

T.C.
YENİ YÜZYIL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE İŞ KAZALARINA KARŞI ARTIK AKIM
CİHAZLARININ KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serdar Parker

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Ahu Ece Hartavi Karcı

İSTANBUL

Mayıs 2014

T.C.
YENİ YÜZYIL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İş Sağlığı Ve Güvenliği Yüksek Lisans Programı çerçevesinde yürütölmüş olan bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Yüksel Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi : 01/07/2014

**Yeni Yüzyıl Üniversitesi
Jüri Başkanı
Yrd. Doç. Dr. Ahu Ece Hartavi Karcı**

**Yeni Yüzyıl Üniversitesi
Doç. Dr. Mehmet Sağbaşı**

**Yeni Yüzyıl Üniversitesi
Prof. Dr. Hakkı Cüneyt Ulutin**

İÇİNDEKİLER	sayfa
Şekiller listesi	iv
Tablo listesi	vi
Kısaltmalar	vii
Abstract	viii
Özet	ix
Önsöz	x
1. GİRİŞ	1
2. ELEKTRİKLE YAPILAN ÇALIŞMALARDA TEHLİKE DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ	2
2.1. Elektrikle Yapılan Çalışmalarda İş Kazalarını Oluşturan Genel Etkenler	4
2.2. Risk Değerlendirme Metodolojileri	7
2.3. Elektrikle ilgili tehlike değerlendirme aşamaları	7
2.4. Elektriğin insan vücuduna etkileri	9
2.4.1. Elektrik akımı yollarına göre vücut dirençleri	9
2.4.2. Elektrik yanıkları	12
2.4.3. Elektrik çarpmasına bağlı etkilenen kardiyak disritmi, nörolojik hasar	13
3. ELEKTRİK ÇARPMASINA KARŞI KORUMA PRENSİPLERİ	18
3.1. Doğrudan ve dolaylı dokunmaya karşı birlikte koruma	20
3.2. Doğrudan dokunmaya karşı koruma; normal durumda	21
3.3. Dolaylı dokunmaya karşı koruma; hata durumunda	22
3.3.1. Dolaylı dokunmaya karşı koruma; TT sistemi	24
3.3.2. Dolaylı dokunmaya karşı koruma; TN sistemi	26

4.	ARTIK AKIM CİHAZLARI (RCD)	28
4.1.	RCD'lerin Tarihçesi	28
4.2.	RCD'lerin koruma metodolojisindeki yeri	30
4.3.	RCD türleri	32
4.4.	RCD'nin çalışma prensibi	33
4.5.	RCD Kutup sayısı	35
4.6.	RCD Anma akımı	35
4.7.	RCD Hassasiyet	35
4.8.	RCD Tipleri	36
4.9.	RCD Açma zamanı	36
4.10.	RCD ve Parafudr	37
4.11.	Otomatik tekrar kurmalı RCD	38
4.12.	RCD çalışmasında gerilime bağımlılık	38
4.13.	RCD'li devrelerde topraklama	38
4.14.	RCD'li devrelerde kontroller ve testler	39
5.	ELEKTRİK KAYNAKLI YANGINLARDAN KORUNMA	41
5.1.	Elektrik kaynaklı yangınlardan korunmada RCD'lerin etkisi	42
5.2.	Kablolama Tesisat ve Ekipmanları	42
5.3.	Motorlar	43
5.4.	Transformatörler	44
5.5.	Anahtar ve Röle kontakları	45
5.6.	İç Tesisat ve Bağlantıları	45
5.7.	Su ısıtıcı cihazlar	46
5.8.	İnfrared ısıtma cihazları	46
5.9.	Elektrikle yapılan çalışmalarda iş kazasının tipik riskleri	46
6.	NORMAL KAÇAK AKIMLARIN RCD SEÇİMİNE ETKİSİ	52
6.1.	RCD'lerde hatalı açma	54
6.2.	RCD'lerde hatalı açma tipik nedenleri	54
6.3.	RCD'li tesislerde hatalı açma durumlarının değerlendirilmesi	55

6.3.1.	Şebeke kaynaklı geçici olaylar ve dalgalanmalar	55
6.3.2.	Darbe akımları nedeniyle açma	56
6.3.3.	Toprağa geçici aşırı gerilim ve kapasitif etki nedeniyle açma	56
6.3.4.	Nötr kesmeli (Çift kutuplu) anahtarlama	58
6.3.5.	Kablolar ve havai hatlar	58
6.3.6.	Toprak hatasında nötr	60
6.3.7.	Çift topraklama	60
7.	SAHA ÇALIŞMASI	61
7.1.	Kullanılan ölçü aleti	61
7.2.	Ölçüm yöntemi	62
7.2.1.	Tek fazlı besleme hattı ölçümü	63
7.2.2.	Üç fazlı besleme hattı ölçümü	63
7.3.	Endüstriyel tesislerde yapılan örnek ölçümler	64
7.3.1	xyz ilaç sanayi a.ş. cam ampul üretim bölümü	64
7.3.2.	xyz iplik ve kumaş sanayi a.ş. penye üretim bölümü	65
8.	SONUÇ	66
	KAYNAKLAR	67

Şekiller Listesi	sayfa
Şekil 2.1. İş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması aşamaları	2
Şekil 2.2. Tehlike değerlendirme piramidi	4
Şekil 2.3. LOTO, “lock out-tag out” etiketi	5
Şekil 2.4. Koruyucu donanımlar	6
Şekil 2.5. Vücut sıvılarının oransal dağılımı	9
Şekil 2.6. Devredeki insan vücudu modellenmesi	9
Şekil 2.7. Vücut empedansı	10
Şekil 2.8. Deri empedansları ve vücut iç direnci	10
Şekil 2.9. Vücut iç direnci bileşenleri	11
Şekil 2.10. Deri yanık sınıflamaları	12
Şekil 2.11. Normal durumdaki elektrokardiyogram.	14
Şekil 2.12. EKG’de normal çalışmakta olan bir kalbin elektrik çarpması sonucunda hassas bölgede fibrilasyonun tetiklenmesi ve kan basıncının düşmesi.	15
Şekil 2.13. 15 Hz’den 100 Hz’e kadar a.a. etkilerinin akım/zaman bölgeleri	16
Şekil 3.1. Doğrudan ve dolaylı dokunmaya karşı birlikte koruma	20
Şekil 3.2. Doğrudan dokunmaya karşı koruma	21
Şekil 3.3. Dolaylı dokunmaya karşı koruma	20
Şekil 3.4. Dolaylı dokunmaya karşı koruma;TT sistem devresi	24
Şekil 3.5. Dolaylı dokunmaya karşı korumada vücut akımı	25
Şekil 3.6. Dolaylı dokunmaya karşı koruma;TN sistem devresi	27
Şekil 4.1. Artık akım cihazı açma eğrisi	28
Şekil 4.2. Güney Afrika	28
Şekil 4.3. Charles Dalziel (1904–1986)	29
Şekil 4.4. Sağ el kuralı	34
Şekil 4.5. Toroidal trafolar	34
Şekil 4.6. RCD’lerin çalışma prensibi	35
Şekil 4.7. 3 kutuplu ve 4 kutuplu RCD	35
Şekil 4.8. Toroidal akım trafolu bağlantı	36

Şekil 4.9.	RCD tipleri	36
Şekil 5.1.	Elektrik yangını	41
Şekil 5.2.	Kablolama tesisat ve ekipmanlarındaki gevşekliklerin tespiti	43
Şekil 5.3.	Motorlardaki zorlanmaların tespiti	44
Şekil 5.4.	Trafolardaki dengesizliklerin tespiti	44
Şekil 5.5.	Anahtar ve rölelerdeki aşırı ısınmaların tespiti	45
Şekil 5.6.	İnfrared ısıtıcılar	46
Şekil 5.7.	Alçıpan duvar kesiminde tesisata verilebilecek zarar	47
Şekil 5.8.	Farelerin kablo izolasyonlarına zararı	47
Şekil 5.9.	Banyolarda tehlikeli bölge sınıflamaları	50
Şekil 5.10.	Çoklu prizlerin yanlış kullanımı	51
Şekil 5.11.	Prize metal cisim sokulma riski	51
Şekil 6.1.	Kapasitif akımlar	52
Şekil 6.2.	Filtre kondansatörü	52
Şekil 6.3.	Şebekedeki pikler	56
Şekil 6.4.	Havai hat endüktans ve kapasitansı	59
Şekil 7.1.	Fluke 360 AC Kaçak akım pens ampermetre	61
Şekil 7.2.	Toprak akımı ölçümü yöntemi	62
Şekil 7.3.	Tek fazlı besleme için ölçüm yöntemi	63
Şekil 7.4.	Üç fazlı besleme için ölçüm yöntemi	63

Tablo listesi	sayfa
Tablo 2.1. İzin verilen dokunma geriliminin U_{Tp} hata süresine t_F bağlı olarak hesaplanan değerleri	3
Tablo 2.2. TN Sistemleri için en büyük açma (ayırma) süreleri	3
Tablo 2.3. 15 Hz'den 100 Hz'e kadar a.a. etkilerinin akım/zaman bölgeleri	16
Tablo 4.1. RCD'li devrelerde topraklama	39
Tablo 6.1. Havai hat ve kablo endüktans ve kapasitansları	59
Tablo 8.1. İlaç fabrikası ölçüm sonuçları tablosu	64
Tablo 8.2. Tekstil fabrikası ölçüm sonuçları tablosu	65

Kısaltmalar

AC :Alternatif Akım

AG :Alçak Gerilim

DC :Doğru Akım

ETTY :Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği

IEC :Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission)

N :Nötr iletkeni

PD :Potansiyel Dengeleme

PE :Koruma iletkeni

PELV :Korunmuş çok alçak gerilim

PEN :Bileşik -koruma iletkeni ve nötr iletkeni

RCD :Artık Akım Cihazı (Residual Current Device)

SELV :Güvenli çok alçak gerilim

UPS :Kesintisiz Güç Kaynağı (Uninterruptible power supply)

YG :Yüksek Gerilim

Abstract

In this thesis, the prevention methods against electrical hazards in occupational health and safety were investigated. The analysis of efficiency of residual current devices to prevent electric shock and fires caused by electricity compose the main subject of this thesis. However, residual current devices were considered unwanted trips, even the thesis. In the final chapter, the effect of the normal leakage currents belonging to the electric equipments on choosing protection devices were investigated in two different field studies, in a pharmaceutical and textile factory.

