gerektiğinde kullanılır.
KARŞIT DEĞERLER	1/x Diğerine Göre Önem Derecesi Az	Daha az önemli olduğu durumlarda kullanılır.

İkili karşılaştırma matrisi üzerinde önceliklendirme yapılırken bir kriter diğeriyle kıyaslanır. Örneğin Şekil 5.1'deki karşılaştırma matrisinde A1, A2 ve A3 kriteri kıyaslanmaktadır. Oluşturulan matris Çizelge 5.2'deki gibi olacaktır. Burada öncelikle A1 ve A2 kriteri kıyaslanır. Hangi kriter daha üstünse, üstünlük derecesine göre numara verilir ve matrise yerleştirilir. Bu kıyaslamaya bütün kriterler boyunca devam edilir. Değerlendirme sonucunda önceliklendirme yapılır ve bu sıralamanın tutarlılığı belirtilir. Tutarlılık oranı 0.1'in altında olan sonuçlar dikkate alınır.



Şekil 5.1. Kriter hiyerarşik düzeni

Çizelge 5.2. A1, A2 ve A3 kriterleri karşılaştırma matrisi

	A1	A2	A3	Önem Sıralaması	Tutarlılık Oranı
A1	1	1/3	1/7	3	0,00669
A2	3	1	1/3	2	
A3	7	3	1	1	

AHP ile bir hiyerarşik düzenin değerlendirmesinde grup karar vericiler tarafından da karar verilebilmektedir. Bu noktada 2 önemli husus vardır. İlki katılımcıların verdiği bireysel kararların nasıl tek bir grup kararlarına dönüştürüleceği diğer bir nokta ise grup kararının bireysel kararlardan nasıl oluşturulacağıdır. Bunun için Saaty (1990) iki yöntem tavsiye etmiştir. İlk olarak grup üyelerinin seçim esnasında bir arada bulunup değerlendirme yapılırken ortak bir karara varılarak değerlendirme yapılması, ikinci olarak ise grup üyelerinin bireysel kararlar verip bu kararların geometrik ortalaması alınarak ağırlıkların ve tutarlılık oranının hesaplanması. Ancak grup üyelerinin farklı düşüncelere sahip olması ortak karar alınmasını engellemiştir. Bu nedenle geometrik ortalama kullanışlı olmaktadır. Ortalama alındığında tutarlı sonuçlar elde edilmesi için ise tutarlılık indeksi kullanılmaktadır.

5.4. Kaza Nedenlerinin Önceliklendirilmesi

5.4.1. Veri ve çalışma alanı

Elektrik kaynaklı iş kazalarının nedenlerinin belirlenmesi amacıyla önceki yapılan çalışmalar sonucu elde edilen kaza nedenleri (Örn: Türen ve Gökmen (2014); Liggett (2006); Zhao vd. (2014); Müngen (1993); Chi vd. (2009) vb.), yasal mevzuatta zorunlu tutulan maddeler, çalışanların psikolojik fizyolojik durumları üzerine yapılan araştırmaların sonuçları (Örn: Ceylan (2012); Dursun (2013); Türen ve Gökmen (2014); Özdemir (2014) vb.) incelenmiştir. Bu incelemeler sonucu kazaya neden olan 3 ana faktör ve 16 alt faktör tespit edilmiştir. Çizelge 5.3'te görüleceği üzere 16 alt faktöründe kendi içinde alt faktörleri bulunmaktadır.

Çizelge 5.3. Elektrik kaynaklı iş kazası sebep tablosu

Kod	Kaza Sebebi
A1	Tasarımsal ve Yerleşimsel Hatalar
B1	İşe Uygun Teçhizat /Tesisat Seçimi ve Kurulumu
C1	Tesisat Malzeme Seçimi
C2	Ek Elektriksel Teçhizatların Uygun Seçimi
B2	Ekipman/Makine Tasarımı ve Yerleşimi
C3	Pano Yerleşimi ve Erişim Kolaylığı
C4	İsimlendirme ve Proje Çizimi
B3	Projelerin Mevzuata Uygunluğu ve Uygun İnşası
C5	Topraklama Yapılmaması yada Uygunsuz İnşa Edilmesi
C6	Artık Akım Anahtarlarının Kullanılması
C7	Uygun Tipte/ Güçte Tesisat Malzemesi Seçimi ve İnşası
A2	Yönetimsel ve İşletme Temelli Hatalar
B4	Kontrol ve Denetim Hatası
C8	Etkisiz Denetim
C9	Alınan Önleyici Güvenlik Önlemlerinin Yetersizliği
C10	Etkisiz Destek
B5	Bakım/Onarım ve İyileştirme Hatası
C11	Periyodik Bakımların Yapılmaması
C12	Hatalı Ekipmanın Kullanımına Devam Edilmesi
C13	Muadil/Yanlış Elemanla Tamir/Düzeltilme Yapılması
B6	Çalışanın Denetim Ve Gözetimi
C14	Prosedürlere Uyumun Takibi
C15	Güvenlik Önlemlerinin Alınıp Alınmadığının Takibi
C16	Eğitim/Tatbikatlara Katılımların Kontrolü
B7	Eğitim ve Bilgilendirme
C17	İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi Verme
D1	Tehlikelerin Belirtilmesi
D2	KKD Kullanımının Anlatılması
D3	Güvenlik Kültürü Oluşturulması
C18	Mesleki Eğitim
D4	Eğitimsiz Kişilerin Görevlendirilmesi
D5	İleri/Değişen Teknoloji Eğitimlerinin Aldırılmaması
D6	Bakım-Onarım Bilgisi
D7	Ekipman Kurma-Sökme Bilgisi
B8	Tecrübe Aktarımı/Kazandırma
C19	İşbaşı Eğitimlerinin Yapılmaması
C20	Rekabetçi Ordamda Bilgi Saklamaya Teşvik Edilmesi
B9	Verimli Ve Güvenli Çalışma Planı
C21	Uygun Çalışma Süreleri
C22	Yalnız Çalışılmayacak İşlerin Tespiti
C23	Yeterli Mola Ve Dinlenme Süresi
C24	Çalışma Şartlarının Uygun Hale Getirilmesi
C25	Yapılacak Olan İşe Uygun Teslim Süresi Belirleme
C26	İş Gücüne Uygun İş Beklentisi
B10	Ekipman Seçiminin Uygunluğu
C27	El Aletlerinin İşe ve Ergonomiye Uygun Seçimi
C28	KKD'lerin İşe ve Ergonomiye Uygun Seçimi

Çizelge 5.3.(devam) Elektrik kaynaklı iş kazası sebep tablosu

Kod	Kaza Sebebi
B11	Planlama ve Çalışma Talimatları
C29	İşe Başlama İzin Sistemi Kurulması
C30	Risklerin Belirlenmemesi/Eksik Risk Değerlendirmesi
C31	Güvenli Çalışma Talimatı Oluşturulmaması / Eksik Olması
C32	Çalışma Koşullarının İşe Uygunluğunun Tespiti
A3	Kişisel Hatalar
B12	Teslim Zamanı
C33	İş Gücüne Orantısız İş Süresi Hesaplaması
C34	Erken Bitirmeye Çalışma
B13	Eğitim Alma
C35	Alınan Eğitimlere Uymama
C36	Ergonomi Bilgilerini Uygulamama
C37	Eğitime Katılmama/Dinlememe
B14	İş Bilgisi/Tecrübe
C38	Bilgisi veya Görevi Dahilinde Olmayan İşin Kabulü
C39	Teknolojik Gelişmelerin Takip Edilmemesi/Bilgi Yenilememe
C40	Destek Alınmaması
C41	Hatalı Ekipmanla Çalışmaya Devam Edilmesi ve İşverene Bildirmeme
B15	Prosedüre Uyma
C42	Tecrübeli Olunduğu Düşünüldüğü Prosedürlere Uymama
B16	Çalışanın Durumu
C43	Fiziksel Yapının İşe Uygun Olmaması
C44	Psikolojik Rahatsızlıklar
C45	Maaş ve Geçinme Telaşı
C46	Stresli Olunma

İş Teftiş Kurulu Başkanlığının verileri, FACE (Fatality Assessment And Control Evaluation) Programı verileri, Accident Investigation Summary verileri, Google Alert sistemi aracılığıyla internet gazetelerinde yayınlanmış ve içerisinde ‘electrical shock’, ‘elektrik çarpması’, ‘electrical incident’ kelimeleri geçen haberler kullanılarak 40 adet Metal Sektörü işyerinde meydana gelmiş elektrik kaynaklı iş kazası incelenmiştir. Bu incelemeler esnasında kazanın nedeni net olarak belirtilmiş ve/veya kaza incelemesi yapılmış olan veriler tercih edilmiştir. Yapılan kaza incelemeleri sonucunda elektrik kazasına neden olan faktörler üzerinden sadeleştirme yoluna gidilmiştir. Bu sadeleştirme ile metal sektörüne özgü Çizelge 5.4’te görüldüğü üzere ‘Metal sektöründe elektrik kaynaklı iş kazaları sebep tablosu’ ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca kaza incelemelerinde özellikle ölümlü kazalarda olmak üzere çalışan kaynaklı hataların altında yatan sebeplerinin incelenmesi için çalışan ile ayrıntılı olarak görüşülmesi gerektiği görülmüştür. Ancak ölümlü kazalarda bu durum sağlanamayacağı için veri bilgisi olmayan kişisel hatalar hiyerarşik tablo düzeninde elelenmiştir. Örnek olarak B16 kodu ile verilen Çalışanın Durumu başlıklı hatada; psikolojik rahatsızlıklar alt faktörünün ancak psikolog uzmanlar eşliğinde yapılacak görüşmelerle net olarak belirlenebileceği düşünülmüştür.

Çizelge 5.4. Metal Sektöründe elektrik kaynaklı iş kazaları sebep tablosu

Kod	Kaza Sebebi
A1	Tasarımsal ve Yerleşimsel Hatalar
B1	İşe Uygun Teçhizat /Tesisat Seçimi ve Kurulumu
C1	Tesisat Malzeme Seçimi
C2	Ek Elektriksel Teçhizatların Uygun Seçimi
B2	Ekipman/Makine Tasarımı ve Yerleşimi
C3	Pano Yerleşimi ve Erişim Kolaylığı
B3	Projelerin Mevzuata Uygunluğu ve Uygun İnşası
C5	Topraklama Yapılmaması yada Uygunsuz İnşa Edilmesi
C6	Artık Akım Anahtarlarının Kullanılması
C7	Uygun Tipte/ Güçte Tesisat Malzemesi Seçimi ve İnşası
A2	Yönetimsel ve İşletme Temelli Hatalar
B4	Kontrol ve Denetim Hatası
C8	Etkisiz Denetim
C9	Alınan Önleyici Güvenlik Önlemlerinin Yetersizliği
C10	Etkisiz Destek
B5	Bakım/Onarım ve İyileştirme Hatası
C11	Periyodik Bakımların Yapılmaması
C12	Hatalı Ekipmanın Kullanımına Devam Edilmesi
C13	Muadil/Yanlış Elemanla Tamir/Düzeltilme Yapılması
B6	Çalışanın Denetim Ve Gözetimi
C14	Prosedürlere Uyumun Takibi
C15	Güvenlik Önlemlerinin Alınıp Alınmadığının Takibi
B7	Eğitim ve Bilgilendirme
C17	İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi Verme
D1	Tehlikelerin Belirtilmesi
D2	KKD Kullanımının Anlatılması
D3	Güvenlik Kültürü Oluşturulması
C18	Mesleki Eğitim
D4	Eğitimsiz Kişilerin Görevlendirilmesi
D6	Bakım-Onarım Bilgisi
D7	Ekipman Kurma-Sökme Bilgisi
B9	Verimli Ve Güvenli Çalışma Planı
C22	Yalnız Çalışılmayacak İşlerin Tespiti
C24	Çalışma Şartlarının Uygun Hale Getirilmesi
C26	İş Gücüne Uygun İş Beklentisi
B10	Ekipman Seçiminin Uygunluğu
C27	El Aletlerinin İşe ve Ergonomiye Uygun Seçimi
C28	Kkd'lerin İşe ve Ergonomiye Uygun Seçimi
B11	Planlama ve Çalışma Talimatları
C29	İşe Başlama İzin Sistemi Kurulması
C30	Risklerin Belirlenmemesi/Eksik Risk Değerlendirmesi
C31	Güvenli Çalışma Talimatı Oluşturulmaması / Eksik Olması
C32	Çalışma Koşullarının İşe Uygunluğunun Tespiti
A3	Kişisel Hatalar
B13	Eğitim Alma
C35	Alınan Eğitimlere Uymama
B14	İş Bilgisi/Tecrübe
C38	Bilgisi veya Görevi Dahilinde Olmayan İşin Kabulü
C40	Destek Alınmaması
C41	Hatalı Ekipmanla Çalışmaya Devam Edilmesi ve İşverene Bildirmeme
B15	Prosedüre Uyma
C42	Tecrübeli Olunduğu Düşünüldüğü Prosedürlere Uymama

Yapılan sadeleştirmeler sonucunda Çizelge 5.4'te belirtilen hiyerarşik düzen elde edilmiştir. Bu hiyerarşik düzen için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. İş Teftiş Kurulu Başkanlığında görevli branşı Elektrik Elektronik Mühendisliği olan 8 iş müfettişine oluşturulan karar matrisleri verilerek bu maddelerin önceliklendirmesinin yapmaları istenmiştir. Müfettişler tarafından verilen karar ölçütlerinin geometrik ortalaması ile grup karar matrisi oluşturulmuştur. Uzman puanlamaları; Expert Choice 2000 yazılımında işlenerek grup karar matrisi sonuçları elde edilmiştir.

5.4.2. Elektrik kaynaklı iş kazalarının sebepleri

A1: Tasarımsal ve yerleşimsel hatalar

B1:İşe uygun teçhizat /tesisat seçimi ve kurulumu

C1: Tesisat malzeme seçimi

Bir işyerinin faaliyet konusu ve tahmini kapasitesine göre kullanılacak ekipmanlar kurulumu öncesinde bellidir. Elektrik tesisatı tasarım aşamasındayken faaliyet konusu ve kapasite durumu gözetilerek yapıldığında, tesis çalışırken ihtiyaç duyulacak tesisatın malzeme seçimi doğru yapılabilir. Doğal yada yapay etkenlere (yağmur, kar, sulama, yıkama, nem vb.) maruz kalınabilecek bir ortamda bu koşullar dikkate alınmaksızın malzeme seçimi yapılması durumunda tesisatların kaza nedeni olarak karşımıza çıkması çok tabiidir. Örneğin; armatürlerin dış ortam için üretilmemiş olması, prizlerin ve iç ortam armatürlerinin suya, neme vb. koşullara dayanıklı olmaması gibi. Bu tip hatalar sonucu ölüme kadar varabilen kazalar yaşanmaktadır.