Özet

Bu tezde, iş sağlığı ve güvenliğinde elektrik tehlikelerinin önlenmesi yöntemleri incelenmiştir. Elektrik çarpmasından ve elektrik yangınlarından korunmada artık akım cihazlarının etkinliğinin analizi, tezin ana konusunu oluşturmaktadır. Bununla birlikte artık akım cihazlarındaki istenmeyen açma durumları da tez kapsamında göz önüne alınmıştır. Son bölümde ise ilaç ve tekstil fabrikası olmak üzere iki farklı saha çalışmasında, elektrik ekipmanlarındaki normal kaçak akımların koruma cihazı seçimine olan etkileri incelenmiştir.

Önsöz

Bu tez çalışmasında yardım, tavsiye ve desteğini aldığım danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Ahu Ece Hartavi Karıcı'ya, jüride görev alan Prof. Dr. Hakkı Cüneyt Ulutin ve Doç. Dr. Mehmet Sağbaş'a, yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerini paylaşan, hayatımda yeni bir ufuk açan değerli hocam merhum Prof. Dr. H. Hilmi Sabuncu'ya, kaynaklarını benimle paylaşan Elektrik Mühendisi Sabri Günaydın'a, tez çalışmamda desteklerinden dolayı, Prof. Dr. Gül Baktır ve Prof. Dr. Gönül Kunt Kandemir'e ve beni her zaman teşvik eden sevgili eşim Nefise Parker'e teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Endüstriyel tesislerde elektrikle yapılan çalışmalarda tehlike değerlendirmesi konusu, genel olarak iş sağlığı ve güvenliği alanındaki tehlike değerlendirme kriterlerinden farklı değildir. Bu yüzden uluslararası standartlarda tanımlanmış genel tehlike değerlendirme kriterlerinden yola çıkarak, özel olarak elektriğin sebep olacağı hasar ve tehlikelerin önlenmesinde RCD (Residual Current Device) artık akım cihazlarının etkinliği incelenecektir.

Uluslararası elektroteknik komisyonu IEC, 60364 serisi standartlarında elektrik çarpmasına karşı korumada prensip olarak üç ana koruma metodundan bahsetmektedir. Bunlardan birincisi işletme araçlarının normal çalışması durumunda donanımın canlı tabir edilen aktif kısımlarına temas tehlikesi konusu incelenmektedir. İkinci metotta bir izolasyon hatasında açıkta topraklanmış iletken kısımların gerilim altında kalması durumundaki temas tehlikesi konusu değerlendirilmektedir. Üçüncü metotta ise havuz gibi özel tesislerdeki tehlikelere karşı uygulanması gerekli olan şebeke geriliminden daha alçak, dolayısıyla tehlikeli olmayan gerilimle besleme konusu açıklanmaktadır. Bu durumda IEC koruma metodolojisindeki adları ile ifade edilirse normal işletmede “doğrudan dokunmaya karşı korunma”, normal işletme dışında hatalı bir durum oluştuğunda “dolaylı dokunmaya karşı korunma”, normal ve hatalı durumların her ikisini de kapsayan “doğrudan ve dolaylı dokunmaya karşı birlikte koruma” şeklinde üç ana koruma metodu bulunmaktadır.

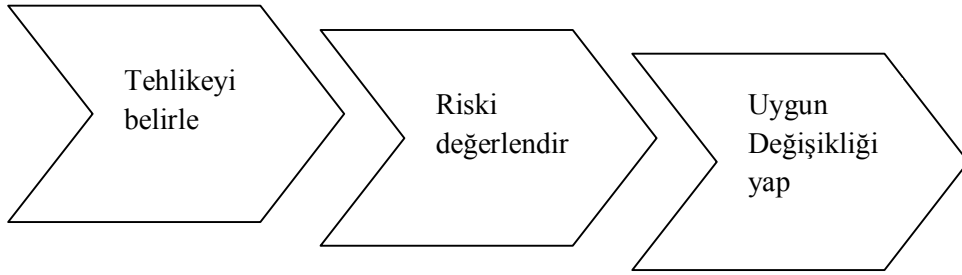
Buradaki koruma metotlarında amaçlanan, öncelikle akımın insan vücudundan geçmesinin engellenmesi, akımın insan vücudundan geçmesine müsaade ediliyorsa bu durumda çarpma oluşturmayacak sürede veya çarpma oluşturacak şiddete ulaşmadan akımın kesilmesidir.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte dağıtım noktalarında ve son devrelerdeki koruma etkinliği termik manyetik şalterlerle birlikte RCD’lerin kullanılması ile daha da arttırılmış, böylece daha emniyetli devrelerin kurulması sağlanmıştır.

2. ELEKTRİKLE YAPILAN ÇALIŞMALARDA TEHLİKE DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ

İş sağlığı ve güvenliği alanında tehlike terimi tanımlanırsa, çalışana zarar verme potansiyeline sahip her şey tehlikedir denebilir. Tehlikeleri katagorize ederek ifade edebiliriz. Tehlikeler, fiziksel, kimyasal, biyolojik ve mekanik tehlikeler olmak üzere sınıflandırılabilir. Çalışanla karşılaşmayan tehlikelerin, çalışana zarar verme olasılıkları (riskleri) sıfırdır. Çalışanın zarar görebilmesi için yukarıda sayılı tehlikelere maruz kalması ön koşuldur. [33]

İş sağlığı ve güvenliği metodolojisinde tehlike ve risk farklı kavramlardır. “Tehlike” zarar verme potansiyelidir. “Risk” ise genel anlamda göze alınan kayıp miktarı olarak algılansa da çalışma hayatındaki tanımı zarar oluşma olasılığıdır. Bir iş yerinde öncelikle şekil 2.1’de görüldüğü gibi tehlikelerin belirlenmesi, sonra bu tehlikelerin oluşturacağı risklerin belirlenmesi daha sonra da tesiste uygun değişikliklerin yapılması gerekir. Örneğin 50 V’un üzerindeki alternatif gerilim tehlikelidir ve zarar verme olasılığı (riski) vardır. Önlemlerin bazılarıyla elektrik çarpması riski azaltılabilir. Bazılarıyla da tamamen sıfırlanabilir.



Şekil 2.1. İş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması aşamaları

Kabul edilebilir zarar kavramı iş sağlığı ve güvenliği metodolojisinde önemli bir yer tutar. Çalışanın sağlığına verilecek kabul edilebilir zarar, uluslararası standartlarla belirlenmiş olan “Doz” miktarı kadardır. [33]

Uluslararası standartlarda belirlenmiş insan vücudu için kabul edilebilir “Doz” miktarı maruziyet şiddeti ile maruziyet süresinin bir fonksiyonudur.

$$f(\text{doz}) = (\text{maruziyet şiddeti}, \text{maruziyet süresi})$$

Elektrik çarpması fonksiyonunda maruziyet süresi kısaldıkça maruziyet şiddeti artabilir. Örneğin yüksek gerilimli tesisler için verilen tablo 2.1’de maruziyet şiddetinin 800 V olduğu durumda, gerilim 0,04 s içinde kesilmelidir.

Hata süresi, t_F (s)	İzin verilen dokunma gerilimi, U_{Tp} (V)
1,0	80
1,1	100
0,72	125
0,64	150
0,49	220
0,39	300
0,29	400
0,20	500
0,14	600
0,08	700
0,04	800

Tablo 2.1. İzin verilen dokunma geriliminin U_{Tp} hata süresine t_F bağlı olarak hesaplanan değerleri [9]

U_0 (V)	Açma (ayırma) Süresi (s)
120	0,8
230	0,4
277	0,4
400	0,2
>400	0,1

Tablo 2.2. TN Sistemleri için en büyük açma (ayırma) süreleri [9]

Alçak gerilimli tesislerde tablo 2.2’den görüldüğü gibi 230 V gerilim için açma (ayırma) süresi 0,4 s’dir.

2.1. Elektrikle Yapılan Çalışmalarda İş Kazalarını Oluşturan Genel Etkenler

Elektrikle yapılan çalışmalarda iş kazalarını oluşturan genel etkenler şekil 2.2'deki tehlike değerlendirme piramidi metodolojisi kullanılarak belirlenebilir.



Şekil 2.2. Tehlike değerlendirme piramidi

-Eleme: Tehlikenin yok edilmesi. En tehlikesiz yöntemin ve çözümün tercih edilmesidir. Örneğin izolasyonu bozulmuş elektrik kablolarının tamirinin veya yenilenmesinin yapılmaması iş kazalarına sebebiyet verebilir. Son tüketicilerde ise dolaylı dokunmaya karşı koruma önlemlerinin yani topraklama ve temas gerilimi şartlarının sağlanmaması elektrik çarpma tehlikesi oluşturur.

-İkame etme: Tehlikeyi yok etmek mümkün değilse daha az tehlikeli olanla değiştirmektir; Örneğin elektrikli sistemler yerine pnömomatik sistemlerin kullanılması veya ekstra alçak gerilim sistemlerinin (SELV veya PELV) kullanılması veyahut exproof sistemlerin kullanılması tehlikeleri azaltabilir. Yangın yayılması tehlikesini önlemek için yağlı trafo kullanılması yerine kuru trafo kullanılması veya yangın durumunda kesif ve zehirli duman çıkmasını önlemek için kablolarda pvc izolasyon yerine halogenfree az duman çıkaran yangın geciktiren izolasyon seçilmesi, ikame yöntemleridir.

-Mühendislik kontrolü: Tehlikeye erişimin fiziksel engellerle önlenmesidir; Doğrudan dokunmaya karşı korumada ana veya tali dağıtım panolarındaki canlı iletken bölümlere dokunmanın engellenmesi için gerekli yalıtım tedbirlerinin alınması gerekir. Etiketleme kilitleme (LOTO, lock out-tag out) prosedürü de tehlikenin engellenmesi için önemli bir metottur.



Şekil 2.3. LOTO, “lock out-tag out” etiketi [Şekil:North Safety]

Bir arıza durumunda arızalı bölümün şalterinin açılarak kilitlemesi ve şekil 2.3’dekine benzer uyarılar arızayı anaran teknisyeni kazalardan korur.

-Yönetimsel kontrol: İşin yapılma şeklinin idari kurallarla daha risksiz hale getirilmesidir; Elektrik tesisatının cins ve hacmine göre yetkili ehliyete sahip olmayan kişilerce yapılması, bakım ve onarımının sağlanması iş kazalarında önemli bir etkidir. Elektrikle ilgili fen adamlarının yetki görev ve sorumluluklarına dair yönetmelik gereği elektrikçilerin müdahale edebilecekleri tesis büyüklükleri tanımlanmıştır. Uygun ehliyete sahip olmayan elektrikçilerin tesislerde çalıştırılması son derece tehlikelidir.

Yönetimsel kontrol bağlamında yönetimin elektrik güvenliği konusunda eğitimler düzenlemesi, sürekli uyarılar yapması bilincin yükselmesi bakımından önemlidir. Çalışanların uyarılara karşı direnç geliştirmesi de iş kazaları için önemli bir etkidir. Çalışanların elektrik hakkında gerekli eğitim, bilgi ve deneyime sahip olmamaları, tehlikelere karşı gereksiz kendine aşırı güven duymaları ve elektriğe karşı gerekli dikkat ve özeni göstermemelerine karşı düzenlemeler yapılmalıdır.

Çalışanların gerekli talimatları almadan veya görevleri dışında arızaya müdahale etmeleri önlenmelidir.

Yönetimsel kontrol bağlamında tesisatın ve topraklamaların periyodik olarak yapılmasının sağlanması gerekir. Topraklamanın muayene edilmemesi sonucu, topraklaması yapılmış bilinen alet veya makinelerin, zaman süreci içerisinde veya dış etkenler sonucu topraklamasının bozulması kazalara sebep olabilir.

Genellikle yeterli elektrik bilgisine sahip olmayan çalışanların bulunduğu son tüketiciler bölgesinde dolaylı dokunmaya karşı en önemli koruma önlemi olan topraklamanın sağlam olduğunun belirli periyotlarla kontrol edilmemesi sonucu tehlikeli durumlar ortaya çıkabilir. Ayrıca elektrik güvenliği bilgisine haiz elektrikçilerin müdahalesinde bulunan ana ve tali dağıtım panolarının da izolasyonlarının periyodik kontrolü, pano ile son tüketici arasındaki tesisat kısmının periyodik kontrolünün yapılması kazaların önlenmesinde önemli bir etkidir.

-Personel koruyucu ekipmanların kullanımı (KKD): Piramitteki diğer önlemlerin uygulandığı önkoşulu ile korumanın etkinliğini arttırmak için kişisel koruyucu donanımlar kullanılır; Elektrikle ilgili kişisel koruyucu donanımlarla örnekler; Şekil 2.4'de görülen izole eldiven, izole halı, izole önlük'tür. (Ekipmanların elektriksel izolasyonunun yanı sıra aleve dayanıklılığı da sertifikalarından kontrol edilmelidir.)



Şekil 2.4. Koruyucu donanımlar

2.2. Risk Değerlendirme Metodolojileri

Risk değerlendirmesi metodolojileri genel olarak işverenin üretimdeki zarar riski alanına ait sonuçlar üretir. Çalışan sağlığına yönelik risk değerlendirme hesabı yapılmamalıdır. İnsan sağlığına yönelik tehlikeler varsa bunlar kesin olarak doz değerinin altına düşürülmelidir. Tahmini bir takım risk skoru rakamlarıyla insan sağlığına yönelik riskleri sekonder seviyeye düşürmek doğru bir yaklaşım değildir.[33]

İşletmelerde uluslararası kabul görmüş ETA-FTA-HAZOP-HACCP-FMEA şekline metodolojiler kullanılabilir. ETA (Olay ağacı analizi) ve FTA (Hata ağacı analizi), Hem işverenin “mal”ına, hem de çalışanların “can”ına gelebilecek zararlarla ilgili tehlikelerin değerlendirilmesinde kullanılırken, HAZOP, HACCP ve FMEA’nın neredeyse tamamen işverenin “mal”ına gelebilecek zararlarla ilgili tehlikelerin değerlendirilmesinde kullanılacağı açıkça görülmektedir. [33]

İş kazası ve meslek hastalıkları, nedenleri konusunda önlem alınmayan hallerde ortaya çıkan sonuçlardır. Tahmini risk değerlerinden yola çıkarak hesap yapma zorunluluğu, işverenin “mal”ı ile ilgili konularda mümkün olabilir. Ama çalışanın “can”ı ile ilgili konularda tahmini değerlerden hareket edilerek değerlendirme veya hesap yapılamaz. Çalışanın sağlığı alanında risk değerlendirmesi bir tarafa bırakılarak, tehlikeler değerlendirilmeli ve gerekli önlemler alınmalıdır.[33]

2.3. Elektrikle ilgili tehlike değerlendirme aşamaları

İşletme ile ilgili tüm temel verilerin toplanması;

- Binalar, bölümler, çalışanların özellikleri, eğitimleri,
- Toplam kurulu güç, besleme kaynağı, generatör, UPS ve koruma şekilleri,
- Bütün makinelerin güçleri ve koruma şekilleri,
- Bütün prizler, bütün aydınlatmalar,
- Topraklama tipi, beslemenin otomatik kesilmesi yönteminin seçimi, ek koruma yöntemleri, izolasyon tedbirleri.

İşletmede, elektrikle ilgili oluşabilecek tüm tehlikelerin saptanması,

- Etkene ait,
- İnsana ait,
- Çevreye ait tüm tehlikeler.

Çalışanının sağlığı ve güvenliği ile ilgili saptanan tüm tehlikelerin, bilimsel araştırmalarla gerçekleştirilmiş ve genellenmiş, zarar oluşturmayacak düzeyde “DOZ” değerlerinin belirlenmesi.

- Temas gerilimi, çarpma akımı,
- Aşırı akım koruması,
- Aşırı gerilim koruması,
- İzolasyon seviyesi.

İşletmede çalışanın sağlığı ve güvenliği ile ilgili tüm tehlikelerin ölçülmesi ve “Doz” değerleri ile mukayese edilmesi

- Bütün çalışılan yerlerde tüm makinalarda, prizlerde, sürekliliklerin, topraklamaların /çevrim empedaslarının ölçülmesi,
- Bütün aşırı akım/gerilim koruma cihazlarının kontrolü,
- İzolasyon tedbirlerinin kontrolü,
- Kaçak akımların seviyesinin belirlenmesi.

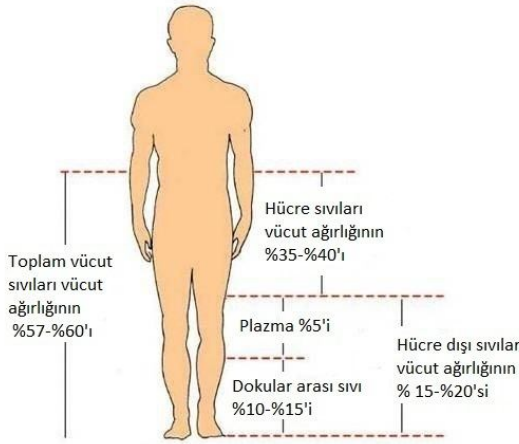
“Doz” değerini aşan tehlikelerle ilgili alınacak önlemlerin belirlenmesi ve alınması.

- Yapılan kontrollerde uygun olmayan yerlerin düzeltilmesi,
- Düzeltilemeyen yerlere ek koruma düzenlerinin tasarımı,
- Tesisin elektriksel güvenliğinin tam olarak sağlanması.

2.4. Elektriğin insan vücuduna etkileri

Yapılan çeşitli deneylerde insan vücudunun direncinin 1000 Ω ile 3000 Ω arasında olduğu tespit edilmiştir. Elektrik çarpmasında asıl hasar akımın deriye giriş ve çıkışlarında değil, kan veya idrar gibi düşük dirençli vücut sıvıları boyunca akımın izlediği yol üzerindeki iç organlar ve kaslarda oluşan yanıklardır.[3]

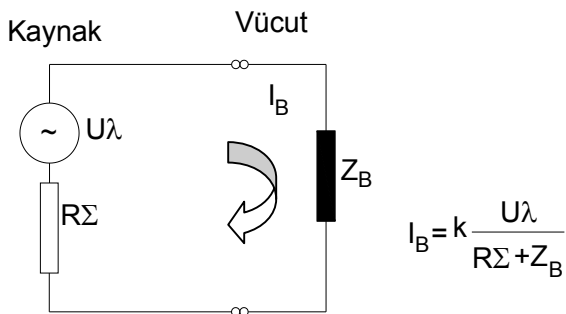
Erişkinde toplam vücut sıvısı miktarı yaklaşık olarak 40 litre'dir. Vücut sıvıları, vücut ağırlığının yaklaşık %57-60'ını oluşturur.(bkz. şekil 2.5) Vücuttaki sıvı miktarı yaş, cinsiyet ve yağ miktarına bağlıdır. Yeni doğanda su miktarı vücut ağırlığının %75'idir. [1]



Şekil 2.5. Vücut sıvılarının oransal dağılımı[1]

2.4.1. Elektrik akımı yollarına göre vücut dirençleri

İnsan vücudunun Z_B şeklinde modellenmesi durumunda devreden geçen akım şekil 2.6'daki formülle bulunabilir.