C2: Ek elektriksel teçhizatların uygun seçimi

Binalarda ya da tesislerde elektrik projeleri genel olarak yaygın kullanım koşulları dikkate alınarak tasarlanmaktadır. Birçok firma önceden inşası yapılmış sanayi bölgelerinde ya da mahalle aralarında apartman altı dükkânlarda kiralama usulüne göre çalışmaktadır. Bu tür işyerlerinde ilk kurulum aşamasında elektrik tesisatı üzerinde tadilatlar yapılır, güçlendirme çalışmaları yapılır. Yine aynı şekilde fabrika ya da küçük işletmelerde yeni tesis kurulması, yeni makinaların alınması gibi nedenler tesisata ekleme yapılmasını gerektirmektedir. Örneğin; özellikle bina altında bulunan bir metal işleme atölyesinde

universal torna ya da CNC tezgâhı, matkap, kaynak makinesi, kompresör vb. elektrikle çalışan ekipmanlar bulunacaktır. Bu tesisin bir ev ya da basit ekipmanları olan bir ticarethaneden daha çok elektrik akımına ihtiyaç duyacağı aşîkârdır. Kullanılan makinelerin bakım sıklığına ve yaşına göre elektriksel kayıpları değışebilmektedir. Burada yapılacak müdahalenin hem binada bulunan diğêr haneleri etkilememesi hem de işyerinin güvenli çalışmasını sağlayabilmesi gereklidir. Genellikle tesisat üzerinde ek kablolar çekilmesi, ayrı topraklama yapılması, koruma rölelerinin iptal edilmesi sıklıkla karşılaşılan durumlardır. Yeni döşenen hatların eski sistemle uyum içinde olmaması, projelendirmeden doğrudan elektrikçiler vasıtasıyla yapılması, topraksız ve düşük kalite malzemeden üretilmiş ve hatta CE belgesi bulunmayan uzatma kablolarının kullanılması vb. sıklıkla karşılaşılan hatalardandır. Bu hatalar kaza ve yangın sebebidir. Bu hatalar büyük küçük demeden bütün sanayi kuruluşlarında da görülebilmektedir.

B2: Ekipman/makine tasarımı ve yerleşimi

C3: Pano yerleşimi ve erişim kolaylığı

Elektrikle çalışan bir ekipman ya da makinenin tasarımı yapılırken kontrol panolarının, acil durdurma butonlarının yerlerinin seçimi kritiktir. Hem insan güvenliği hem de makine güvenliği açısından; hata durumunda kolaylıkla ulaşılabilir, sistemi tamamen durdurabilecek, motoru ya da insanı korumak amaçlı kontrol panolarında koruma rölelerinin bulunduğu tasarımlar gerekmektedir. Kazara enerji panosu gibi donanımlara ulaşılabilmesi, tamir- bakım esnasında çalışanların tehlikeye maruz kalmadan çalışabilmesi dikkat edilmesi gereken hususlara örnek olarak gösterilebilir. Elektrik nedenli iş kazaları arasında çalışanların makine kontrol panolarının yanlış konumu ya da çalışma esnasında yanlışlıkla aktif kablolarına teması vb. bulunmaktadır. Günümüzde birçok CNC tezgâhının üretici firmalar tarafından motor koruma rölelerinin takılması ve topraklamasının yapılması gibi maddeler ilk kurulum aşamasında zorunlu tutulmaktadır. Ancak bu rölelerin insan koruması yapmadığı dikkat edilmesi gereken bir diğêr husustur.

C4: İsimlendirme ve proje çizimi

Elektrikle çalışmalarda projelendirme çok önemlidir. Mevzuat ve ilgili standartlara uygun tasarlanan bir tesisat güvenli olarak kabul edilebilir. Burada projeyi çizen teknik elemanın

tecrübesi, mevzuata hakimliği maliyet-fayda dengesini en iyi şekilde sağlama açısından önemlidir. Kullanılacak kabloların koruma sınıflarının yapılacak olan işe uygun seçilmesi, bağlantıların ve panoların dağıtımının tehlike oluşturmayacak bölgelerde yapılması, insan alışkanlıklarının dikkate alınması gibi tasarımsal faktörler; kazaların önlenmesinde etkili olacaktır. Ayrıca bağlantıların doğru takibinin yapılabilmesi için her panoya özel proje bilgilerinin de bulundurulması gereklidir. Elektriksel ekipmanların isimlendirilmesi ve bu isimlerin etiketler şeklinde her bir ekipmanın bulunduğu alana anlaşılır şekilde yapıştırılması gerekir. İsimlendirmeler yapılırken görev gruplarına göre kod seçilmeli, uzun, karmaşık kodlamalardan kaçınılmalıdır. Kritik noktalarda açma ve kapama yönü dahil bütün hareketlerin anlamı bulunmalıdır. Seçilen renkler anlam karmaşasına mahal vermemelidir. Gerek kablo renklerinin uymaması, gerek hatalı isimlendirme nedeniyle birçok iş kazası yaşanmaktadır.

B3: Projelerin mevzuata uygunluğu ve uygun inşası

C5: Topraklama yapılmaması ya da uygunsuz inşa edilmesi

Topraklama elektrik enerjisinin temelidir. Akımın hareket prensibi nötr olana doğrudur. Bu nedenle hem makinelerin çalışabilmesi hem de insanların akımdan korunması için topraklama çok önemlidir. Topraklama ile ilgili ayrıntılı olarak 3. Ve 4. bölümlerde bahsedilmiştir. Günümüz mevzuatında topraklama zorunlu olduğundan projelendirme ve inşaat aşamasında topraklama yapılmaktadır. Burada iki ana problem bulunmaktadır. Birincisi eski yapılarda (bina, fabrika) çoğu fiş-priz- aydınlatma sistemlerinde ek koruma hattının çekilmemiş olması ve bu tesisatların halen kullanılıyor olması, ikinci husus ise inşaat ya da kullanım sonrası topraklama hatlarında kopukluk meydana gelmesi, hattın bağlantısının olmaması vb.dir. Koruma hattının zorunluluğu İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile iş güvenliği açısından da bulunduğu; teftişi yapılan yada iş güvenliği uzmanının uyarılarına uyan işyerlerinde ek kablo çekme, tesisat yenileme gibi yöntemlerle tamamlanmıştır. Ancak halen topraklaması yapılmamış yada uygun sınır değerler arasında bulunmayan işyerleri mevcuttur.

Tasarımı iş gerekliliklerine göre yapılan bir tesisatın inşaatı ve kurulumu aşamasında da tasarım parametrelerine ve malzeme listelerine sadık kalınması gerekmektedir. Sahada çalışan firma ya da kişilerin maliyet ve zaman endişesi nedeniyle ekipmanlarda yapacağı

ufak bir değişiklik bütün sistemin dengesini bozmaya yeterlidir. Ekipmanların tipi, sınıfı hatta marka ve model numarası bile değiştirilerek yerine muadili ya da yeterli olacağı düşünölen ekipmanlar yerleştirilebilmektedir. Ancak A markasının X özellikli açma kapama butonunun hata olasılığı ile B markasının ki fark gösterebilmektedir. Bu hata sebebi ile kaza meydana gelebilir. Genellikle devre kesicilerin muadil firmalarla değiştirilmesi, koruma rölelerinin takılmaması, kabloların ilgili özelliği belirten standart numaralarının olmaması ya da standartlara uygun üretilmemiş olması vb. yapılan inşaat hatalarına örnek gösterilebilir.

C6: Artık akım anahtarlarının kullanılması

Günümüzde yapılan çalışmalar sonucu sadece topraklama yapılarak elektrik çarpmasını ya da elektrik kaynaklı yangınların engellenemediği Bölüm 3'te ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Bu nedenle birçok ölkede artık akım rölelerinin alternatif ya da ikincil koruma önlemi olarak kullanımı zorunlu hale getirilmiştir. Ölkemizde de hazırlanan yönetmeliklerce işyerlerinde kullanımı zorunlu hale getirilmiştir (İşyeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmelik, Yapı İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği vb.). Kaçak akım rölesi olarak da bilinen bu rölelerin çalışma mantığı gelen akım ile geri dönen akım arasında meydana gelen farkın belli bir mA sınır değerin üzerine çıkmasıyla devreyi açmaktır. Açma işlemini kendi otomatik olarak yaptığından sistemde çalışan herhangi bir makine veya tezgâh içerisinde bulunan malzemelerde etkilenebilmektedir. Sanayide kullanılan makine ve tezgâhların zamanla yalıtım özellikleri, motor sargıları vb. zarar görmektedir. Bu zararlar ufak çaplıda olsa elektriksel kayıplara neden olmaktadır. Bu kayıpların toplanmasıyla kaçak akım koruma rölesinin sınır değeri aşılabilir ve röle tarafından devre sürekli açılmış olur. Malzeme kayıpları, zaman kaybı gibi unsurlar ileri sürölerek işyerlerinde bu röleler genellikle iptal edilir. Örnek olarak kaynak makineleri, el taşlama aletlerinin kullanımında bu tür durumlarla sık karşılaşılmaktadır. Düzenli bakım yapılmasıyla, grüplama yöntemi ile bu tür durumlar çözülebilir.

C7: Uygun tipte/ güçte tesisat malzemesi seçimi ve inşası

Sanayi tesislerinde bir diğer karşılaşılan problemler sistemin tutmaması gerekçesiyle devre kesicilerin gücünün artırılması, kabloların boyutlarının değiştirilmesi, nemli ortamlarda

açık ve korumasız teçhizat kullanılması gibi hatalardır. Daha çok bakım-onarım sırasında karşılaşılan bu hatalar geçici çözümler olarak düşünülerek uygulanmaktadır ancak çoğu zaman sonradan bir düzenleme yapılmamaktadır. Günümüzde yapılan araştırmalar elektrik kontağı nedeniyle çıkan yangınların tüm yangınlar arasında 2. sırada olduğunu göstermiştir (Bekem vd., 2011). Bir tesise gerekli akım değerine uygun olmayan veya daha geç açılan tipte sigortaların kullanılması, ek bağlantılarla tamir edilen kablolar gibi uygunsuz malzemelerin kullanılması buna örnek olabilir.

A2: Yönetimsel ve işletme temelli hatalar

B4: Kontrol ve denetim hatası

C8: Etkisiz denetim

Ülkemiz kanunlarında iş sağlığı ve güvenliği önlemlerini alma, uygulandığını sağlama ve denetleme görevi işverenlere verilmiştir.

İşveren bu görevini dışarıdan bu konu ile ilgili uzmanlardan yardım alarak yapabileceği gibi; kendi bünyesinde bulunan çalışanlardan da görevlendirme yaparak yerine getirebilir. Çalışma izin sistemi bulunan bir işyerinde bu sistemin kurulması kadar uygulanması da işverenin sorumluluğundadır. Çalışılan bir konu ile ilgili proje yöneticisinin ya da kontrolörün onayı alınmadan işe başlanması denetim eksikliğinin bir göstergesidir. İSG denetiminden sorumlu kişileri gerek belirli aralıklarla gerek çalışma anında baskın yapmak suretiyle güvenli çalışmayı kontrol etmesi kazaların önlenmesinde etkili olacaktır.

C9: Alınan önleyici güvenlik önlemlerinin yetersizliği

İşverenler, çalışma esnasında çalışanların tehlikelerden korunması için gerekli önlemleri almakla yükümlüdürler. Örneğin pano önlerine konulan yalıtkan malzemeler, gövde güvenlik topraklamasının yapılması, enerjili ortamda çalışılması gereken hallerde tehlikeli alanların yalıtkan malzemeler kullanılarak izole edilmesi gibi. Bazı alınan önlemler riski gidermiş ancak başka bir riske neden olmuş olabilir, alınan önlem tek başına riski güvenli sınırlara indirmeye yetmeyebilir. Bu tür hataların meydana gelmesini engellemek için risk değerlendirme ekibi kurularak fikir alışverişinde bulunarak risk önleme adımlarının

belirlenmesi gerekmektedir. Alınan önlemlerin iyileştirme durumu tekrar gözden geçirilmeli yetersiz ve etkisiz olduğu görülen risk önlemleri yeniden değerlendirilmelidir.

C10: Etkisiz destek

Bir önlemin tespit edilip, alınması esnasında ya da önlemlerin yerine getirildiğinin kontrolünde tecrübeli ve konu ile ilgili yeterliliği bulunan kişilerden yardım alınması sistemin etkinliğini doğrudan artıracaktır.

B5: Bakım/onarım ve iyileştirme hatası

C11: Periyodik bakımların yapılmaması

İşe başlamadan önce yapılan güvenlik çalışmalarının işin edimi esnasında da çalışır halde olduklarının takibinin yapılması gerekmektedir. Örneğin gövde güvenlik topraklaması ve elektrik tesisatının yasal olarak en az yılda 1 defa kontrolünün yapılması zorunludur. Yalıtımlı bir ekipmanın yalıtkanlığının devam edip etmediğinin anlaşılması için belli periyotlarda kontrol edilmesi gerekir. Bu kontroller yapılmadığında etkinliğini kaybeden koruma fark edilmeyecektir. Hatta korumaya güvenilerek yapılan çalışmalarda iş kazaları yaşanabilir.

Makine üzerindeki topraklamaların yanı sıra motorların elektriksel aksamaları, fiş-priz-kablo bağlantılarının kontrol edilmemesi gibi durumlar iş kazalarına neden olmaktadır.

C12: Hatalı ekipmanın kullanımına devam edilmesi

Hatalı olduğu fark edilen ekipmanın çalışması durdurulmalı ve hata giderilinceye kadar tekrar çalıştırılmamalıdır. Ancak iş yetiştirme, süre kaybı ve maddi nedenler gösterilerek ekipmanlarla çalışmaya devam edilmektedir. Hatalı bir ekipmanın kazaya neden olacağı aşikârdır. Ya insan sağlığına ya da kullanılan veya üzerinde çalışılan malzemelere zarar verilebilir. Bu tarz durumlardan dolayı birçok iş kazası meydana gelmiştir.

C13: Muadil/yanlış elemanla tamir/düzeltilme yapılması

Bakım-onarım esnasında genellikle bozulan parçaların orijinal yedek parçası yerine genellikle maliyeti daha düşük olan muadil ekipmanlar kullanılmaktadır. Genel olarak bakıldığında açma akım değerleri aynı olan bir devre kesicinin muadil olarak takılmasında bir problem görülmez. Ancak kullanılan malzemelerin CE belgesi olması, malzemenin koşullara dayanımı, hata verme olasılığı, gerek açma süresi gibi hususlar değişiklik gösterilebilir. Hassas noktalarda yapılabilecek bu basit farklılıklar bir insanın hayatına mal olabilir. Maliyet ve fayda konusu burada devreye girmektedir. Sadece maliyetin değil sonucunda gözden kaçırılmaması önemlidir.

B6: Çalışanın denetim ve gözetimiC14: Prosedürlere uyumun takibi

Yapılacak işlere yönelik olarak hazırlanan iş takip belgeleri, iş izin sistemleri, etiketleme-kilitleme sistemlerinin etkin olarak kullanıldığının takip edilmesi işverenin sorumluluğundadır. İşyerlerinde bu prosedürlerin etkin kullanımın sağlanması adına genellikle ödül-ceza sistemi kullanılmaktadır. Yapılan prosedürlere uymayanlara uyarı, kınama, aylıktan kesme ve hatta işten çıkarmaya varabilen cezalar; ayın en güvenli çalışan elemanı seçimi, para ödülü vb. ödüller verilerek çalışanların kurallara uyması teşvik edilmeye çalışılmaktadır.

C15: Güvenlik önlemlerinin alınıp alınmadığının takibi

Elektrikle çalışma her noktada tehlike arz edebilecek bir durumdur. Çalışan kaynaklı hataların yanı sıra sistemsel hatalardan kaynaklı kazalarda çoktur. İşveren çalışanların tehlikeli alanlarda yapacağı çalışmalarda gerekli önlemleri aldığından emin olmalı ve kontrol etmelidir. Örneğin elektrik pano odasının temizliğinin yapılacağı zaman elektriğin kesilmiş, topraklanmış ve elektrik olmadığının ölçülmüş olması gerekmektedir. Önlemlerin alındığı ile ilgili çalışanın imzasının bulunduğu prosedürler takip açısından kolaylık sağlayacaktır.

C16: Eğitimlere/tatbikatlara katılımların kontrolü

İşverenler önceden çalışanlarına duyurarak ya da gizlilik içerisinde koordine olarak tatbikatlar düzenler ya da kurumlarla anlaşarak düzenlenmesini sağlar. Gerek yangın gerek diğer acil durumlarda ne yapılacağını tatbik eden çalışan böyle bir durumla karşılaştığında kendi görev ve sorumluluğunu bilir ve ona göre davranır. İş sağlığı ve güvenliği eğitimleri ise çalışılan ortamdaki tehlikelere karşı farkındalık oluşturur. Bu nedenle verilen eğitimler ve yapılan tatbikatlara katılımın tam kadro olması sağlanmalıdır. Bunun için gerekli kontroller yapılmalı mazereti olan çalışanlara eğitim düzenlenmeli, tatbikatlar düzenli aralıklarda yenilenmelidir.

B7: Eğitim ve bilgilendirme

C17: İş sağlığı ve güvenliği eğitimi verme

D1: Tehlikelerin belirtilmesi

İşveren; işyerinde bulunan tehlike ve riskleri belirleyip, olasılıklarını en düşük seviyede tutacak önlemler almakla yükümlüdür. Ayrıca; çalışanların bu tehlikelerden haberdar olmasını sağlayarak kazanın oluşmasını engellemeyi amaçlamalıdır. Çalışanlarına yaptıkları işten kaynaklanabilecek tehlikeleri pratik ve/veya teorik olarak anlatıp; alınacak önlemleri göstermesi, kazaların engellenmesinde fayda sağlayacaktır. Örneğin görevi olmadığı halde elektrik panosundan ekipmanı açıp kapatan bir çalışana; makineyi kontrol kumandasını kullanarak açmasının gerekliliği, maruz kaldığı tehlike ve riskleri bildirerek anlatılabilir. Ayrıca ekipmanın çalışmasının sakıncalı olduğu hallerde bu durumun çözülmeden ekipmanın çalıştırılamayacağını çalışana bildirmesi gerekir. İşveren kuruluşlar bu eğitimleri ister kendi çalışanları aracılığıyla, ister profesyonel eğitimcilerden destek alarak verebilir.

D2: KKD kullanımının anlatılması

Toplu korunma önlemlerinin yetersiz kaldığı alanlarda KKD verilerek çalışanın zarar görmesi engellemeye çalışılır. Çalışanlara verilen donanımların nasıl kullanılacağı, bakımlarının, değişme zamanlarının nasıl olacağı ile ilgili bilgilerin verilmesi gerekir ki doğru kullanım ile tehlikeler önlenesin.

D3: Güvenlik kültürü oluşturulması

Bir işyerinde ne kadar güvenlik önlemi alınırsa alınsın, çalışanlara ne kadar koruyucu donanım verilirse verilsin, eğitimlerde çalışanların ilgisi ve dikkati çekilerek çalışanlarda güvenlik kültürü oluşturulmadığı sürece hatalı davranışlar devam edecek ve kazalar yaşanacaktır. Güvenlik kültürü kazanan çalışan; hayatını korumak için dikkatli ve özverili çalışacak, hem işyerinde kaza oranı düşecek hem de daha verimli çalışma sağlanacaktır.

C18: Mesleki eğitimD4: Eğitimsiz kişilerin görevlendirilmesi

Çalışanların yaptıkları işe uygun mesleki eğitime sahip olması gerekmektedir. Özellikle bu konuda yasalarca düzenleme yapılmış olup mesleki eğitim olmadan yapılamayacak işler belirlenmiştir. Ayrıca milli eğitim bakanlığınca birçok meslek için eğitim modülleri hazırlanmıştır. Mesleki eğitimin önemi yapılan işte bulunan tehlikelerin bilincinde olan çalışanın mesleki metotlar uygulayarak güvenli ve verimli çalışmasını sağlamasıdır. Bir elektrikçi, enerji varken pano üzerinde çalışma yapılmaması gerektiğini bilir, ancak diğer çalışanlar bu durumu bilmez ya da önemsemez. Bu nedenle mesleki eğitimi olmayan kişilerin görevlendirilmesinin yapılmaması gerekir. Ayrıca çırak ve stajyerlerin üretimin hangi aşamasına kadar dahil olabileceği belirlendiğinden eğitimi tamamlanmamış çalışanların işi tek başına yapması beklenemez. İşverenler ya da çalışanlar genellikle zamandan kazanma adına panolara müdahale edip, elektriksel problemleri çözmeye çalışırlar. Bu nedenle birçok iş kazası yaşanmaktadır.

D5: İleri/değişen teknoloji eğitimlerinin aldırılmaması

Teknoloji sürekli değişmektedir. Yeni ürünler alınmakta ve bu ürünler eski kullanılan makine ve ekipmanlardan farklılık gösterebilmektedir. Yenilenen teknolojilere karşı çalışanların üreticiler tarafından eğitimleri yapılmalı veya çalışanların mesleki eğitimlerinin seviyeleri güncellenmelidir.

D6: Bakım-onarım bilgisi

Bakım onarım özel bilgi ve tecrübe gerektiren bir iştir. Özellikle elektrikle yapılan çalışmalarda her zaman enerjinin kesilmesi yeterli olmaz. Topraklama yapılması, yalıtım yapılması, ölçüm yapılması yada enerjisi olduğundan emin olunmadan bakım-onarım yapılacak alana girilmemesi gibi unsurlar bulunmaktadır. Bu tür işlerde; yetkili kişiler dışında çalışanların müdahalede bulunmaması, bir hata durumunda derhal ilgili birimlere haber verilmesi gerekir.

D7: Ekipman kurma-sökme bilgisi

Güvenli bir çalışma için ilk şart kullanılan ekipmanların hatasız kurulmuş olmasıdır. Bağlantıları yanlış yapılan bir enerji hattında topraklama yerine faz iletkeninin bağlanması belki ekipman çalışmasını etkilemeyebilir ancak ekipmanın güvenlik açısından korunmalarını devre dışı bırakır hatta tehlikeli duruma sokabilir. Aynı şekilde ekipmanın kaldırılması ve sökülmesi konusunda bilgi sahibi olmayan kişilerin bu işleri yapması da kazalara yol açabilmektedir. Örneğin; Sökümü yapılacak ekipmanın enerjisi bağlı iken ilk olarak topraklama bağlantısının sökülmesi gibi kritik durumlarda kazaların yaşanması kaçınılmazdır. Mesleki eğitimler/kurslar almış çalışanların bu bilgilere sahip olduğu kabul edilir.

B8: Tecrübe aktarımı/kazandırma

C19: İşbaşı eğitimlerinin yapılmaması

İşbaşı eğitimleri her ne kadar çalışan mesleki bilgiye sahip olsa da; çalışma ortam ve koşullarına adapte olma, alışkın olmadığı ekipmanları tanıma adına fayda sağlamaktadır. Örneğin; fabrikadaki elektrik sistemi hakkında bilgi alarak, beslemelerin nasıl yapıldığı, bakımlar-periyodik kontroller hakkında bilgilere sahip olunur. Bu eğitimlerin verilmemesi nedeniyle tahmin yoluyla çalışma yapılması kazalara sebep olabilmektedir.

C20: Rekabetçi ortamda bilgi saklamaya teşvik edilmesi

Rekabet ortamları genellikle yapılan performansa göre ücret alınan işyerlerinde oluşmaktadır. Bilgi saklama teknik personellerde kıdem ve iş kaygısı nedeniyle olur.

Ancak örneğin; tamiri yapılacak bir elektriksel cihazda tecrübe aktarımı yapılmadığı takdirde yanlış bağlantı yapılması, yalıtıma zarar verilmesi gibi nedenlerle ekipman zarar görebilir; kazalara neden olabilir.

B9: Verimli ve güvenli çalışma planı

C21: Uygun çalışma süreleri

Çalışanların haftalık çalışma saati, bir günde maksimum ne kadar çalışabileceği ve bu sürelerin yıllık en fazla kaç saat olacağı kanunlarla düzenlenmiştir. Bir çalışan günde en fazla 11 saat çalışabilir. Haftada 45 saat çalışma süresi sanayide günlük 7,5 saat ya da 9 saat olacak şekilde paylaştırılır. Bazı meslek grupları için örneğin kaynakçılarda bu çalışma süreleri 7,5 saat veya daha az olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Bu süreler bir kişinin güvenli çalışma sınırında ve sosyal hayatını etkilemeyecek miktarlar belirlenerek seçilmiştir. Yapılan çalışmalarda uzun çalışma süreleri, mesaiye kalma gibi faktörlerin iş kazalarını artırdığı yönünde sonuçlara ulaşılmıştır (Soares, 2018). Çalışanın iş dışında kalan uyku ve dinlenme zamanının yetersiz olması; yorgunluk, dikkatsizlik gibi sonuçlara neden olmakta bu sonuçlarda iş kazalarının nedenlerini oluşturmaktadır.

C22: Yalnız çalışılmayacak işlerin tespiti

Tehlikeli olarak sınıflandırabileceğimiz birtakım işler nezaretçi, gözlemci eşliğinde ya da ekip olarak yapılmalıdır. Az ışık alan, çok yüksek, dar veya kapalı alanlarda tek kişinin çalışması olası bir güvenlik probleminde kazanın geç fark edilmesine, tehlikeli davranışların daha kolay yapılmasına neden olabilmektedir. Yapılan kaza incelemelerinde; tek çalışma anında birçok kaza yaşandığı ve kazazedenin sonradan bulunduğu görülmüştür.

C23: Yeterli mola ve dinlenme süresi

Uzun süreli çalışmaların dikkat eksikliğine ve daha çok hata yapmaya neden olduğu yapılan araştırmalarla görülmüştür (Soares, 2018). Ara vermeden ya da çalıştığı alanın dışında bir ortamda dinlenmeyen çalışanlar yaptıkları işten daha çabuk sıkılıp daha çok hata yaparlar. İşyerlerinde temiz hava alabilen, çalışanın rahatlamasını ve iş ile ilgili olumsuz düşünceleri atabilmesi açısından uygun dinlenme alanları istenmektedir. Ara veren çalışan daha enerjik ve daha olumlu olarak işine geri dönecektir.

C24: Çalışma şartlarının uygun hale getirilmesi

İşyerlerinde elektrikle ilgili yaşanan kazaların bir önemli sebebi yeterince termal konfor sağlanamayan ortamlarda kullanılan elektrikli ısıtıcılardır. Yangına sebep olmasının yanı sıra uygunsuz priz bağlantıları ve genellikle yalıtım özelliklerinin iyi olmaması sebebiyle elektrik çarpmasına da neden olmaktadır.

Çalışma şartlarıyla ilgili bir diğer husus ise; aktif çalışılan alandaki olumsuz koşullar. Örneğin, kolay yetişilemeyen bir panoya uzanmak isterken merdivenin dengesini kaybetmesiyle çalışanın çıplak ve aktif kablolardan tutması gibi ölümcül sonuçları olabilen kazalar yaşanmaktadır.

C25: Yapılacak olan işe uygun teslim süresi belirleme

Bir iş çalışanın sorumluluğuna verileceği zaman önce çalışanın yaşı, tecrübesi ve çalışma koşulları göz önünde bulundurulmalıdır. Bu koşullara göre teslim süresi belirlenmelidir. Yetiştirememe kaygısı daha çok hata yapılmasına neden olmaktadır. Örneğin bozuk bir panoda tamirat yapılırken sadece boşta kalan makineden kaynaklanacak maddi kayıplar dikkate alınırsa çalışan ya onarım sırasında hatalar yapacaktır ya da pano elektriğini kesmeden çalışmaya devam edecektir ki birçok iş kazasının nedeni de budur.