[3]

Şekil 2.6-Devredeki insan vücudu modellenmesi

Burada;

k: Kalp akımı katsayısı

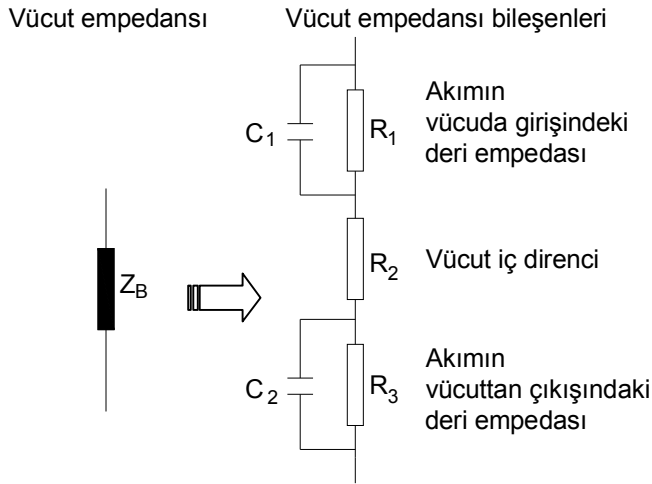
$U\lambda$: Kaynak açık devre gerilimi

Z_B : Vücut empedansı

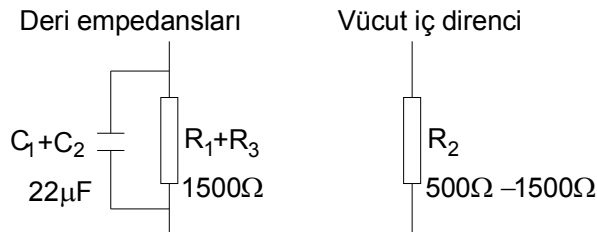
I_B : Vücut akımı

$R\Sigma$: Hattın ve kaynağın iç dirençleri toplamı

İnsan vücudunu temsil eden Z_B 'nin bileşenleri incelendiğinde; Elektrik çarpması esnasında akımın vücuda giriş-çıkış noktalarındaki deri dirençleri, bunların kapasitif etkileri ile vücut iç direncinden oluşan devre şekil 2.7'deki gibidir.

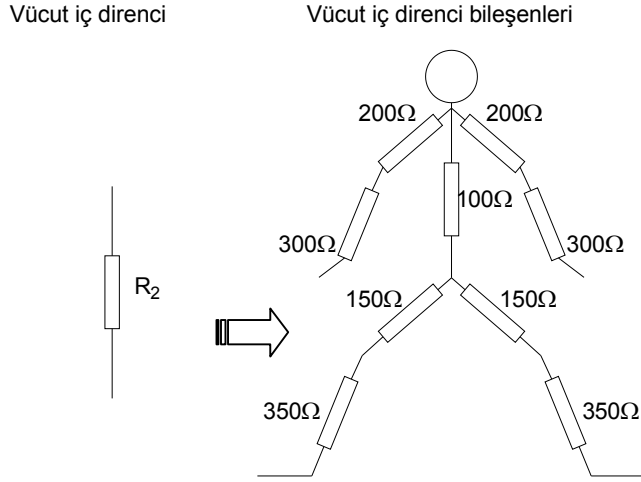


Şekil 2.7. Vücut empedansı



Şekil 2.8. Deri empedansları ve vücut iç direnci

Deri Empedansı 50 Hz için 130Ω , vücut iç direnci akım yoluna bağlı olarak 500Ω ila 1500Ω arasındadır.(bkz. şekil 2.8) Vücut iç direncinin bileşenleri ise yaklaşık olarak şekil 2.9'daki gibi kabul edilebilir.



Şekil 2.9. Vücut iç direnci bileşenleri

Sağ el-sol el

$$Z_B = \%100$$

$$k=0,4$$

Sağ el-gövde-ayaklar

$$Z_B = \%75$$

$$k=0,8$$

Eller-gövde-ayaklar

$$Z_B = \%50$$

$$k=1$$

El-göğüs

$$Z_B = \%50$$

$$k=1,3 \text{ (sağ el)}$$

$$k=1,5 \text{ (sol el)}$$

Eller-göğüs

$$Z_B = \%25$$

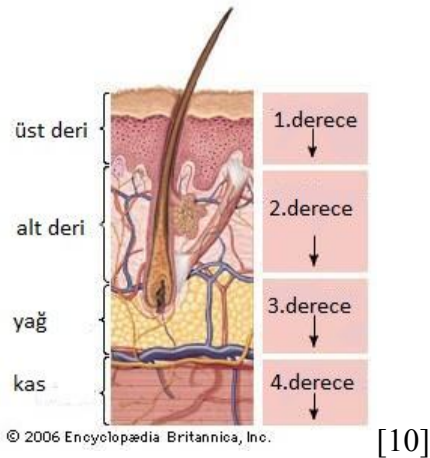
$$k=1,1 \quad [3]$$

Elektrik tesisatının canlı bölümlerine temas önlenemediği takdirde maruziyet şiddeti ve maruziyet süresine bağlı olarak tehlike çok yükselir. İnsan vücuduna alternatif akımın etkisi, akımın belirli seviyesini aşması ile ortaya çıkar. Bu seviye; çarpma akımı diye tanımlanan 30 mA AC'dir. Çarpma akımı sınırında sadece kalp atışının düzensizleşmesi yani ventriküler fibrilasyon riski oluşurken akımın hızla kesilememesi durumunda ilave olarak dokularda ve iç organlarda yanıklar oluşabilir.

Elektrik çarpmasından korunmada öncelikle akımın insan vücudundan geçmesinin engellenmesi gerekir. İzolasyon tedbirlerinin alınması ile bu durum kolaylıkla sağlanabilir. İlave koruma olarak çarpma oluşmadan akımın kesilmesi yöntemi de uygulanabilir. Ancak 30 mA RCD ile koruma şekli asla izolasyon tedbirleri yerine ikame edilmemelidir. Hatta izolasyon tedbirlerinin yeterli olduğunun teyit edilmesi durumunda ilave koruma gerekli olmayabilir. Endüstriyel tesislerde özellikle ana ve tali elektrik dağıtım panolarında iş kazası tehlikesine karşı doğrudan dokunma önlemlerinin yani izolasyon tedbirlerinin yeterliliğinin mutlaka kontrol edilmesi gerekir.

2.4.2. Elektrik yanıkları

Elektrik çarpması sebebiyle oluşan yaralanmalarda akım, hücre membranındaki protein ve lipitlerde denatürasyona neden olur ve hücre membranı geçirgenliğini artırır.



Şekil 2.10. Deri yanık sınıflamaları

Deri yanık sınıflandırması, yanığın derideki tahribat derecesine göre belirlenmiştir. Birinci derece yanıklar derinin dış kısma zarar veren yanıklardır. İkinci derece yanıklar dış deri ve alttaki katmana zarar veren yanıkları tanımlar. Üçüncü derece yanıklar cildin tüm katmanlarına zarar veren yanıklardır. Dördüncü derece yanıklar ise cildin her tabakasını tahrip etmekle birlikte aynı zamanda deri altındaki kas, tendon, ya da kemiğe de zarar veren yanıkları tarif eder.[10] Deri direnci, gerilimin büyüklüğüne bağlı olarak kolayca delinebilir. (Yani iletken hale gelebilir.) 70 V ila 100 V arasında genellikle deri delinir ve deri direnci teorik olarak sıfır olur. [3]

Elektrik akımı solid bir dokudan geçişi sırasında elektrik enerjisi ısı enerjisine dönüşür ve ortaya çıkan ısı doku hasarı yapar. Böylece doku proteinleri ısı ile denatüre olur. Oluşan ısı miktarı; elektrik akımının büyüklüğü, doku direnci ve temas süresi ile orantılıdır. Yüksek bir elektrik arkı oluşması durumunda, termoakustik blast kuvveti de ortaya çıkar ve sert adale kasılmaları oluşturarak ilaveten künt mekanik travmaya neden olur. [7]

Elektrik akımına bağlı olarak gelişen kas hasarı, ani potasyum yükselmesine ve akut böbrek yetmezliğine neden olabilir. Karaciğer enzimlerinde ani yükselme, böbrek fonksiyonlarında ani bozulma veya mide barsak sistemde kanamalar şeklinde çeşitli iç organ yaralanmaları da görülebilir.

2.4.3. Elektrik çarpmasına bağlı etkilenen kardiyak disritmi, nörolojik hasar

Kalp kendi çalışması için gerekli gerilimini kendi üretir ve bunun etkisi ile kalp adaleleri belirli bir sistem içinde ve belirli bir tempoda sıkışıp açılarak, iki devreli bir pompa gibi çalışır ve insan vücudundaki kan dolaşımını sağlar.

Gerilimin mutlak değeri 1-1,6 mV mertebesinde ve frekansı 1,1 Hz ila 1,3 Hz arasındadır. Şekil 2.11'den görüldüğü gibi,

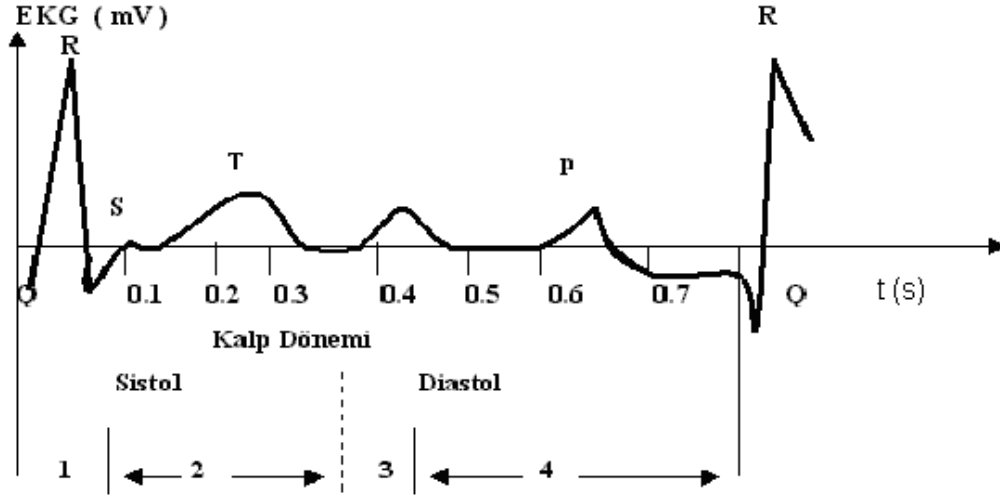
1-Aort ve pulmanol kapaklar açılır.

2-Aort ve pulmanol kapaklar kapanır.

3-Trikuspidolis ve mitral kapaklar açılır.

4-Trikuspidolis ve mitral kapaklar kapanır.