C26: İş gücüne uygun iş beklentisi

Çalışanları yaşı ile tecrübesi doğru orantılı olarak artmaktadır. Ancak yapılan çalışmalar göstermektedir ki yaşlandıkça motor kontrolünde kayıplar yaşanmaktadır (Ceylan, 2012). Tepki süresi daha geç olmakta ya da görme duyusunda bozulmalar meydana gelmektedir. Çalışanlara bir iş verilirken sağlık durumuna göre iş belirlenmelidir.

B10: Ekipman seçiminin uygunluğu

C27: El aletlerinin işe ve ergonomiye uygun seçimi

Elektrikle çalışmalarda yalıtım çok önemlidir. Kullanılan el aleti ne olursa olsun eğer temas edilen noktaları yeterince yalıtılmışsa dayanım değerine kadar kişi korumasını sağlar. En basit olarak elektrikçilerin kullanacağı penseler, kontrol kalemlerinde yalıtım

sağlanmışsa hat üzerindeki elektrikten belli ölçüye kadar korunabilirler. Bir kaynakçının kullandığı kaynak makinesinin yalıtımı, kaynak yapılan yüzeye yapılacak topraklama bağlantısı ne kadar doğru malzemeden seçilirse o kadar kazaya karşı korunacaktır. Bu ekipmanların ayrıca elle tutulması ve çalışması da ergonomiye uygun olmalı ve ek tehlike oluşturmamalıdır.

C28: KKD'lerin işe ve ergonomiye uygun seçimi

KKD'ler çalışanların en zor kullandıkları ekipmanlardır. Örneğin bir eldiven elin hareketini ne kadar kısıtlarsa çalışan kullanmak istemeyecektir. Yalıtkan tabanlı bir elektrikçi ayakkabısının ağırlığı, hareket kolaylığı elbette çalışanın kullanma isteğini artıracaktır. Seçilen koruyucu donanımların öncelikle yapılacak olan işe uygun sınıfta ve korumada seçilmesi (enerjiye dayanım seviyesi vb.) ve ergonomik şartlara en çok uyan donanımın seçilmesi kazaları önlemede etkili olacaktır.

B11 : Planlama ve çalışma talimatları

C29: İşe başlama izin sistemi kurulması

Bir iş yapılmadan önce prosedürlerle belirlenen bölümlerden onay alınmalıdır. Çalışılacak ortam belki kapalı bir tankta kaynak işi, belki bozulan bir makinenin tamiri olabilir. İş güvenliği görevlileri tarafından çalışma alanı güvenli hale getirilip, yapılması gereken talimatlar çalışana iletilip, onay verildikten sonra işe başlanmalıdır.

C30: Risklerin belirlenmemesi/eksik risk değerlendirmesi yapılması

Risk değerlendirmesinin ekip olarak yapılması tehlikelerin eksik değerlendirilmesini azaltmaktadır. Tecrübeler, ramak kala olaylar ya da diğer firmalarda yaşanan kazaların değerlendirilmesi ile riskler belirlenir ve risk önleme adımları uygulanır. Ancak işletme körlüğü olarak bahsedilen; aynı ortamda alışkanlık haline gelen çalışma şekilleri değerlendirmeye tehlikeli olarak alınmayabilir. Bu durumda dışarıdan destek alınması gibi yöntemlerle çözülebilir.

C31: Güvenli çalışma talimatı oluşturulmaması / eksik olması

Tehlikeli alanlarda çalışmalarda tehlikeler belirlendikten sonra kaza olmaması için bazı prosedürler hazırlanır. Bu prosedürlerin altına talimatlar hazırlanır ve ilgili iş yapılmadan önce çalışanlara bildirilir. Bu talimatlar kontrol listesi kullanarak geri bildirimde sağlayabilir. Örneğin; elektrik bakım işinde önce enerjiyi kes-toprakla- ölçüm yap gibi adımların nasıl yapılacağı, tehlikelerin ne olduğundan kısaca bahseden, önlem alındığına dair çalışanın imzasının alınacağı bir talimat hazırlanabilir.

C32: Çalışma koşullarının işe uygunluğunun tespiti

Bir hata durumunda ya da özel koşulların gerektiği çalışmalarda oluşturulacak herhangi bir prosedür ile İSG birimi/sorumluları tarafından iş sahası incelenip, tehlikenin ne olduğu, önlem alınıp alınmadığı kontrol edilmelidir. Örneğin kapalı bir alanda çalışma yapılması gerekiyor ancak aydınlatma ve elektriksel ekipmanlar ayırma trafosuna bağlı değil ya da küçük gerilim kullanılmamış, tamirat yapılacak elektrik hattı merdivenle ulaşılabilir mesafede değil, rüzgar nedeniyle dış ortamda bakım yapılamaz. Bu gibi tespitler yapılmalı ve çalışma koşulları uygun hale getirildikten sonra işe başlanmalıdır.

A3: Kişisel hatalar

B12 : Teslim zamanı

C33: İş gücüne orantısız iş süresi hesaplaması

Özellikle prim usulü çalışmalarda daha fazla kazanç sağlama adına uzun süreli mesailer harcıyıp, işi hızlıca tamamlamaya çalışma durumu vardır. Bunun için fazla mesai yapılır, aralıksız çalışılır, hızlı hareket edilmek istenir. 2 günde tamamlanabilecek iş için teslim süresi 1 gün olarak belirlenir. Bu yaklaşım sonucunda dikkatsizlik, yorgunluk, tamir/bakım yapılan ekipmanlarda hata olması gibi sonuçlar olabilmektedir. Bu durumlarda doğrudan ya da dolaylı iş kazaları olabilir. Örneğin kablo bağlantılarının yanlış yapılması gibi.

C34: Erken bitirmeye çalışma

Çalışanlar verdikleri süreden önce işi bitirmeye çalışarak zaman kazanmaya çalışırlar. Ara vermeden dinlenmeden işin bitmesi için uğraşırlar. Birçok ölümcül iş kazası; dikkatsizlik ve hızlı çalışma nedenli hatalardan olmaktadır.

B13: Eğitim almaC35: Alınan eğitime uymama

İş sağlığı ve güvenliği önlemleri ile ilgili çalışanlar belirli periyotlarda eğitimler verilir. Eğitim sonunda izlenilen videoların, görüntülerin etkisi ile bir süre dikkatli ve güvenli davranan çalışanlar zamanla bir şey olmayacağını, gereksiz olduğunu düşünerek güvenli davranışları bırakır. İş kazalarında çoğu çalışanın eğitim katılım belgesi bulunmaktadır ancak kazanın nedenleri arasında güvensiz davranışlar bulunur.

C36: Ergonomi bilgilerini uygulamama

Verilen eğitimlerde ergonomi koşullarından bahsedilmektedir. Vücudu yoracak şekilde yapılan çalışmalar dikkatsizliği ve hatalı davranışların yapılmasını artırmaktadır. Yapılan kaza incelemesinde; merdivenle yapılan çalışmalarda merdivenin kaydırılmayıp iş bölgesine uzanarak yapılan çalışmalar esnasında, yaşanan denge kaybı sonucu çalışanın aktif elektrik kablolarına tutunarak elektriğe çarpması gibi kazalar görülmüştür.

C37: Eğitime katılmama/dinlememe

Bazı çalışanlar özellikle kalabalık gruplar halinde eğitim aldıkları zaman eğitim zamanını dinlenme vakti olarak görmektedir. Sunuyu ve anlatılanları gereksiz bulup dinlememe, yorgunluk giderme amacıyla eğitime katıldıklarında; işyerindeki tehlikelerin ne olduğunu, güvenli çalışma koşullarının nasıl olması gerektiğini öğrenemezler ve hatta güvenlik kültürü katılmamış olurlar. Bu bilgileri almayan kişi iş kazasına daha yakındır.

B14: İş bilgisi/tecrübe

C38: Bilgisi veya görevi dahilinde olmayan işin kabulü

İşverenler tarafından yapılması istenen her iş çalışana uymayabilir. Tecrübe eksikliği, iş tanımına uymaması vb. gibi. Çalışanların bu tür durumlarda işi veren kişi, temsilci ya da iş güvenliği sorumlularına bu durumu bildirmesi gerekir. Kaza incelemelerinde görülen sebeplerin biride çalışanın kendi görevi dışında verilen işin yapılmasıdır.

C39: Teknolojik gelişmelerin takip edilmemesi/bilgi yenilememe

Özellikle teknik servis çalışanlarının karşılarına gelişen teknoloji nedeniyle sürekli farklı tesisler ve ekipmanlar çıkar. Temel olarak çalışma sistemi yakın olsa da farklı marka ve model ürünlerde birçok farklılıklar olabilmektedir. Bu nedenle çalışanlar teknolojik gelişmeleri takip etmeli; eğitim, kurs, seminer vb. katılarak bilgi ve tecrübelerini artırmalıdır.

C40: Destek alınmaması

Yapılan bir iş esnasında bilgisi bulunmadığı ya da emin olunmadığı noktalarda daha üst çalışanlardan, uzaktan destek ekiplerinden ya da o alanda tecrübesi olan diğer çalışma arkadaşlarından destek alınması hem yapılan işin hatasız sonuçlandırılmasına hem de güvenli seviyede iş yapılmasına yardımcı olur.

C41: Hatalı ekipmanla çalışmaya devam edilmesi ve işverene bildirmeme

İşyerlerinde çalışma esnasında kullanılan ekipmanlarda herhangi bir hata olduğu durumda çalışanın derhal durumu bir üst amirine veya sorumlulara bildirmesi gerekir. 6331 sayılı İş Sağlığı Ve Güvenliği Kanununa göre tehlikeli durum ortadan kaldırılana kadar çalışmaktan kaçınma hakkı bulunan çalışanın işverenlerden gelen çalışmaya devam edilmesi şeklinde bir talep olduğunda bu hakkını kullanmasında hiçbir sakınca bulunmamaktadır. Ayrıca görülen hatalı durumun önemsiz olduğu ya da bir şey olmayacağı kararına varan çalışanlarda bulunabilmektedir. Bu durumda örneğin ekipmanın yalıtımında problem olmuş olabilir ancak önemsenmediğinde elektrik çarpması meydana

gelebilir. Yapılan kaza incelemelerinde bu nedenden meydana gelen kazalar olduğu görülmüştür.

B15 : Prosedüre uyma

C42: Tecrübeli olunduğu düşünülüp prosedürlere uymama

Yapılan araştırmalar 35-40 yaş arasındaki çalışanların kaza oranı ile işe yeni başlayan 20-25 arasındaki çalışanların kaza oranının çok yakın olduğunu göstermiştir (Bande and Mourello, 2015). Bunun sebebi; tecrübe sahibi olduğunu düşünen çalışanların talimatlar ve prosedürlere uymaksızın kara düzen çalışmasıdır.

B16 : Çalışanın durumu

C43: Fiziksel yapının işe uygun olmaması

Bir çalışana verilen iş çalışanın fiziksel özelliklerine uymuyorsa çalışanın bu durumu derhal sorumlulara bildirmesi gerekir. Örneğin yükseklik korkusu olan bir tamirciye gezer tavan vincinin elektrik aksamını tamir etmesi görevi verilmesi riskli bir durumdur. Çalışanların herhangi bir engel teşkil oluşturabilecek durumlarını işverene bildirmesi önemlidir.

C44: Psikolojik rahatsızlıklar

Hayat şartlarının getirdiği sorunlarla bütün çalışanlar aynı şekilde başa çıkamayabilir. Bu psikolojik rahatsızlıklar ilk etapta dikkat çekmese de ilerleyen dönemlerde bu rahatsızlıklar işe uyum sağlamama, dikkatsiz çalışma, bilerek hata yapma isteği gibi faktörlere neden olabilir. Bu faktör direk olarak kişi tarafından da anlaşılamamakla birlikte; doktor tarafından verilen ilaç vb. gibi durumlar olduğunda işverene bildirilmesi önemlidir.

C45: Maaş ve geçinme telaşı

Çalışanların aldıkları maaş ile çalışma yoğunlukları arasındaki dengesizlik ve bu çalışanların geçinme telaşında olması yaptıkları iş esnasında devamlı düşünmelerine neden olmaktadır. Dalgınlık birçok iş kazasının dolaylı nedeni arasındadır.

C46: Stresli olunma

İş stresinin daha çok hata yapma ile sonuçlandığını yapılan araştırmalar göstermektedir (Wang vd., 2018). Bu nedenle çalışan hatalı kazalarda stres faktörüne dikkat edilmelidir.

5.4.3. Analiz

5.4.2 bölümünde belirtilen kaza sebepleri Çizelge 5.3'te görüldüğü üzere hiyerarşi tablosunu oluşturmaktadır. Kaza incelemeleri sonucunda yapılan sadeleştirmeler sonucu Çizelge 5.4 elde edilmiştir. Bu sebeplerin AHP yöntemi kullanılarak uzman değerlendiricilere sunulması adına kararlaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'da Uzman 1 tarafından yapılan değerlendirmenin; A1, A2, A3 kriterleri ve C27, C28, C29 Alt kriterleri kararlaştırma matrisleri görülmektedir.

Çizelge 5.5. Uzman 1 tarafından A1, A2, A3 kriterleri için yapılan değerlendirme

A		Kıyaslanan Kriter		Hangisi daha önemli	Önem değeri
i	j	1. Kriter	2. Kriter	1/2 ?	1--9
1	2	A1	A2	A1	5
1	3	A1	A3	A1	9
2	3	A2	A3	A2	5

Çizelge 5.6. Uzman 1 tarafından C27, C28, C29 alt kriterleri için yapılan değerlendirme

B		Kıyaslanan Kriter		Hangisi daha önemli	Önem değeri
i	j	1. Kriter	2. Kriter	1/2 ?	1--9
1	2	C27	C28	C27	7
1	3	C27	C28	C27	3
2	3	C28	C29	C29	7

Çizelgelerde de görüldüğü gibi bütün kriter ve alt kriterler birbiri arasında kıyaslanmış ve burada belirtilen sonuçlar Expert Choice 2000 yazılımına işlenmiştir.

8 uzman değerlendirmesinin tamamlanması üzerine işlenen sonuçlar yazılım üzerinden tek geometrik ortalama yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir. Uzman değerlendirmesinin

birleştirilmesi ile ortalama ağırlık değerleri, normalleştirilmiş değerler, tutarlılık oranı ve öncelik sıralaması sonuçları elde edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 5.7’de listelenmiş olarak bulunmaktadır.

Çizelge 5.7. 8 Uzman değerlendirmesi sonucu hiyerarşik düzenin öncelik sıralama sonuçları

Kriter ve Alt Kriterler	Elektrik İş Kazasına Sebep Hatalar	Kod	Grup Karşılaştırma Matrisi Sonucu			
			Öncelik Sıralaması	Ağırlık Değerleri	Normalleştirilmiş Değerler	Inconsistency (tutarlılık indeksi)
A	Tasarımsal Ve Yerleşimsel Hatalar	A1	1	0.657	1	0.05
	Yönetimsel Ve İşletme Temelli Hatalar	A2	2	0.215	0.328	
	Kişisel Hatalar	A3	3	0.128	0.194	
A1	İşe Uygun Teçhizat /Tesisat Seçimi Ve Kurulumu	B1	1	0.506	1	0,00588
	Ekipman/Makine Tasarımı Ve Yerleşimi	B2	2	0.271	0.536	
	Projelerin Mevzuata Uygunluğu Ve Uygun İnşası	B3	3	0.222	0.439	
B	Tesisat Malzeme Seçimi	C1	1	0.787	1	0
	Ek Elektriksel Teçhizatların Uygun Seçimi	C2	2	0.213	0.271	
	Topraklama Yapılmaması Yada Uygunsuz İnşa Edilmesi	C5	1	0.579	1	0.00905
	Artık Akım Anahtarlarının Kullanılması	C6	3	0.185	0.319	
	Uygun Tipte/ Güçte Tesisat Malzemesi Seçimi Ve İnşası	C7	2	0.236	0.407	
A2	Kontrol Ve Denetim Hatası	B4	3	0.159	0.565	0.02
	Bakım/Onarım Ve İyileştirme Hatası	B5	2	0.166	0.591	
	Çalışanın Denetim Ve Gözetimi	B6	5	0.117	0.416	
	Eğitim Ve Bilgilendirme	B7	4	0.118	0.421	
	Verimli Ve Güvenli Çalışma Planı	B9	7	0.066	0.236	

Çizelge 5.7. (devam) 8 Uzman değerlendirmesi sonucu hiyerarşik düzenin öncelik sıralama sonuçları

Kriter ve Alt Kriterler	Elektrik İş Kazasına Sebep Hatalar	Kod	Grup Karşılaştırma Matrisi Sonucu			
			Öncelik Sıralaması	Ağırlık Değerleri	Normalleştirilmiş Değerler	Inconsistency (tutarlılık indeksi)
	Ekipman Seçiminin Uygunluğu	B10	1	0.281	1	
	Planlama Ve Çalışma Talimatları	B11	6	0.093	0.331	
B	Etkisiz Denetim	C8	3	0.139	0.2	0.05
	Alınan Önleyici Güvenlik Önlemlerinin Yetersizliği	C9	1	0.694	1	
	Etkisiz Destek	C10	2	0.167	0.24	
	Periyodik Bakımların Yapılmaması	C11	3	0.201	0.337	0.01
	Hatalı Ekipmanın Kullanımına Devam Edilmesi	C12	1	0.596	1	
	Muadil/Yanlış Elemanla Tamir/Düzeltilme Yapılması	C13	2	0.203	0.341	
	Prosedürlere Uyumun Takibi	C14	2	0.239	0.315	0
	Güvenlik Önlemlerinin Alınıp Alınmadığının Takibi	C15	1	0.761	1	
	İş Sağlığı Ve Güvenliği Eğitimi Verme	C17	2	0.219	0.281	0
	Mesleki Eğitim	C18	1	0.781	1	
	Yalnız Çalışılmayacak İşlerin Tespiti	C22	2	0.341	0.969	0.00891
	Çalışma Şartlarının Uygun Hale Getirilmesi	C24	3	0.307	0.87	
	İş Gücüne Uygun İş Beklentisi	C26	1	0.352	1	
	El Aletlerinin İşe Ve Ergonomiye Uygun Seçimi	C27	1	0.545	1	0
	Kkd'lerin İşe Ve Ergonomiye Uygun Seçimi	C28	2	0.455	0.836	
	İşe Başlama İzin Sistemi Kurulması	C29	3	0.167	0.347	0.04
	Risklerin Belirlenmemesi/Eksik Risk Değerlendirmesi	C30	1	0.481	1	
	Güvenli Çalışma Talimatı Oluşturulmaması / Eksik Olması	C31	4	0.147	0.305	
	Çalışma Koşullarının İşe Uygunluğunun Tespiti	C32	2	0.206	0.428	

Çizelge 5.7. (devam) 8 Uzman değerlendirmesi sonucu hiyerarşik düzenin öncelik sıralama sonuçları

Kriter ve Alt Kriterler	Elektrik İş Kazasına Sebep Hatalar	Kod	Grup Karşılaştırma Matrisi Sonucu			
			Öncelik Sıralaması	Ağırlık Değerleri	Normalleştirilmiş Değerler	Inconsistency (tutarlılık indeksi)
C	Tehlikelerin Belirtilmesi	D1	2	0.304	0.528	0.17
	Kkd Kullanımının Anlatılması	D2	3	0.12	0.208	
	Güvenlik Kültürü Oluşturulması	D3	1	0.576	1	
C	Eğitimsiz Kişilerin Görevlendirilmesi	D4	1	0.659	1	0.15
	Bakım-Onarım Bilgisi	D6	2	0.231	0.35	
	Ekipman Kurma-Sökme Bilgisi	D7	3	0.11	0.267	
A3	Eğitim Alma	B13	3	0.285	0.776	0.00686
	İş Bilgisi/Tecrübe	B14	2	0.347	0.944	
	Prosedüre Uyma	B15	1	0.368	1	
B	Bilgisi Veya Görevi Dahilinde Olmayan İşin Kabulü	C38	1	0.494	1	0.01
	Destek Alınmaması	C40	3	0.101	0.204	
	Hatalı Ekipmanla Çalışmaya Devam Edilmesi Ve İşverene Bildirmeme	C41	2	0.406	0.822	

5.4.4. Değerlendirme

Elde edilen sonuçlar en üst hiyerarşik düzenden itibaren yorumlandığında kriterler arasında önceliklendirme sırası;

- 1- A1:Tasarımsal ve Yerleşimsel Hatalar
- 2- A2: Yönetimsel ve İşletme Temelli Hatalar
- 3- A3: Kişisel Hatalar

olduğu görülmektedir. Tutarlılık Oranı 0,05 çıkarak değerlendirmenin kabul edilebilir tutarlı olduğu kabul edilebilir. Burada Kişisel Hatalar kriterindeki alt kriterlerde yapılan sadeleştirmeler ile önceliklendirme sonucu arasında herhangi bir etkileşim bulunmamaktadır. Mevzuat hükümleri incelendiğinde öncelikle 6331 sayılı İş Sağlığı ve

Güvenliği Kanunu Madde 4'te belirtilen “(1) İşveren, çalışanların işle ilgili sağlık ve güvenliğini sağlamakla yükümlü olup bu çerçevede;

- a) Mesleki risklerin önlenmesi, eğitim ve bilgi verilmesi dâhil her türlü tedbirin alınması, organizasyonun yapılması, gerekli araç ve gereçlerin sağlanması, sağlık ve güvenlik tedbirlerinin değişen şartlara uygun hale getirilmesi ve mevcut durumun iyileştirilmesi için çalışmalar yapar.
- b) İşyerinde alınan iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerine uyulup uyulmadığını izler, denetler ve uygunsuzlukların giderilmesini sağlar.
- c) Risk değerlendirmesi yapar veya yaptırır.
- ç) Çalışana görev verirken, çalışanın sağlık ve güvenlik yönünden işe uygunluğunu göz önüne alır.
- d) Yeterli bilgi ve talimat verilenler dışındaki çalışanların hayati ve özel tehlike bulunan yerlere girmemesi için gerekli tedbirleri alır” hükümlerinin de çıkan önceliklendirme sonucu ile orantılı olduğu anlaşılmaktadır. İşverenin öncelikle işyeri, ekipman ve tesisatlardan kaynaklanacak hataları gidermesi zorunludur. İş sağlığı ve güvenliği önlemlerinde amaç kişi hata yapmak istese bile koruyucu sistemlerinin buna olanak sağlamamasıdır.

Bir işletmenin planlama aşamasından itibaren doğru adımları takip ettiğini düşündüğümüzde idealde olması gerekenin öncelikle uygun ekipmanların seçimi, daha sonra ise bu ekipmanlara göre tesisat projelendirmesinin yapılmasıdır. Projelendirmenin doğru olarak yapıldığı işyerlerinde; tesisatın kurulumunun projeye uygun olup olmadığından bahsedilebilir. Bu durumda elektriksel açıdan tesisat uygunsuzluğu ilk ortaya çıkan problemdir. Uygulama sonuçlarında en öncelikli kaza sebebi olan Tasarımsal ve Yerleşimsel Hataların alt kriterleri arasında yapılan kıyaslamada; ‘İşe Uygun Teçhizat /Tesisat Seçimi Ve Kurulumu’ ilk sırada görülmüş ve ‘Projelerin Mevzuata Uygunluğu Ve Uygun İnşası’ ise son öncelikli sebep olarak görülmüştür. Buradan tesisatın mevzuata uygunluğunun önemsiz olduğu değil; öncelikle hangi işin yapılacağına karar verilmesi ve buna göre hangi ekipmanların kullanılacağına belirlenmesinin gerekliliği anlaşılmalıdır.

Bölüm 3'te anlatıldığı üzere topraklama tesisatının yapılması bazı ön hesaplamalara göre yapılmaktadır. Bu ön hesaplamaların atlanıp topraklamanın doğruca yapılması sorunu (C5)

işverenlerin sürekli olarak şikayet ettikleri kaçak akım rölesinden (C6) daha öncül bir alt kriter olarak belirlenmiştir.

Yönetimsel ve İşletme Temelli Hatalar için yapılan alt kriter önceliklendirmesinde; Ekipman Seçiminin Uygunluğu 1. sırada, Bakım/Onarım Ve İyileştirme Hatası 2. sırada bulunmaktadır. Planlama Ve Çalışma Talimatları 6. sırada Verimli Ve Güvenli Çalışma Planı ise 7. sırada bulunmaktadır. Bu önceliklendirmenin tutarlılık oranı 0,02 çıkmış olup kabul edilebilir seviyenin altında bulunmaktadır. Normalleştirilmiş değerlere bakıldığında Çalışanın Denetim ve Gözetimi ile Eğitim ve Bilgilendirme Kriterlerinin normalleştirilmiş değeri 0,005 farkla sıralanmıştır. Burada işverenlerin öncelikle doğru ekipmanla çalıştırması gerekliliği (B10) ortaya çıkmaktadır. İşverenlerin çalışanlarına güvenli çalışmadığına dair uyarılarından önce çalışanın kullandığı ekipmanın tamamen hatasız ve güvenli olması gerekliliği vurgulanmaktadır. Örneğin yüksekte yapılan elektrikle çalışmalarda verilecek olan merdivenin elektrik akımını iletmeyecek özellikte olması, kullanılan el aletlerinin yalıtkanlık seviyelerinin çalışılan akım- gerilim seviyesine uygun seçilmesi gibi hususların uygulanmayıp çalışanın yalıtkan tabanlı iş ayakkabısını giymemesi nedeniyle ihtar uygulanması önceliğin yanlış uygulandığını göstermektedir.

Denetim konusu B4 için alt kriterler sıralamasına bakıldığında; alınan önleyici güvenlik önlemlerinin yetersizliği 1. sırada, etkisiz destek 2. sırada etkisiz denetimin ise 3. sırada olduğu görülmektedir. Genel olarak işyerlerinde belirtilen; denetim yapıldığının ancak çalışanların yine aynı hataya devam ettiği şeklindedir. Ancak yapılan iş sağlığı ve güvenliği denetimlerinde ise evrak gereklilikleri tam olsa bile çalışanların güvenliği için ekipmanlarda tam koruma sağlanmadığına dair mevzuata aykırılıklar tespit edilmiştir (AÇSHB, 2018). Bu durumda asıl önceliğin ekipmanı güvenli hale getirmek olmalıdır. Sonraki aşamada çalışana bu koruyucu önlemlerle ilgili olarak çalışması esnasında destek verilmesi çalışanın ekipmana alışması sürecine katkı sağlayacaktır. İki aşamada sağlandığında güvenli çalışmanın devamlılığının denetimi yapılmalıdır.

Bakım Onarım ve İyileştirme hatası B5 alt kriterlerine bakıldığında hatalı ekipmanın kullanımına devam edilmesi ilk öncelik sırasını almıştır. Bu hata birçok kazanın sebebidir. Periyodik bakımların yapılmaması ve muadil/yanlış elemanla tamir/düzetme yapılması alt kriterleri ise ortalama değer olarak 0,002 değer farkla sıralanmışlardır. Ancak tutarlılık

indeksi 0,01 çıkarak kabul edilebilir sınır değerler içerisinde. Yakın derecelendirmeler sıralamanın yanlış olduğunu göstermemektedir.

Tablo 14’de görülen C17:İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi Verme ve C18: Mesleki Eğitim alt kriterlerinin kıyaslanmasında 2 kriter kıyaslandığı için tutarlılık oranı ‘0’ olarak çıkmaktadır. Burada net bir önceliklendirme yapılamadığı görülmektedir. Ancak B7 eğitim ve bilgilendirme kriterinin kıyaslanmasında 4. sırada olduğu görülmektedir. Buradan yapılacak her türlü eğitim ve bilgilendirmenin aslında önemli olduğu ancak iş sağlığı ve güvenliği eğitimi ile mesleki eğitim arasında önceliklendirme sıralamasının yapılamayabileceği sonucu çıkmaktadır. Mesleki eğitimle ilgili eğitim föylerine bakıldığında aslında iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin de olduğu anlaşılmıştır. Bazı mesleki eğitimlerinin %60 oranında iş sağlığı ve güvenliği eğitimi içerdiği görülmektedir. C17 ve C18 alt kriterlerinde bulunan D1,D2,D3,D4,D6,D7 kodlarına karşılık gelen alt kriterler; iş sağlığı ve güvenliği eğitimi kapsamında ve mesleki eğitim kapsamında alınan çeşitli eğitimlerdir. Burada tutarlılık oranlarına bakıldığında her iki alt kriter içinde 0,1’den büyük olduğu görülmektedir. Bu değer çalışana verilecek eğitim konusunda görüşlerin tutarsız olduğu anlamına gelmektedir. Buradan C17 ve C18 alt kriterlerinin iç içe değerlendirilmesi gerekliliği anlaşılmaktadır. Ayrıca 6331 sayılı kanunun 17. maddesi gereğince ‘Mesleki eğitim alma zorunluluğu bulunan tehlikeli ve çok tehlikeli sınıfta yer alan işlerde, yapacağı işle ilgili mesleki eğitim aldığını belgeleyemeyenler çalıştırılmaz.’ hükmü bulunmaktadır. Bu durumda işe almadan önce mesleki eğitim sorgulanıp iş sürecinde iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerine öncelik verilmesi daha uygun olacaktır. Meslek hakkında bilgisi olmasının daha öncelikli olduğu yargısına varılmıştır. Ancak mesleki eğitim boyutunda alınacak eğitimlerle ilgili olarak tutarlı bir sonuca ulaşılamamıştır.