P,Q,R,S,T,U noktaları kalbin çalışma periyodunun belirli bölümlerine verilen işaretlerdir.

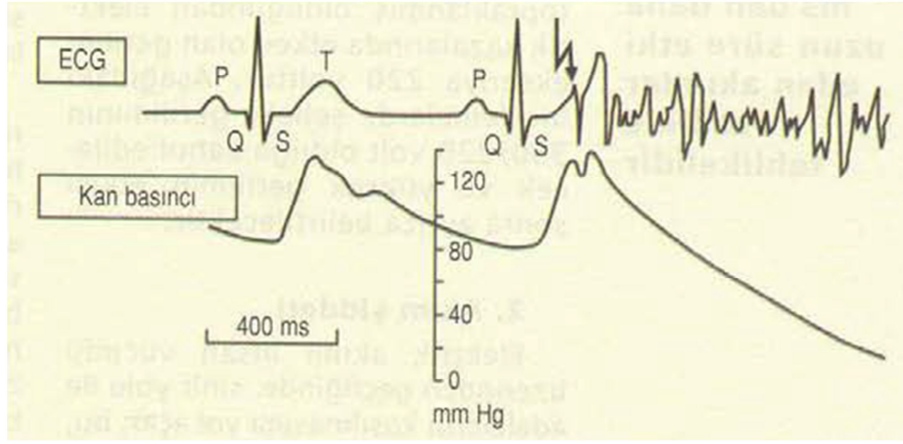


Şekil 2.11. Normal durumdaki elektrokardiyogram. [3]

Kalbin normal çalışma periyodu 750 ms'dir. Eğer akımın kalp üzerindeki etki süresi yani maruziyet süresi 200 ms mertebesinde ise bunun zararı yoktur. 750 ms'den daha uzun süren akımlar özellikle tehlikelidir.

Kalbin, hata akım devresi üzerinde bulunması halinde vücudun diğer adaleleri gibi kalp adaleleri de kasılırlar ve kumanda sistemi bozulur. Kalp her ne kadar yine atmaya devam ederse de bu artık düzenli değildir. Kalbin bu şartlar altındaki anlamsız atışlarına "fibrilasyon" adı verilir. Fibrilasyon halinde kalp artık normal çalışamaz ve kan pompalama görevini yapamaz.

Akımın sağ elden girip sağ ayaktan çıkması durumunda kalp akım yolu üzerinde bulunur. En tehlikeli durum, akımın sol elden girip göğüsten çıkmasıdır.



Şekil 2.12. EKG’de normal çalışmakta olan bir kalbin elektrik çarpması sonucunda hassas bölgede fibrilasyonun tetiklenmesi ve kan basıncının düşmesi. [3]

Yukarıdaki şekilde T ile işaretlenen nokta, kalbin elektrik akımına en duyarlı noktası olan 14 ms süren “vulnerable periode” isimli bölümdür. T impuls’undan önceki 150 ms’lik bölüm hassas bölgedir. Kısa süreli elektrik akımının buradan geçmesi fibrilasyona sebep olur. Ventriküler fibrilasyona yol açan akımın en küçük değerine “fibrilasyon eşiği” denir. Fibrilasyon eşiği, insan vücudunun anatomisi, kalbin çalışma durumu gibi biyolojik parametrelere, akımın etki süresi, yolu, cinsi, temas yüzeyi, büyüklüğü gibi elektriksel parametrelere ve nihayet şahsın fizyolojik özelliklerine bağlıdır.

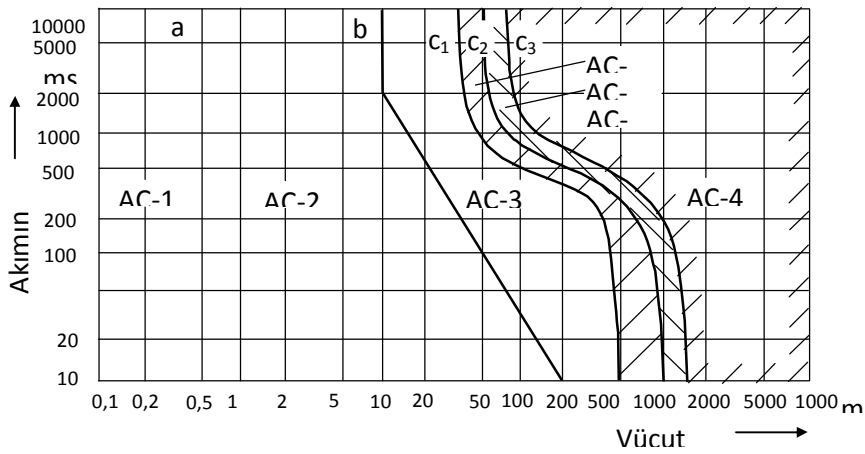
Eğer akımın geçtiği süre bir kalp çalışma periyodunu aşarsa, sinüsoidal alternatif akımda risk önemli derecede artar. Maruziyet şiddeti çok yükselirse mesela 0,1 saniyenin altındaki şok sürelerinde 500 mA’dan büyük akımlarda dahi fibrilasyon oluşabilir. Yukarıdaki şekilde S noktasından sonra ok ile işaret edilen eşikten itibaren ventriküler fibrilasyon görülmekte ve aynı zamanda şekil 2.12’deki kan basıncı eğrisine göre de tansiyon düşmektedir.[3]

İnsan vücudunda sol elden her iki ayağa doğru akan 15 Hz’den 100 Hz’e kadar frekanslı sinüsoidal alternatif akımın etkileri şekil 2.13’deki etki bölgelerine ayrılarak verilmiştir.

Bölge No	Bölge sınırları	Fizyolojik etkiler
AC-1	0,5 mA' e kadar a doğrusu	Genellikle bir tepki yoktur.
AC-2	0,5 mA b doğrusuna kadar	Genellikle zararlı bir fizyolojik etki yoktur.
AC-3	b*) doğrusu c ₁ eğrisine kadar	Genellikle organik bir hasar beklenmez. Akım akış süresinin 2 s'den daha uzun olmasıyla kaslarda kramp kasılmaları ve nefes almada zorluklar görülür. Akımın büyüklüğü ve süresinin artmasıyla ventriküler fibrilasyon hariç, atriyel fibrilasyon ve geçici kalp kasılmaları gibi kalpte, kalp atışlarının iletiminde ve biçiminde bozulmalar görülür.
AC-4	c ₁ eğrisinden sonra	AC-3 bölgesindeki etkilere ek olarak kalpte ve nefes alıp vermede akımın büyüklüğü ve süresinin artmasıyla tehlikeli fizyolojik etkiler ve ağır yanıklar meydana gelebilir.
AC-4.1	c ₁ - c ₂	Ventriküler fibrilasyon olasılığı yaklaşık % 5'e kadar yükselir.
AC-4.2	c ₂ - c ₃	Ventriküler fibrilasyon olasılığı yaklaşık % 50'ye kadardır.
AC-4.3	c ₃ eğrisinden sonra	Ventriküler fibrilasyon olasılığı %50'nin üzerindedir.

*)10 ms'nin altındaki akım akış süreleri için b doğrusundaki vücut akımı için olan sınır 200 mA'lik bir değerde olduğu kabul edilir.

Tablo 2.3. 15 Hz'den 100 Hz'e kadar a.a. etkilerinin akım/zaman bölgeleri [9]



Şekil 2.13. 15 Hz'den 100 Hz'e kadar a.a. etkilerinin akım/zaman bölgeleri [9]

Akımın insan vücudundaki etki süresinin önemi çok büyüktür. Kalp üzerinden 0,3 saniyeden daha uzun süre 80 mA mertebesinde akım geçerse kalp adaleleri kasılarak tehlikeli fibrilasyon başlar ve olay çoğu zaman ölümlle sonuçlanır.[3]

Elektrik çarpmasına bağlı olarak gelişen ani ölümün birincil nedeni solunum-kalp durmasıdır. Elektrik çarpmasından hemen sonra, solunum veya dolaşımdan biri ya da her ikisi birden durabilir.

Solunum durmasının nedenleri; Beyinden geçen elektrik akımının, beyin sapındaki solunum merkezi çalışmasını baskılaması, elektrik akımına maruz kalma sırasında, diyafram ve göğüs duvarı kasları gibi solunum kaslarının sürekli kasılı durumda kalmasıdır. Elektrik çarpması sonlandıktan sonra da dakikalarca devam edebilen solunum kasları felci ikincil olarak görülebilir. [2]

3. ELEKTRİK ÇARPMASINA KARŞI KORUMA PRENSİPLERİ

Elektrik çarpmasına karşı koruma konusunda Uluslararası Elektroteknik Komisyonu IEC ile Türk Standartları Enstitüsü TSE bir çok standart yayınlamıştır. Elektrik çarpmasına karşı koruma konusundaki standartlardan bazıları listelenmiştir.

- IEC 60073:İnsan-makine arayüzü, işaretleme ve tanımlama için temel ve güvenlik prensipleri. [11]
- IEC 60364-5-54:Binalarda Elektrik Tesisatı. Bölüm 5. [12]
- IEC 60445:İnsan-makine arayüzü için temel ve güvenlik prensipleri, terminallerin işaretlenmesi. [13]
- IEC 60446:İnsan-makine arayüzü için temel ve güvenlik prensipleri, işaretleme ve tanımlama. [14]
- IEC 60447:İnsan-makine arayüzü (MMI) -Kumanda ilkeleri. [15]
- IEC 60449: Binaların elektrik tesisatı için gerilim bantları. [16]
- IEC/TR2 60479-1:İnsan ve diğer canlılarda elektrik akımının etkileri [17]
- IEC/TR 60479-2:İnsan vücudu üzerinden geçen akımın etkisi.
Bölüm 2: alternatif akım Etkileri: Özel yönleri 4 -Kısım 100 Hz üzerindeki frekanslar - Bölüm 5: Mevcut özel dalga Etkileri - Bölüm 6: kısa süreli tek yönlü, tek darbe akımların Etkileri. [18]
- IEC/TS 60479-3:İnsan ve diğer canlılarda elektrik akımının etkileri-Bölüm 3: Vücut içinden geçen akımlarının etkisi.[19]
- IEC 60529:Koruma mahfazaları IP kodu. [20]
- IEC 60664-1:Alçak gerilimli tesislerde izolasyon koordinasyonu.[21]
- IEC/TR3 60664-2-1:Ekipman içinde için yalıtım koordinasyonu alçak gerilim sistemleri - Bölüm 2-1: Uygulama kılavuzu - Ölçülendirme prosedürü ve ölçülendirme örnekleri. [22]
- IEC 60664-3:Alçak gerilim sistemlerinin içindeki teçhizat için yalıtım koordinasyonu - Bölüm 3:Yalıtım koordinasyonu sağlamak için kaplamaların kullanılması, baskılı devre düzenekleri. [23]

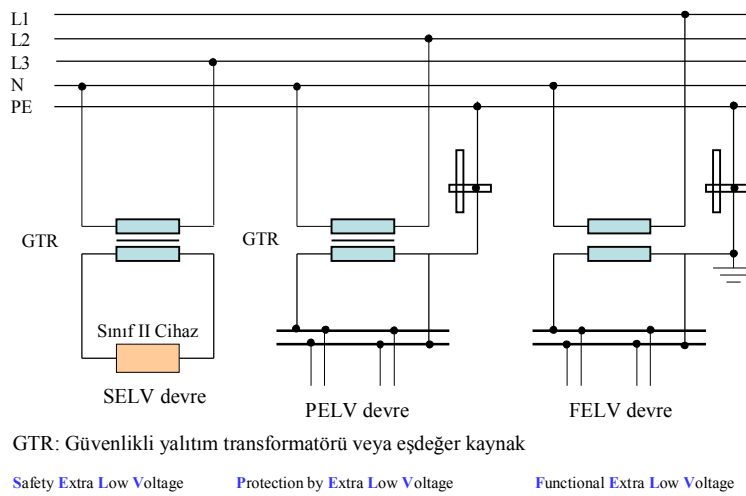
- IEC/TR3 60664-4:Alçak gerilim sistemlerinin içindeki teçhizat için yalıtım koordinasyonu-Bölüm 4: Yüksek frekanslı gerilim stresinin göz önüne alınması. [24]
- IEC 60757:Renk kodları.[25]
- IEC 60990: Dokunma akımı, koruma iletkeni akımı ölçme yöntemleri.[26]
- IEC 61032: Kişilerin korunması ve ekipman muhafazaları ile sondalar doğrulama. [27]
- IEC 61140: Elektrik çarpmasına karşı koruma. [28]
- IEC 61293: Elektrik donanımının işaretlenmesi-Emniyet gereksinimleri.[29]
- TS EN 61008-1:Artık akımla çalışan devre kesiciler - Ayrılmaz bir bütün hâlinde aşırı akım koruması bulunmayan- Ev ve benzeri yerlerde kullanılan (rccb) - Bölüm 1: Genel kurallar”. [34]
- TS EN 61008-2-1/A11/AC, “Artık akımla çalışan devre kesiciler- Ayrılmaz bir bütün halinde aşırı akım koruması bulunmayan-Evlerde ve benzeri yerlerde kullanılan (rccb) bölüm 2.1:Genel kuralların fonksiyon olarak hat geriliminden bağımsız rccb'lere uygulanabilirliği” [35]
- TS EN 61543/A2,(2012),”Elektromanyetik uyumluluk - Artık akımla çalışan koruyucu düzenler (rcd) - Evlerde ve benzeri yerlerde kullanılan” [36]
- TS HD 60364-1, (2010), “Alçak gerilim elektrik tesisleri - Bölüm 1: Ana prensipler, genel karakteristiklerin değerlendirilmesi ve tarifler” [37]
- TS HD 60364-6, (2010), “Alçak gerilim elektrik tesisleri - Bölüm 6: Doğrulama” [38]
- TS HD 60364-7-701, (2007), “Binalarda elektrik tesisatı - Bölüm 7: Özel tesisat veya mahaller için kurallar kısım 701: Banyo küveti veya duş teknesi bulunan mahaller” [39]

Uluslararası standartların ışığında elektrik çarpmasına karşı korumada prensip olarak topraklı bir donanıma temas ile canlı iletkene doğrudan temas konuları ayrı ayrı değerlendirilmesi gereken koruma metotlarıdır. Doğrudan dokunma; hata akımı devresine ampermetre gibi seri girilmesi, dolaylı dokunma hata akımı devresine voltmetre gibi paralel girilmesidir. Tesisin hangi bölümlerinde doğrudan temasın engellenmesi gerektiği, hangi bölümlerde topraklı donanımlara hata durumunda temas koşullarının sağlanması gerektiği ayrı ayrı değerlendirilmelidir.

Doğrudan dokunmaya karşı korumada yalıtım tedbirlerinin etkinliği oranında iş kazası riski düşürülebilir, dolaylı dokunmaya karşı korumada ise topraklamanın ve koruma cihazının etkinliği iş kazası riskinin büyüklüğünü belirlemektedir.

3.1. Doğrudan ve dolaylı dokunmaya karşı birlikte koruma

Doğrudan ve dolaylı dokunmaya karşı birlikte koruma için şekil 3.1’de görülen “ELV” (extra low voltage), ekstra alçak gerilim sistemlerinden biri kullanılmalıdır. Ekstra alçak gerilim seviyesi olarak 50 V gerilim seviyesinin altındaki 12 V, 24 V vs. gerilimler kullanılır. Enerji boşalmasının sınırlandırılması ile koruma (elektrikli çit cihazları ve benzerleri) da bu kapsamda değerlendirilir.



Şekil 3.1. Doğrudan ve dolaylı dokunmaya karşı birlikte koruma [30]

3.2. Doğrudan dokunmaya karşı koruma; normal durumda

Doğrudan dokunmaya karşı koruma; tesisatın canlı tabir edilen aktif kısımlarına, yani mesela şekil 3.2’de görülen dikili tip pano içindeki baralar gibi gerilim altında bulunan bölümlere doğrudan dokunmayla doğabilecek tehlikelere karşı korumadır. Tesisatın bu bölümlerine sadece ehliyetli, yetkili personel, özel anahtar veya mekanizmalarla ulaşabilmelidir. Gerilim altındaki bölümlerin yalıtılması, korkuluk ya da mahfazalar, engeller ve el ulaşma uzaklığı dışına yerleştirme yöntemlerinin biri veya birkaçı ile tesisatın canlı bölümlerine rastlantısal dokunma riski tamamen önlenmelidir.



Şekil 3.2. Doğrudan dokunmaya karşı koruma [Şekil: Balcı, A.]

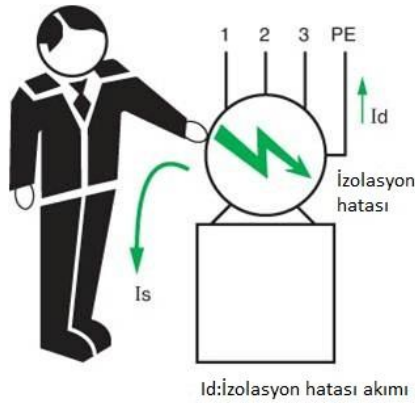
Bu önlemlere ilave olarak doğrudan dokunmaya karşı artık akım cihazı veya yaygın adı ile kaçak akım rölesi ile ilave koruma yapılabilir. Burada artık akım cihazı ile yapılan koruma asla asıl yalıtım tedbirleri yerine ikame edilemez. Diğer yalıtım tedbirlerinin alınmasından sonra hala canlı iletkenlere dokunma riski devam ediyorsa ilave olarak artık akım cihazı kullanılabilir. Daha açıkçası yalıtım tedbirlerinin yeterli olması durumunda artık akım anahtarının kullanımı gerekli olmayabilir. Burada yetersiz yalıtım veya uygun olmayan mahfaza gibi hatalı bir uygulamada pano içindeki açıktaki canlı baraya veya açıktaki canlı iletkene rastlantısal olarak temas eden insan, hata akımı devresinin seri bir parçası olur. 2000 Ω insan vücudu direnci, üzerine bastığı beton gibi iletken zemin üzerinden 230 V kaynak gerilimi ile

devrenin seri bir parçası haline geldiğinden ilave koruma olarak kullanılacak artık akım cihazının açma eşiği en fazla 30 mA olmalıdır.

3.3. Dolaylı dokunmaya karşı koruma; hata durumunda

Dolaylı dokunmaya karşı koruma, tesisatın son bölümündeki donanımlarda izolasyon hatası meydana geldiğinde; bu donanımda çalışanların makinanın açıktaki topraklı metal kısımlarına dokunmasıyla doğabilecek tehlikelere karşı korumanın sağlanmasıdır.

Dolaylı dokunmaya karşı koruma ile bağlantılı olarak, potansiyel dengeleme yönteminin uygulanması gereklidir. Potansiyel dengeleme sistemi, aynı anda erişilebilen iletken bölümler arasındaki tehlikenin doğabileceği büyüklük ve sürede gerilim oluşumunu önleme amaçlıdır. Potansiyel dengeleme sistemi, ana potansiyel dengeleme barasına, metal su boruları, gaz tesisat boruları, diğer metal şebeke boru ve kanalları, merkezi ısıtma ve klima sistemleri, binanın açıktaki metal bölümleri, binanın demir donatısı ile yıldırımdan koruma sistemi gibi tüm metal aksamların bağlanması ile oluşturulur.