B9 alt kriterinin kıyaslanmasına bakıldığında; iş gücüne uygun iş beklentisi 1. sırada, yalnız çalıştırılmayacak işlerin tespiti 2. sırada ve çalışma şartlarının uygun hale getirilmesi ise 3. sırada yer almaktadır. B9 alt kriteri diğer alt kriterler arasında 7. sırada yer almaktadır. Tutarlılık oranları kabul edilebilir seviyenin altındadır. İşverenlerin ideal şartlar ve ideal çalışan üzerinden yaptıkları verimlilik hesapları, kar hedefleri genel olarak çalışanlara baskısı olarak yansımaktadır. İşyerinde çalışanların portföyünü dikkate alınmadan hesaplar yapılması hedeflere ulaşılmamasına neden olduğundan bu baskı hiçbir zaman ortadan kalkmamaktadır. Bu nedenle çalışanlara ‘mesai yap, bitir.’ şeklinde yazılı

yada sözlü uyarılarda bulunulur. İşin doğası gereği gözlemci veya yardımcı eşliğinde yapılması gereken işlerde çeşitli sebepler sunularak çalışan tek gönderilmektedir. Kazalarda çalışanların uzun çalışmaya süreleri sonucu işe yoğunlaşma oranlarının düştüğü görülmüştür. Ayrıca tek başına çalışması esnasında kaza geçiren çalışanın olaydan çok sonra farkedilmesi de ayrı bir sonuçtur. Bu işlerin tespitini ancak öncesinde işyeri ile ilgili çalışmaların tam ve eksiksiz yapılması ile olabilir.

Organizasyon bakımından 6. Sırada buluna 'B11: Planlama Ve Çalışma Talimatları' diğer kriterlere göre 6. sırada bulunmaktadır. Alt kriterlerine bakıldığında 'C30: Risklerin belirlenmemesi/eksik risk değerlendirmesi' nin ilk sırada 'C31: Güvenli çalışma talimatı oluşturulmaması/eksik olması' nin ise en son sırada olduğu görülmüştür. Bu noktada risk değerlendirmesi vb. prosedürlerin kaza olmasında etkisi çoktur ancak yazılı prosedürün iş kazaları açısından giderilme önceliği ekipman ve işverenin sorumluluklarına göre daha geride olacağı anlamı çıkmaktadır. Örneğin ekipmanın uygunsuz seçilmesi durumunda güvenli çalışma planının işe yaramayacağı aşikardır.

Kişisel Hatalar kriter karşılaştırmasında 3. sırada bulunmaktadır. 6331 sayılı kanunda da öncelikle işverene sorumluluk verilmesi bu sıralamayı destekler niteliktedir. Aynı kanunun 19. maddesinde 'Çalışanlar, iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili aldıkları eğitim ve işverenin bu konudaki talimatları doğrultusunda, kendilerinin ve hareketlerinden veya yaptıkları işten etkilenen diğer çalışanların sağlık ve güvenliklerini tehlikeye düşürmemekle yükümlüdür.' Ayrıca işyerine ekipman araç gereç vs. zarar vermemek ve doğru şekilde kullanmak yükümlülüğü bulunmaktadır. Bu nedenle çalışanın güvenli çalışmasının beklenmesi en son olur. Ayrıca kaza sebebi tespiti sürecinde yapılan iş kazası incelemeleri esnasında organizasyonel boyutta birden fazla eksikliğin bulunduğu görülmüştür. Örneğin elektrik panosunun yanlış yere konulmasının yanı sıra eğitim almamış personele görev verilmesi, yalıtım vb. önlemlerin alınmaması gibi nedenlerin kaza sebebi olduğu görülmüştür. Ayrıca birçok kazada risklerin değerlendirilmediği, güvenli çalışma planlarının oluşturulmadığı da tespit edilmiştir.

Kişisel Hatalar kriterinde bulunan 3 alt kriterin kendi içinde yapılan önceliklendirme incelenen iş kazalarında veri elde edilen maddeler arasında yapılmıştır. Çalışanın prosedürlere uyması 1. sırada, İş Bilgisi/Tecrübe 2. sırada, Eğitim Alma kriteri ise 3. sırada yer almıştır. Tutarlılık oranı 0,00686 çıkmış olup kabul edilebilir seviyede bulunmaktadır.

Çalışmada toplam 49 adet kriter ve alt kriter kıyaslaması yapılmıştır. Alt kriterlerin bir kısmının kendi içerisinde sınıflandırılmaları esnasında sayının fazla olması, puanlama aşamasında zorluklar oluşturmuştur. Ancak tutarlılık faktörlerinin kabul edilir sınır değer içinde olması sonuçlarda herhangi bir şüphe oluşturmamaktadır. ‘Kişisel Hatalar’ başlığında bulunan kriterler; kaza inceleme raporlarında bu konu ayrıntılı olarak incelenmediğinden veri eksikliği nedeniyle sadeleştirilmiştir. Sadeleştirme ana kriter yorumlamasında herhangi bir olumsuz etki oluşturmamaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada gövde güvenlik ve statik elektrik topraklamasının etkinliği incelenmiş; ayrıca metal sektöründe görülen elektrik kaynaklı iş kazalarının sebepleri için öncelik sıralaması verilmiştir.

Yapılan incelemelerde; insan vücudunun bir dirence sahip olduğu ve maruz kalınan akım değerinin bu direnç değerine göre farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır. Vücudun direnç değeri ise akımın vücutta izlediği yol, süre, sıcaklık, nem, maruz kalınan elektrik enerjisinin özellikleri vb. birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Örneğin TS EN 60479-5 standardında 220 V gerilime maruziyet anında toplam vücut direnci Z_t , 2.200 Ω olarak belirtilmektedir. Ayrıca nemli ve ıslak yerlerde vücut dirençliliği daha düşük olacağından vücuttan geçecek akım değeri daha yüksek olacaktır. Farklı dalga boylarında akım ve zamana göre insan vücudunun verdiği tepkiler TS EN 60479-5 standardında ayrıntılı olarak belirtilmektedir. Yapılan deneyler ortalama vücut özelliklerine sahip olan bir insanın hayati fonksiyonlarında 18-22 mA'den itibaren tehlikeli reaksiyonların başladığını göstermektedir. İnsan vücudunda akımın farklı noktalarına göre ventriküler fibrilasyona uğrayacağı akım değerinin değiştiği de belirtilmektedir.

Gövde güvenlik topraklamasında amaç akımın en kısa ve düşük dirençli yoldan toprağa gitmesi ve böylece insana zarar verecek tehlikeli akım-gerilim seviyesine ulaşmanın engellenmesidir. Bu nedenle önlemler alınırken devre kesicilerin açma akımlarına göre kabul edilebilir en yüksek direnç değeri hesabı yapılmalıdır. Çalışmada yapılan örnek hesaplamalarda; farklı topraklama sistemlerine göre değişmekle beraber, devre kesicilerin açma akım değeri yükseldikçe (B, C, D tipi) yükseldikçe sistemin insan üzerinden akacak olan akımı doğru sürede fark edemeyebileceği tespit edilmiştir. Sonuçta ya neredeyse 0 Ω 'a yakın bir değere sahip topraklama hatları tesis edilmelidir yada ek koruyucu önlemler uygulanmalıdır. Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliğinde tavsiye nitelikli olarak verilen en büyük direnç değeri, koruma iletkenleri için $< 1 \Omega$ olarak belirtilmiştir. Tavsiye niteliği olarak verilen 1 Ω değeri; kontrol raporlarında elde edilemeyen direnç değerlerinin karşılaştırılmasında referans değer olarak kullanılmaktadır. Bu referans değer sistemin doğru çalıştığını göstermemekte ayrıca herhangi bir kaçak durumunda etkisiz kalabilmektedir.

Ülkemiz mevzuatında artık akım anahtarlarının (K.A.R.) kullanımı 6331 sayılı kanuna göre çıkartılan İş Yeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmelik Ek I Madde 8'e göre zorunlu kılınmıştır. Bu noktada yönetmelik maddesi; TN-C ve TN-C-S sistemlerinde bu rölenin kullanımının mümkün olmaması nedeniyle bazı çelişkiler oluşturmaktadır. Artık akım anahtarlarına ek olarak koruyucu yalıtma, ayırma trafosu gibi önlemlerde kullanılabilir.

Statik elektrik topraklama sisteminin direnç değeri incelendiğinde cisimlerin üzerinde yük tutmasını engellemek yeterlidir. İletken cisimlerin üst sınır olan $10^6 \Omega$ statik elektrik topraklaması için birçok uygulama tarafından yeterli görülmüştür. Ancak incelendiğinde; statik elektrik topraklamasının sadece statik yüklerin toprağa iletilmesi amacıyla kullanılmadığı anlaşılmaktadır. Diğer koruma sistemleriyle (örn.; gövde güvenlik topraklaması) ile birlikte uyum içerisinde çalışması amacıyla bu iletkenlerin direnç değerlerinin düşük tutulması tavsiye edilmektedir. Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliğinde potansiyel dengeleme iletkenleri için tavsiye edilen en yüksek direnç değerinin $0,1 \Omega$ olduğu belirtilmektedir. Bu değerde zorunluluk bulunmaması nedeniyle sistemsel uygulamalarda azami sistem direnç değerlerine uyulması gerekmektedir.

Statik elektrik topraklaması ile ilgili olarak işyerleri süreçlerinde kullanılan makine ekipman ve maddelerin elektrik akımını ileten özelliğe sahip olup olmadığına göre önlemler değişmektedir. Eğer bir hatta üretilen madde yalıtkan ve hatta yapılan hareket sebebiyle statik yük oluşumu varsa yapılacak olan topraklamanın doğrudan etkisi olmayacaktır. Ancak ilave önlemlerin toprakla bağlantısının kurulması aşamasında yardımcı olacaktır.

Çalışmanın uygulama bölümünde literatürde birlikte değerlendirilmemiş olan metal sektörü ve elektrik kazaları incelenmiştir. Elektrik kazalarına neden olabilecek sebepler literatür taraması sonucunda hiyerarşik düzen oluşturularak belirlenmiş; metal sektörü işyerlerinde meydana gelen kazaların incelenmesiyle bu sebepler arasından sadeleştirme yapılmıştır. Uygulama aşamasına kaza sebeplerinin hiyerarşik bir düzende sıralanmasıyla başlanmıştır. Bu hiyerarşi iş sağlığı ve güvenliği alanında teftiş yapmaya yetkili ve branşı elektrik elektronik mühendisliği/elektrik mühendisi olan iş müfettişleri tarafından AHP karar tablosu kullanılarak önceliklendirilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde; işe ve işin şartlarına uygun şekilde tesisat, tasarım ve inşanın yapılmasının önemi vurgulanmaktadır. Organizasyon boyutunda yapılacak iyileştirmelerin; çalışanın hatasına karşı alınacak tedbirlerden daha etkili olduğu sonucu görülmektedir. Bu durumda bir iş kazası meydana geldiğinde çalışanın durumundan önce talimatların varlığı sorgulanmalıdır. 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu Madde 4 ve Madde 5'te belirtildiği gibi “işverenin önlem alması” hususu uzman değerlendiriciler tarafından da öncelik sıralamasında önde gösterilmiştir.

Çalışmada yapılan öncelik sıralaması; işyerlerinde maliyet ve zaman boyutu ile birleşince, doğru planlama yapılarak en az maliyet ile tehlikenin ortadan kaldırılmasını sağlayabilir. Tehlikeli durumun ortadan kaldırılması sürecinde yaşanacak olan zaman kayıpları bertaraf edilebilir. Örneğin sonradan eklenen ekipmanın tesisatla uyumsuz olduğu bir işyerinde; yönetsel ve işletme temelli hataların ikinci öncelikte olduğu yargısından yola çıkarak, elektrik kaynaklı iş kazalarının önlenmesi açısından belki de tesisatta yapılacak basit bir düzenleme ile tehlike bertaraf edilebilecektir.

Kişisel Hatalar ile iş kazası konusunda yapılan bazı çalışmalarda da çalışmamızla tutarlı sonuçlar olduğu görülmektedir. Önlem alırken tasarım ve organizasyon boyutunun halledilmesiyle çalışana yönelik çalışmaların yapılması gerektiği anlaşılmaktadır (Özdemir (2014); Esin (2007); Mamatoğlu (2001)). Yapılan anketlerde çalışanların çalışma saatleri ve koşulları hakkında şikayetlerde bulunulduğu; güvensiz çalışmanın organizasyon tarafından desteklendiği ve çalışanın bana bir şey olmaz psikolojisi ile yaklaştığı görülmüştür. Bakıldığında organizasyonel anlamda işyerlerinin önlem eksikliklerinin olduğu anlaşılmaktadır.

İşe Uygun Teçhizat/Tesisat Seçimi alt kriterinin önceliği; işyeri kurulumu aşamasında ekipman optimizasyonu, ekipman yerleşimi ve ekipmanın uyumlu olacağı alanın belirlenmesini vurgulamaktadır. Ancak ülkemizde uygulamada böyle bir ön çalışma zorunluluğu bulunmamaktadır. Yapılan iş sağlığı ve güvenliği teftişlerinde elektrik noksanlıklarının çok olması bu uygulamanın yapılmadığının bir göstergesidir.

Organizasyon yapısında çalışanlara verilecek eğitimlerden önce ekipman seçiminin yapılacak olan işe uygun olması, bu ekipmanların bakım onarımının yetkili kişilerce yapılmasını sağlayacak önlemlerin alınması, Kontrol ve denetim düzeninin oturtulması ile

ilgili çalışmaların öncelikli olarak giderilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Eğitim verilirken çalışanlara verilecek eğitimin işyeri ortamı, koşulları vb. durumlar göz önünde bulundurulması ve öncelikle işe uygun mesleki eğitimdeki eksikliğin giderilmesi gerekmektedir. Ceylan (2012) ve Nayir (2013) tarafından yapılan çalışmaların sonuçlarından da görüldüğü üzere kaza geçiren çalışanlar arasında mesleki eğitim ve iş sağlığı güvenliği eğitimi almış çalışanların oranının yüksektir. Bu oranın yüksek olması eğitimin etkinliğinin sorgulanmasını gerektirmektedir. Eğitimin sorgulanması esnasında işyerinde alınması gereken tedbirlerin yeterli olup olmadığı, kontrol ve denetimlerin yapılıp yapılmadığı vb. göz önünde bulundurulmalıdır.

Analitik Hiyerarşi Sürecinin iş kazası modellemelerinde örneği çok bulunmamaktadır. Çalışmamızda uzmanların değerlendirme aşamasında kolaylık sağlaması nedeniyle tercih edilmiştir. Önceliklendirmenin doğru sonuçlanması amaca ulaşmak adına önem arz etmektedir. Sonuçlar kaza-şiddet dengesinin korunarak doğru önlemlerin zamanında alınmasını sağlayacak termin sürelerinde etkili olabilir. Çalışmada hedef kitle olarak; işyeri sahipleri, iş güvenliği uzmanları ve teknik danışmanlar belirlenmiştir.

Uygulama çalışması farklı sektörlerde uyarlanabilecek şekilde kolaylıkla güncellenebilir. Yapılacak olan çalışmalar farklı sektörlerle yönelik olabileceği gibi sonuç bölümünde çarpan değeri atanarak risk değerlendirmesinde skor hesaplamasında kullanılabilir. Burada dikkat edilmesi gereken kaza hiyerarşisinde metal sektörü temel alınarak sonuca gidilmiştir. Farklı sektörlerde farklı öncelikler olması beklenmelidir.

Kaza incelemesi esnasında kaza verisi elde edilmesinde yaşanan zorluklar ülkemizde kaza incelemelerinin ve analiz raporlarının yayınlanmaması olduğu düşünülmektedir. Bu kapsamda firma ve kişi bilgisi verilmeden analiz raporlarının paylaşılmasının; iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarının daha etkin olarak yapılmasında yardımcı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, (2012), *Resmi Gazete*, 28339.
- Abinbakhsh, S., Gündüz, M., and Sönmez, R. (2013). Safety risk assessment using AHP during planning and budgeting of construction projects, *Journal Of Safety Research*, 46, 99-105.
- Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı Rehberlik ve Teftiş Başkanlığı. (2017). *Ana metal sanayisi, fabrikasyon metal ürünlerin imalatı ve otomotiv yan sanayisinde iş sağlığı ve güvenliği programlı teftişi genel değerlendirme raporu*. Ankara, 1-48.
- Akalp, G., Aytaç, S., Yamankaradeniz, N., Çankaya, O., Gökçe, A., and Tüfekçi, U. (2015). Perceived safety culture and occupational risk factors among women in metal industries: a study in Turkey. *Procedia Manufacturing*, 3, 4956-4963.
- ANSI/IEEE Std 142. IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems - IEEE Green Book. (1982). *Institute of Electrical and Electronics Engineers*.
- Aydın, A. F. (2015). Nötr iletken kesitinin seçiminde dikkat edilecek hususlar. *Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Haber Bülteni*, 27(298), 28-29.
- Badri, A., Nadeau, S., and Gbodossou, A. (2012). Proposal of a risk-factor-based analytical approach for integrating occupational health and safety into project risk evaluation. *Accident Analysis and Prevention*, 48, 223– 234.
- Bande, R. and Mourelo, E. L. (2015). The impact of worker's age on the consequences of occupational accidents: empirical evidence using spanish data. *J Labor Res*, 36,129– 174.
- Bayram, M., İskender, H. ve Kökçam A. H. (2017). İmalat firmalarında iş sağlığı ve güvenliği yatırım harcamaları ile kaza oranları ve iş kazası maliyetleri ilişkisi: işletme bütçesine isg harcamaları için kaynak tahsis edilmesinin önemi, *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 5(3), 71-81.
- Başarır İnce., F. (2013). Patlayıcı ortamlarda görünmeyen tehlike. *Elektrik Mühendisliği*, 447, 42.
- Bikson, M. (2014). A review of hazards associated with exposure to low voltages. New York: University of New York.
- BS 5958 Part 1: General Considerations, Code of practice control of undesirable static electricity,(2002), Section 4/13.1, Section 8.1, *British Standart Institution*.
- BS 5958 Part 2: General considerations, Code of practice control of undesirable static electricity, (2002), 6, 15, *British Standart Institution*.
- BS EN 50020: 2002, Electrical apparatus for potentially explosive atmospheres – Intrinsic safety ‘i’,(2002), *British Standart Institution*.
- Caputo, A. C., Pelagagge, P. M., and Salini, P. (2013). Ahp-based methodology for selecting safety devices of industrial machinery. *Safety Science*, 53, 202–218.

- Cebador, M.S., Romero, J.C.R. and Arquillos, A.L. (2014). Severity of electrical accidents in the construction industry in Spain. *Journal of Safety Research*, 48, 63–70.
- Ceylan, H., (2012). Türkiye’deki elektrik üretim, iletim ve dağıtım tesislerinde meydana gelen iş kazalarının analizi. *International Journal of Engineering Research And Development*, 4(2), 30-42.
- Chi, C.F., Lin Y. and Ikhwan M. (2012). Flow diagram analysis of electrical fatalities in construction industry. *Safety Science*, 50, 1205-1214.
- Chi, C.F., Yang C.C., and Chen, Z. L. (2009). In-depth accident analysis of electrical fatalities in the construction industry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39, 635–644.
- Coles, M. (2006). Earthing and bonding in hazardous locations. *IEE Wiring Matters*, 18, 10-17.
- Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik, (2013), *Resmi Gazete*, 28633.
- Durdu, H. İ. (2014). İş kazalarının ekonomik analizi ve bazı sektörler bazında değerlendirilmesi. *Sosyal Güvenlik Dergisi*, 5, 67-91.
- Dursun, S. (2013). İş güvenliği kültürünün çalışanların güvenli davranışları üzerine etkisi. *Sosyal Güvenlik Dergisi*, 3(2), 61-75.
- Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği, (1984), *Resmi Gazete*, 18565.
- Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği, (2001), *Resmi Gazete*, 24500.
- Esin, A. (2007). İş kazalarında değişik yaklaşım; davranışsal güvenlik. *Mühendis ve Makina*, 48(547), 3-9.
- Expert Choice (Version 2) [Computer software]. (2000). Washington, DC: Expert Choice Inc.
- Fang, D., Shen, Q., Wu, S. and Liu, G. (2003). A comprehensive framework for assessing and selecting appropriate scaffolding based on analytic hierarchy process. *Journal of Safety Research*, 34, 589-596.
- Fish, R.M., and Leslie, A.G. (2009). Conduction of electrical current to and Through the human Body: A review, *Journal of Plastic Surgery*. 9,407-418.
- Floyd, H. L. (2015). Facilitating application of electrical safety best practices to ‘other’ workers. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51(2), 1348-1352.
- Gençer, N. C. (2011, Kasım). *Alçak gerilim dağıtım şebekelerinde güvenlik ve koruma düzeni*. II. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresinde sunulan bildiri, İzmir.
- Gürcanlı, G. E. ve Müngen, U. (2006). Bulanık kümeler ile inşaatlarda yeni bir iş güvenliği risk analizi yöntemi. *İtü Dergisi/d Mühendislik*, 5(4), 83-94.
- Ichikawa, N. (2016). Electrical Fatality Rates in Japan, 2002-2011: New Preventive Measures for Fatal Electrical Accidents. *IEEE Industry Applications Magazine*, 22(3), 21-26.

IAPA. (2008). *Static Electricity*. Industrial Accident Prevention Association.

İnternet: *Accident Investigation Search*. 2018. Web: https://www.osha.gov/tutorials/acci_help.html adresinden 07/06/2018'da alınmıştır.

İnternet: Boru eşpotansiyelleme maşası örneği. Web: <https://buy.wesco.com/Expansion-Joint-Jumpers/EATON-CROUSE-HINDS-SERIES/Grounding-and-Bonding-Jumper-Expansion-Joint-Jumper/BJ34/p/78227499187-1> adresinden 24.04.2019'da alınmıştır.

İnternet: Bayram, M. ve Ilisu, İ. (Eylül, 2004). Elektrik akımının insan üzerinde etkisi. *Elektrik Dergisi*. Web: http://bbm.emo.org.tr/genel/katalog_detay.php?katalog=2&kayit=299 adresinden 24.04.2019'da alınmıştır.

İnternet: Calvas, R. And Lacroix, B. (2004). Cahier technique No 172. Schneider Electric. Web: <https://www.schneider-electric.com/en/download/document/ECT172/> adresinden 24.04.2019'da alınmıştır.

İnternet: Fatality Assessment and Control Evaluation Program (FACE). (2018). Web: <https://www.cdc.gov/niosh/face/default.html> adresinden 07/06/2018'da alınmıştır.

İnternet: İSİG Meclisi, 2018 Yılı İş Cinayetleri Raporu, İstanbul, 2018. Web: <http://www.guvenlicalisma.org/> adresinden 24.04.2019'da alınmıştır.

İnternet: Legrand otomatik sigorta özellikleri. Web: <http://www.legrand.com.tr/pdf/otomatik-sigorta-garanti-belgesi-ve-kullanim-kilavuzu.pdf> adresinden 24.04.2019'da alınmıştır.

İnternet: Pfeifer, J. (2001). Principles of electrical grounding, Copyright protected Pfeiffer engineering co., Web: <http://www.pfeiffereng.com/Principals%20of%20Electrical%20Grounding.pdf> adresinden 24.04.2019'da alınmıştır.

İnternet: Sosyal Güvenlik Kurumu (2017). *SGK İstatistik Yıllığı, 2017, 2016, 2015*. Web: http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari adresinden 17.04.2019'da alınmıştır.

İnternet: Stellman, J. M. and Gillespie, R. M. (eds.). Static electricity. Encyclopaedia of occupational health and safety. 4th. ed., Web: <http://www.iloencyclopaedia.org/part-vi-16255/electricity/40/static-electricity> adresinden 17.04.2019'da alınmıştır.

İnternet: NYY-J kablo özellikleri. Web: <http://www.egekablo.com/?C=Details&ID=68> adresinden 24.04.2019'da alınmıştır.

İnternet: Tanker topraklaması örneği. Web: <http://www.connectingindustry.com/processcontrol/road-tanker-static-earthing-protection-are-you-protected.aspx> adresinden 17.04.2019'da alınmıştır.

İnternet: Topraklama Maşası Örneği. Web: <http://www.teraelektronik.com.tr/%C3%9Cr%C3%BCnler> adresinden 17.04.2019'da alınmıştır.

İnternet: Viko Şalt katalog Web: http://www.viko.com.tr/panel/upload/viko_salt_katalog_.pdf adresinden
24.04.2019’da alınmıştır.

İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği, (2012), *Resmi Gazete*, 28512.

İşyeri Bina Ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık Ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmelik, (2013), *Resmi Gazete*, 28710.

Jeong, B. Y. (1999). Comparisons of variables between fatal and nonfatal accidents in manufacturing industry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 23, 565-572.

Joffe, E. B. and Lock, K. S. (2011) *Grounds for grounding*. Wiley-IEEE Press, 323.

Kassebaum, J.H. and Kocken, R. A. (1997). Controlling Static Electricity in Hazardous (Classified) Locations. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 33(1), 209-215.

Kılıç, A. (2013). Statik Elektrik ve Yangın Riski. *TSE Standart Ekonomik ve Teknik Dergisi*, 614,108.

Küçük, S. (2015, Ekim). *Seyyar elektrikli ekipman ve teçhizatın kullanımında emniyet gereklilikleri*. IV. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi, İzmir.

Kita, M. S. Mansfield, E. and Colantonio, A. (2014). Injured workers’ perspectives on how workplace accommodations are conceptualized and delivered following electrical injuries. *J Occup Rehabil*, 24(173), 188.

Liggett, D. (2006). Refocusing Electrical Safety. *IEEE Transactions On Industry Applications*, 42(5), 1340-1345.

Liu, S., Yu, Y., Huang, G., Luo, B. And Liao, X. (2014). Electrocution-Related Mortality A Review of 71 Deaths by Low-Voltage Electrical Current in Guangdong, China, *Am J Forensic Med Pahrol*. 35(3), 193-195.

Mamatoğlu, N. (2001). *İş kazalarının azaltılmasında davranış temelli iş güvenliği modeli’nin uygulanması*. Yayımlanmamış Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

Marhavillas, P.K., Koulouriotis, D.E., and Mitrakas, C. (2011.) On the development of a new hybrid risk assessment process using occupational accidents’ data: application on the greek public electric power provider. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24, 671-687.

Mcclung, L. B. and Hill D. J., (2010, February). *Electrical system design techniques to improve electrical safety*, Paper presented at the IEEE IAS Electrical Safety Workshop Electrical Safety Workshop, Memphis.

Mohla, D., Mcclung, L. B., and Rafferty, N.R. (1999, September). *Electrical safety by design*. Paper presented at the Industry Applications Society 46th Annual Petroleum and Chemical Technical Conference, San Diego.