Şekil 3.3. Dolaylı dokunmaya karşı koruma [5]

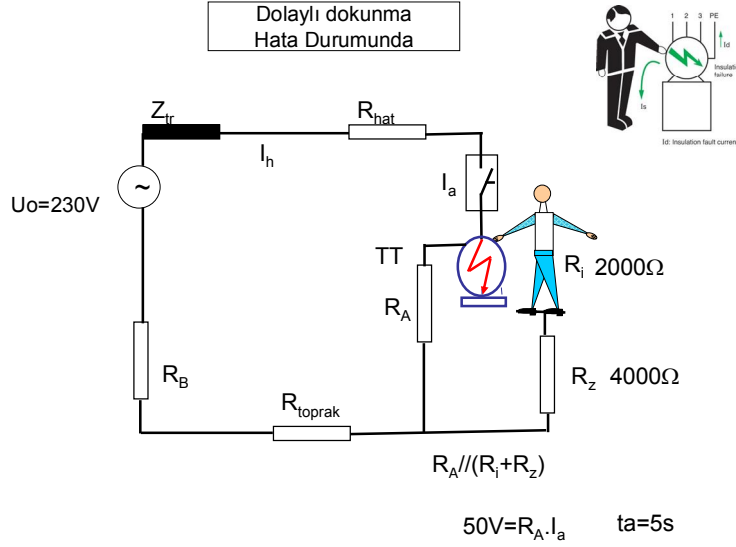
İzolasyon hatası durumunda şekil 3.3'de olduğu gibi topraklı makinelerin iletken metal mahfazalarının da gerilim altında kalması durumunda bu makinanın derhal devreden çıkarılması gerekir. Keza bu makineye dokunacak olan insan elektrik çarpmasına maruz kalabilir. Burada uygulanacak yöntem; akımın insan

vücudu üzerinden geçmesinin engellenmesi yöntemi veya bir hata durumunda açıktaki iletken gövdeye dokunan bir insan üzerinden, değeri çarpma akımından daha büyük olan bir akımın otomatik olarak çok kısa sürede kesilmesi yöntemi, yani aşırı akım koruma cihazları ile yapılan koruma yöntemi veyahut da vücut üzerinden geçebilecek hata akımının, çarpma akımından daha düşük bir değer ile sınırlandırılması yöntemi olabilir.

Dolaylı dokunmaya karşı koruma için, topraklanmış potansiyel dengeleme ve besleme kaynağının otomatik olarak kesilmesi ile koruma, Sınıf II donanım veya eşdeğer yalıtım ile koruma, iletken olmayan bölgeler ile koruma, toprak bağlantısı olmayan potansiyel dengeleme ile koruma, elektriksel ayırma ile koruma şeklindeki sistemlerden biri kullanılabilir. İletken olmayan mahallerde koruma ile toprak bağlantısı olmayan potansiyel dengeleme ile koruma, özel durumlar için tanımlı olup; genel kullanım için uygun değildir. Sınıf II donanım kullanımı yöntemi, yani açıkta iletken hiçbir bölümü olmayan, tamamen yalıtılmış cihazların kullanılması, emniyetli bir yöntemdir. Elektriksel ayırma ile koruma da oldukça emniyetli bir çözüm olarak tanımlanmıştır.

En yaygın kullanılan dolaylı dokunmaya karşı koruma yöntemi, topraklanmış potansiyel dengeleme ve beslemenin otomatik kesilmesi ile korumadır. Burada seçilecek olan TT, TN veya IT şeklinde kurulmuş topraklama sistemlerinin gereksinimlerinin sağlanması şarttır. TT ve TN sistemler dünya ölçeğinde ülkelerde yaygın olarak kullanılmakla birlikte IT sistemi daha sınırlı olarak tercih edilmektedir. Ülkemizde IT sistemi daha çok hastanelerde ameliyathanelerde kullanılmaktadır. Kullanımdaki yaygınlık sebebiyle bu çalışmada TT ve TN sistemler üzerinde durulmaktadır.

3.3.1. Dolaylı dokunmaya karşı koruma; TT sistem



Şekil 3.4. Dolaylı dokunmaya karşı koruma; TT sistem devresi

TT sistemde güvenli çalışma için şekil 3.4'deki R_A koruma topraklaması üzerindeki gerilimin 50 V ile sınırlandırılması gerekir. Böylece paralel devrenin diğer kolundandaki gerilimin de aynı olmasından dolayı insan üzerindeki gerilim de 50 V ile sınırlandırılmış olacaktır. [9]

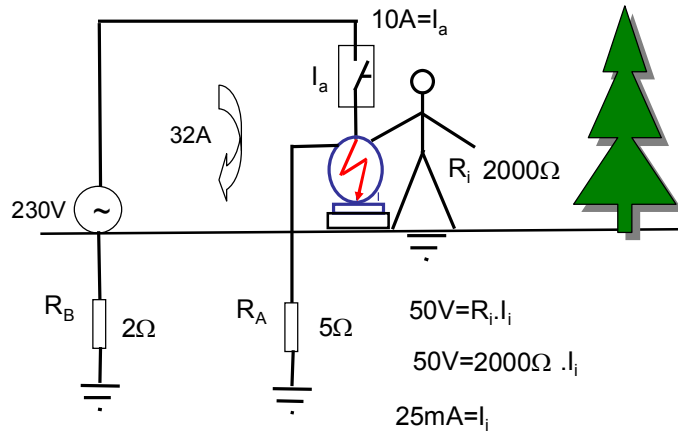
Paralel devrenin koruma topraklaması kolunda; koruma topraklaması direnci ile koruma cihazı açma akımının çarpımı için $50 V \geq R_A \cdot I_a$ koşulu sağlanırsa otomatik olarak paralel devrenin insan bulunan kolunda da 50 V olacağından güvenlik sağlanacaktır. $50 V \geq R_i \cdot I_i$ denklemindeki R_i insan vücudu direnci değeri olan 2000 Ω için I_i vücut akımı 25 mA olacağından devre güvenlidir. Burada ayakkabı direnci zemin direnci gibi argümanlar da göz önüne alındığında devrenin insan bulunan kolundaki toplam direnç daha da artacak dolayısıyla I_i değeri daha da düşecektir.

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan sistem TT sistemdir. Bu sistemde hata akımı, devresini toprak üzerinden tamamlamaktadır. Toprağı devrede doğrudan kullanan bu sistemin diğer sistemlere göre koruma zafiyeti bulunmaktadır. Keza

toprağın mineral bileşim durumuna ve mevsime bağlı olarak değişkenlik gösterebilen öz direnci, ekonomik ve doğal kısıtlardan dolayı yeterince küçültülemeyen toprak geçiş direnci yeterli güvenilirlikte koruma sağlayamamaktadır. Hata akımı devresine seri olarak giren R_A koruma topraklaması ve R_B işletme topraklaması dirençlerinin toplamı diğer devre dirençleri ile birlikte aşırı akım koruma cihazının açma akımını sınırlamaktadır.

Örneğin şekil 3.5’deki devrede işletme topraklaması direnci R_B için 2Ω ve koruma topraklaması direnci R_A için 5Ω alınırsa hata akımı çevrimi üzerinde toplam 7Ω direnç devreye seri olarak girmektedir. Diğer devre dirençleri ihmal edildiğinde hata akımı yaklaşık $32 A$ olmaktadır. Bu durumda devrede açma akımı $32 A$ ’den daha küçük bir koruma cihazı kullanılırsa devre güvenli olacak, açma akımı $32 A$ ’den büyük olan koruma cihazı kullanılırsa devre güvenli olmayacaktır.

TT sistemde devrenin güvenli olması için temas geriliminin $50 V$ ile sınırlandırılması gerekir. Örnekteki koruma topraklaması direnci 5Ω olduğundan kullanılacak koruma cihazının açma akımı en fazla $10 A$ olmalıdır ki $R_A \cdot I_a \leq 50 V$ şartı sağlansın. Bu durumda şekil 3.5’deki koruma topraklamasına paralel olan insan vücuduna da temas gerilimi olarak adlandırılan $50 V$ gelecek ve vücut akımı vücut direncine bağlı olarak doz değerinden yani çarpma akımından daha düşük bir seviyede sınırlanacaktır.



Şekil 3.5. Dolaylı dokunmaya karşı korumada vücut akımı

3.3.2. Dolaylı dokunmaya karşı koruma;TN sistem

TN sistemde hata akımı devresinde toprak bulunmayıp tüm çevrim iletkenlerle tamamlanmaktadır. Devrede sadece çok küçük dirençli kablolar ve iletkenler bulunduğundan bir izolasyon hatasında hata akımı çok büyümektedir.

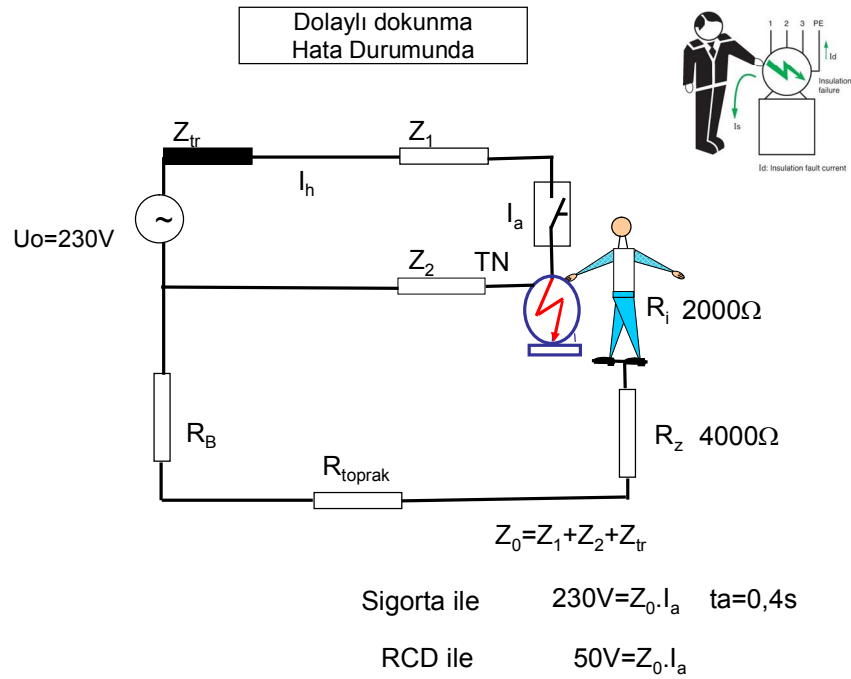
TN sistemde güvenli çalışma için $230 \text{ V} \geq Z_0 \cdot I_a$ olmalıdır. Tüm devrenin toplam çevrim empedansı Z_0 ile koruma cihazının açma akımı I_a 'nın çarpımı kaynak geriliminden küçük olmalıdır. (bkz. şekil 3.6)

TN sistemi devrede 230 V gerilim için verilen açma (ayırma) süresi 0,4 s olarak tanımlandığından 0,4 s'den daha önce açılabilen devre güvenlidir. Koruma; termik manyetik devre kesicilerin ters zaman karakteristiği sebebiyle hata akımının büyümesiyle açma süresinin kısılması yani dolayısıyla maruziyet süresinin azalması ile gerçekleşmektedir. TN sistemde artık akım cihazı da kullanılırsa $50 \text{ V} > Z_0 \cdot I_a$ denklemi kullanılmalıdır. [9]

Ülkemizde kendine ait trafosu olan YG müşterisi abonelerde yaygınlaşmaya başlayan sistem, TN S sistemidir. Bu sistemde hata akımı devresini toprak üzerinden değil PE iletkeni üzerinden tamamlamaktadır. TN sistemler toprağı doğrudan devrede kullanmadığından TT sisteme üstünlük sağlamaktadır. Keza koruma, toprağın öz direncine mineral bileşim durumuna veya mevsime bağlı değil, çekilen iletkene bağlı olduğundan yeterli güvenilirlikte koruma sağlanmaktadır.