Müngen, M.U. (1993). *Türkiye’de İnşaat İş Kazalarının Analizi ve İş Güvenliği Sorunu*, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Nayir, A. (2013). İş sağlığı ve güvenliği eğitiminde elektrikle çalışmalara genel bakış. *Electronic Journal of Vocational Colleges*, 3(3), 129-135.
- Neitzel, D. K. (2015, July). *Electrical safety basics for non-electrical personnel*. Paper Presented at the IEEE Conference Record of 61st Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference, Milwaukee.
- Nenonen S. (2011), Fatal workplace accidents in outsourced operations in the manufacturing industry. *Safety Science* , 49 1394-1403.
- NFPA 77, Recommended Practice on Static Electricity, Annex G1(g). (2019), *National Fire Protection Association*.
- Özdemir, S. (2014). *Metal imalat sektöründe oluşan kazalarda insan ve altyapı faktörlerinin araştırılması*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Peng, Z. And Shikui, C. (1995). Study on electrocution death by low-voltage. *Forensic Science International*, 76, 115-119.
- Piotrowski, A., Fillet, A.M., Perez, P., Walkowiak, P., Simon, D., Corniere, M.J., Cabanes, P.A. and Lambrozo, J. (2014). Outcome of occupational electrical injuries among, French electric company workers: A retrospective report of 311 cases, 1996–2005. *Burns*, 40, 480-488.
- Roberts, D. (2010). 50-V shock Hazard Treshold. *Ieee transactions on industry applications*. 46(1), 102-107.
- Saaty T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal Services Sciences*, 1(1), 83-98.
- Saaty T.L. (1990). The ahp: how to make a decision. *European Journal Of Operational Research*, 48, 9-26.
- Soares, S. M., Gelmini, S., Brandão, S. S. S. and Silva, J. M. C. (2018). Workplace accidents in Brazil: Analysis of physical and psychosocial stress and health-related factors. *Revista de Administração Mackenzie*, 19(3).
- Thepaksorn, P. and Pongpanich, S. (2014). Occupational injuries and illnesses and associated costs in thailand. *Safety and Health at Work*, 5, 66-72.
- Thomée S. and Jakobson K. (2018). Life-changing or trivial: Electricians' views about electrical accidents. *Work*, 60(4), 573–585.
- Türen, U. ve Gökmen, Y. (2014). Türkiye’de meydana gelen iş kazaları sonucu ölümler işe çalışanların yaş faktörü arasındaki ilişki, *Sosyal Güvenlik Dergisi*, 4(1), 101-119.
- TS EN 60079-0, Patlayıcı ortamlar - Bölüm 0: Donanım - Genel kurallar, (2018), *Türk Standartları Enstitüsü*.
- TS EN 60079-14, Elektrikli cihazlar - Patlayıcı ortamlarda kullanılan - Bölüm 14: Elektriksel tesislerin tasarımı, seçimi ve monte edilmesi, (2014), *Türk Standartları Enstitüsü*.

- TS EN 60204-1, Makinalarda güvenlik - Makinaların elektrik donanımı - Bölüm 1: Genel kurallar, (2018), *Türk Standartları Enstitüsü*.
- TS EN 60364-1, Alçak gerilim elektrik tesisleri - Bölüm 1: Ana prensipler, genel karakteristiklerin değerlendirilmesi ve tarifler, (2010), *Türk Standartları Enstitüsü*.
- TS HD 60364-4-41, Alçak gerilim elektrik tesisleri - Bölüm 4 - 41: Güvenlik için koruma - Elektrik çarpmasına karşı koruma, (2008), *Türk Standartları Enstitüsü*.
- TSE IEC/TR 60479-1, Elektrik akımının hayvan ve insanlar üzerine etkileri bölüm 1: Genel hususlar, (2010), *Türk Standartları Enstitüsü*.
- TSE IEC/TR 60479-5, Elektrik akımının hayvan ve insanlar üzerine etkileri - Bölüm 5: Fiziksel etkiler için dokunma akımı eşik seviyeleri, (2010), *Türk Standartları Enstitüsü*.
- Wang, D., Wang, X. and Xia, N. (2018). How safety-related stress affects workers' safety behavior: The moderating role of psychological capital. *Safety Science*, 103, 247–259.
- Webster, J. G. (ed.), Medical instrumentation application and design. 4th ed., John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 639-640.
- Williamson, A. and Feyer, A.M. (1998). The causes of electrical fatalities at work. *Journal of safety research*, 29(3), 187-196.
- Yapı İşlerinde İş Sağlığı Ve Güvenliği Yönetmeliği, (2013), *Resmi Gazete*, 28786.
- Zhao, D., Thabet, W., McCoy A. and Kleine B. (2014). Electrical deaths in the us construction: an analysis of fatality investigations. *International Journal Of Injury Control And Safety Promotion*, 21(3), 278–288.

EKLER

EK-1. Kaza sebebi ve kodları tablosu

Kod	Kaza Sebebi	Kaza sayısı
A1	Tasarımsal ve Yerleşimsel Hatalar	
B1	İşe Uygun Teçhizat /Tesisat Seçimi Ve Kurulumu	
C1	Tesisat Malzeme Seçimi	2
C2	Ek Elektriksel Teçhizatların Uygun Seçimi	1
B2	Ekipman/Makine Tasarımı Ve Yerleşimi	
C3	Pano Yerleşimi Ve Erişim Kolaylığı	1
C4	İsimlendirme Ve Proje Çizimi	-
B3	Projelerin Mevzuata Uygunluğu Ve Uygun İnşası	
C5	Topraklama Yapılmaması Yada Uygunsuz İnşa Edilmesi	8
C6	Artık Akım Anahtarlarının Kullanılması	8
C7	Uygun Tipte/ Güçte Tesisat Malzemesi Seçimi Ve İnşası	1
A2	Yönetimsel ve İşletme Temelli Hatalar	
B4	Kontrol Ve Denetim Hatası	
C8	Etkisiz Denetim	6
C9	Alınan Önleyici Güvenlik Önlemlerinin Yetersizliği	18
C10	Etkisiz Destek	1
B5	Bakım/Onarım Ve İyileştirme Hatası	
C11	Periyodik Bakımların Yapılmaması	12
C12	Hatalı Ekipmanın Kullanımına Devam Edilmesi	5
C13	Muadil/Yanlış Elemanla Tamir/Düzeltilme Yapılması	1
B6	Çalışanın Denetim Ve Gözetimi	
C14	Prosedürlere Uyumun Takibi	1
C15	Güvenlik Önlemlerinin Alınıp Alınmadığının Takibi	4
C16	Eğitim/Tatbikatlara Katılımların Kontrolü	-
B7	Eğitim Ve Bilgilendirme	
C17	İş Sağlığı Ve Güvenliği Eğitimi Verme	10
D1	Tehlikelerin Belirtilmesi	3
D2	Kkd Kullanımının Anlatılması	3
D3	Güvenlik Kültürü Oluşturulması	2
C18	Mesleki Eğitim	-
D4	Eğitimsiz Kişilerin Görevlendirilmesi	1
D5	İleri/Değişen Teknoloji Eğitimlerinin Aldırılmaması	-
D6	Bakım-Onarım Bilgisi	6
D7	Ekipman Kurma-Sökme Bilgisi	1
B8	Tecrübe Aktarımı/Kazandırma	
C19	İşbaşı Eğitimlerinin Yapılmaması	-
C20	Rekabetçi Ordamda Bilgi Saklamaya Teşvik Edilmesi	-
B9	Verimli Ve Güvenli Çalışma Planı	
C21	Uygun Çalışma Süreleri	-
C22	Yalnız Çalışılmayacak İşlerin Tespiti	3
C23	Yeterli Mola Ve Dinlenme Süresi	-
C24	Çalışma Şartlarının Uygun Hale Getirilmesi	3

EK-1. (devam) Kaza sebebi ve kodları tablosu

Kod	Kaza Sebebi	Kaza sayısı
C25	Yapılacak Olan İşe Uygun Teslim Süresi Belirleme	-
C26	İş Gücüne Uygun İş Beklentisi	1
B10	Ekipman Seçiminin Uygunluğu	
C27	El Aletlerinin İşe Ve Ergonomiye Uygun Seçimi	11
C28	Kkdlerin İşe Ve Ergonomiye Uygun Seçimi	10
B11	Planlama Ve Çalışma Talimatları	
C29	İşe Başlama İzin Sistemi Kurulması	5
C30	Risklerin Belirlenmemesi/Eksik Risk Değerlendirmesi	3
C31	Güvenli Çalışma Talimatı Oluşturulmaması / Eksik Olması	21
C32	Çalışma Koşullarının İşe Uygunluğunun Tespiti	26
A3		
B12	Teslim Zamanı	
C33	İş Gücüne Orantısız İş Süresi Hesaplaması	-
C34	Erken Bitimeye Çalışma	-
B13	Eğitim Alma	
C35	Alınan Eğitimlere Uymama	5
C36	Ergonomi Bilgilerini Uygulamama	-
C37	Eğitime Katılmama/Dinlememe	-
B14	İş Bilgisi/Tecrübe	
C38	Bilgisi Veya Görevi Dahilinde Olmayan İşin Kabulü	5
C39	Teknolojik Gelişmelerin Takip Edilmemesi/Bilgi Yenilememe	-
C40	Destek Alınmaması	1
C41	Hatalı Ekipmanla Çalışmaya Devam Edilmesi Ve İşverene Bildirmeme	3
B15	Prosedüre Uyma	
C42	Tecrübeli Olunduğu Düşünüldüğü Prosedürlere Uymama	6
B16	Çalışanın Durumu	
C43	Fiziksel Yapının İşe Uygun Olmaması	-
C44	Psikolojik Rahatsızlıklar	-
C45	Maaş Ve Geçinme Telaşı	-
C46	Stresli Olunma	-

EK-2. Kaza inceleme tablosu

No.	Kazanın Meydana Gelış Nedeni	Kaza Sonucu	Kazaede Meslek	Kaza kodları
1	Bakım onarım	Ölüm	Elektrikçi	C8, C9, C11, C17, C27, C30, C32
2	Bakım onarım	Yanık-Yaralanma	Elektrikçi	C5, C11, C15, C29, C31, C32, C41
3	Bakım onarım	Ölüm	Elektrikçi	C6, C32, C35, C41
4	Kaynak işi	Yaralanma	Kaynakçı	C2, C6, C11
5	Kaynak işi	Ölüm	Kaynakçı	C5, C9, C11
6	Elektrik çarpması sonucu yüksekte düşme	Yaralanma	Amir (Üretim Sorumlusu)	C7, C9, C11, C28, C31, C32, C41
7	Elektrik çarpması sonucu yüksekte düşme	Ölüm	Tamirci (Makine)	C9, C27, C28, C32
8	Tecrübesiz çalışan	Ölüm	İşçi	C3, C5, C11, C22, C26
9	Bakım onarım	Ölüm	İşçi	C9, C32
10		Ölüm	İşçi	C9, C17, C29, C31, C32
11	Kaynak işi	Ölüm	Kaynakçı	C6, C17, C18-D6, C28
12	Bakım onarım	Ölüm	İşçi	C9, C17, C18-D6, C27, C28, C31
13	Bakım onarım	Yaralanma-Yanık	Satış Sorumlusu	C9, C17, C18-D6, C27, C28, C31
14	Elektrik çarpması sonucu yüksekte düşme	Ölüm	İşçi	C32, C35, C38
15	Bakım onarım	Ölüm	İşçi	C9, C31, C32
16	Bakım onarım	Ölüm	Elektrik teknisyeni	C5, C6, C31, C32
17	Hatalı ekipmanla çalışma	Ölüm	İşçi	C1, C6, C8, C24, C32, C35, C41
18	Bakım onarım	Ölüm	İşçi	C9, C27, C28, C32
19	Bakım onarım	Ölüm	İşçi	C18-D4, C28, C31, C38
20	Bakım onarım	Ölüm	Tamirci (Makine)	C14, C17, C31, C32
21	Bakım onarım	Ölüm	Vinç Operatörü	C5, C11, C32
22	Bakım onarım	Ölüm	Elektrikçi çırağı	C9, C17-D3, C22, C24, C28, C31, C32
23	Bakım onarım	Yaralanma	Teknisyen	C6, C18-D6, C27, C28, C31, C32
24	Kaynak işi	Yaralanma	Kaynakçı	C9, C29, C31, C32
25	Bakım onarım	Yaralanma	İşçi	C9, C17, C18-D7, C29, C31

EK-2. (devam) Kaza inceleme tablosu

No.	Kazanın Meydana Geliş Nedeni	Kaza Sonucu	Kazaede Meslek	Kaza kodları
26	Bakım onarım	Ölüm	Mühendis	C8, C15, C17-D1,C17-D2, C31, C32
27	Hatalı ekipmanla çalışma	Ölüm	Kaynakçı	C11, C12, C17, C41
No.	Kazanın Meydana Geliş Nedeni	Kaza Sonucu	Kazaede Meslek	Kaza kodları
28	Elektrik çarpması sonucu yüksekte düşme	Ölüm	Elektrikçi	C8, C17, C31, C32
29	Bakım onarım	Ölüm	İşçi	C8, C11, C12, C32
30	Bakım onarım	Yaralanma	Tamirci (Makine)	C8, C9, C17, C31, C40, C18-D6, C27, C32
31	Bakım onarım	Yaralanma	Güvenlik Görevlisi	C1, C12, C27, C31, C32, C38
32	Kaynak işi	Ölüm	İşçi	C5, C11, C12, C13, C17-D1, C17-D2
33	Bakım onarım	Ölüm	Elektrik elektronik teknikeri	C9, C18-D6, C27, C28, C32
34	Kaynak işi	Ölüm	Kaynakçı	C5, C6, C11
35	Bakım onarım	Yaralanma	İşçi	C9, C27, C28, C31, C32
36	Kaynak işi	Ölüm	Kaynakçı	C5, C6, C11
37	Bakım onarım	Ölüm	Elektrikçi	C15, C17-D3, C35, C41
38	Bakım onarım	Ölüm	Elektrikçi	C15, C22, C24, C28, C30, C31, C32, C41
39	Bakım onarım	Ölüm	Makine Operatörü	C9, C14, C27, C30, C31, C32, C35, C38
40	Elektrik çarpması sonucu yüksekte düşme	Ölüm	Vinç Operatörü	C9, C17, C28, C29 C32, C31

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : HALICI, Ayşe Kübra
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 12.01.1990, Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0554 820 24 51
 e-mail : kubbost12@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması	Devam Ediyor
Lisans	Erciyes Üniversitesi/ Elektrik Elektronik Mühendisliği	2011
Lise	İncesu Anadolu Lisesi	2007

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2012-	Aile Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı	İş Müfettişi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Halıcı, A.K. (2019). Elektrik kaynaklı iş kazalarına farklı bir bakış: Metal sektöründe yaşanan kaza sebeplerinin önceliklendirilmesi, *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 3(1), 1-12, 62-64.

Hobiler

Doğa Sporları, Dikiş, Kitap Okumak.



GAZİ GELECEKTİR..