Devreye giren R_A ve R_B topraklama dirençlerini şöntleyen sadece PE iletkenin ihmal edilecek kadar küçük empedansı hata akımını yeterince büyütmede böylece aşırı akım koruma cihazının açma akımı çok rahat aşılmaktadır.

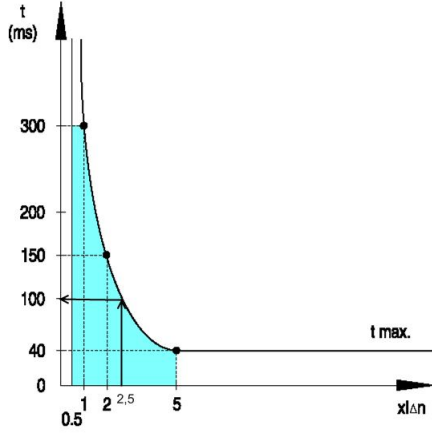
Örneğin dönüş hattındaki $0,5 \Omega$ PE direnci devreye girdiğinde besleme hattı ile trafonun empedansı $0,5 \Omega$ ise hata akımı 230 A olmaktadır. B tipi açma eğrisine sahip 16 A sigortanın açma akımı 80 A olduğundan devre sadece aşırı akım koruma cihazı ile dahi güvenlidir. İlave önlemlerle güvenlik daha da arttırılabilir; Bunlar RCD ve tamamlayıcı potansiyel dengeleme kullanılması olabilir.



Şekil 3.6. Dolaylı dokunmaya karşı koruma;TN sistem devresi

4. ARTIK AKIM CİHAZLARI (RCD)

Bu bölümde açma eğrisi şekil 4.1’de görülen, kısaca RCD (Residual Current Device) olarak adlandırılan artık akım ile çalışan devre koruma cihazları incelenecektir.



Şekil 4.1. Artık akım cihazı açma eğrisi

4.1. RCD’lerin Tarihçesi

Dünyanın ilk yüksek hassasiyetli toprak artık akım koruma sistemi, 1955 yılında Güney Afrika’da altın madeni işletmesinde çalışan mühendis Henri Rubin tarafından bulundu. Sistem başlangıçta 525 V alçak gerilim şebekesinde çalıştırılan ve 250 mA açma eşiği olan soğuk katot sistemi ile çalışıyordu. Bundan önce, yaklaşık 10 A açma eşiğinde akı dengesi ile çalışan toprak artık akım koruma sistemleri vardı.



Şekil 4.2. Güney Afrika

Soğuk katot sistemli toprak artık akım koruma sistemleri altın madenlerinde uzun süre kullanıldı. Ancak Rubin hassasiyeti büyük ölçüde geliştirilmiş tamamen

yeni bir sistem üzerinde çalışmaya başladı ve 1956'da manyetik amplifikatör tipi akı denge sistemi prototipini yaptı. (Güney Afrika Patent No 2268/56 ve Avustralya Patent No 218360) Prototip 220 V, 60 A kontak akımında ve 12,5-17,5 mA ayarlanabilir açma eşiği hassasiyeti vardı.

Bu arada ABD'li bilim adamı Charles Dalziel Kaliforniya Üniversitesinde yaptığı araştırmalarda elektrik çarpmasında kalp ritminin bozulması anlamına gelen ventriküler fibrilasyon limiti altındaki güvenli akım - zaman aralığını tespit etmişti.



Şekil 4.3. Charles Dalziel (1904–1986)

Yeni tasarım toprak hata akım koruma ünitesinin devreyi açma hızı ve açma eşiği hassasiyeti Dalziel'in tespit ettiği güvenli akım-zaman limitinin altında kalabiliyordu. Toprak hata akım koruma sistemi termik-manyetik devre kesici ilavesi ile aşırı akım ve kısa devre koruması da yapabiliyordu. Orijinal prototip buna ek olarak, elektrik yangınlarının önemli bir nedeni olan nötr kopmasına karşı daha düşük hassasiyetli bir koruma yapabilmektedir.

Johannesburg'daki Stilfontein altın madenciliği yerleşkesinde olan iş kazasında bir kadının elektrik çarpmasından ölmesi üzerine F.W.J firması tarafından üretilen 20 mA hata akım koruma üniteleri 1957 ve 1958 yıllarında maden işçilerinin evlerine monte edildi. F.W.J. firması daha sonraları FW Elektrik Industries olarak adını değiştirdi. Firma 20 mA, tek faz ve üç faz hata akım koruma üniteleri üretmeye devam etti.

Rubin çalışmalarında transistör kullanmayı denedi ancak transistörlere çok fazla güvenilemeyeceği sonucuna vardı. Ancak gelişmiş transistörlerin üretilmesiyle toprak hata akım koruma ünitelerinin transistörlü versiyonlarını üretti.

1961 yılında Rucker Manufacturing Co. ile çalışan Dalziel, toprak hata akımı koruması için transistörlü bir cihaz geliştirdi. Yüksek hassasiyetli toprak kaçağı koruması için yapılan bu cihazlara; Toprak Hata Kesicisi (GFI) veya Toprak Hata Devre Kesici (GFCI) ismi verildi. Bu isim ABD'de hala yaygın olarak kullanılmaktadır.

1970'lerin başında Kuzey Amerika'daki GFCI cihazları devre kesicili tipdeydi. 1980'lerde devre kesicinin çıkışına bağlanan GFCI'ler üretilmeye başlandı. Dağıtım panosuna monte edilen bu tip devre kesiciler, özellikle kablolama hataları ile zayıf veya tutarsız izolasyonlardan kaynaklanan yalıtım sorunları, uzun devreler veya akım dengesizliğindeki en küçük artış hatalı açmalara sebep olmaktaydı.

Kuzey Amerika'da tesislerde soket tabanlı (prize takmalı seyyar tip) koruma için hatalı açmaları azaltılmış cihazlar kullanılmaktadır. Nemli yerlerde Amerika elektrik yönetmeliği (NFPA kod) gereği bu cihazların kullanımı zorunludur. Avrupa'daki tesislerde sabit tesisat dağıtımında ana panoda kurulu bulunan RCD'ler kullanılmaya devam edilmektedir; Avrupa'da soket tabanlı RCD'ler çok yaygın olmamakla birlikte artık akım cihazlarının monte edilemeyeceği eski tesisatlarda kullanılabilir. Eski binaların çok yaygın olduğu ülkemizde bu tip soket tabanlı artık akım cihazlarının kullanılması, güvenliğin artırılması bağlamında uygun olacaktır.

4.2. RCD'lerin koruma metodolojisindeki yeri

Doğrudan dokunmaya karşı korumada yalıtım tedbirleri yeterliyse artık akım cihazına gerek olmayabilir, keza tesis içinde normal işletme şartlarında, makinaların ve kabloların izolasyonlardan akan doğal karşılanacak kaçak akımların toplam miktarı ana panodan ölçülürse birçok tesis için 30 mA RCD'yi aktive eden seviyenin üstünde olduğu, dolayısıyla işletme sürekliliğinin sağlanamayacağı görülür.

Doğrudan dokunmaya karşı korumada artık akım cihazlarının kullanılması konut vb. gibi yerlerdeki canlı iletkenlere dokunma riskinin azaltılmadığı ve toplam artık akım seviyesinin 30 mA'in çok altında olduğu durumlarda kullanılabilir.

Kaçak akımlar, tesis içinde normal işletme şartlarında, makinaların ve kabloların izolasyonlardan akan doğal karşılanacak kapasitif akımlardır. Bilgisayarlarda birkaç miliamper olan bu artık akımlar, çekilen yük akımlarının büyüklüğü ile aynı oranda artar ve büyük tesisler için 10 A seviyesine kadar çıkabilir.

Dolaylı dokunmaya karşı korumada ise TT, TN veya IT sistemlerinden hangisi kullanılırsa kullanılsın, müsaade edilen temas gerilimi 50 V'tur. Nemli veya harici ortamlarda 25 V dokunma gerilimi geçerlidir. Yani koruma düzeninin açma akımı ile topraklama direncinin çarpımı normal şartlarda 50 V'u, nemli yerlerde ise 25 V'u geçmeyecektir. ($I_a \cdot R_a \leq 50 \text{ V}$) TN sistemlerde artık akım cihazı kullanılıyorsa R_a yerine çevrim empedansı Z_0 kullanılacaktır. Artık akım cihazının koruma eşiği; dolaylı dokunma yapılan son tüketiciler için topraklama direncine bağlı 50 V temas gerilimini sağlayacak eşik değerdir.

$$50 \text{ V} = I_a \cdot R_a \quad [9]$$

$$50 \text{ V} = 5 \text{ A} \cdot 10 \Omega$$

$$0,3 \text{ V} = 30 \text{ mA} \cdot 10 \Omega$$

$$3 \text{ V} = 300 \text{ mA} \cdot 10 \Omega$$

$$48 \text{ V} = 80 \text{ A} \cdot 0,6 \Omega$$

$$I_a = 5 \cdot I_n \text{ (B açma eğrisi)} \quad [9]$$

$$I_a = 5 \cdot 16 \text{ A} = 80 \text{ A}$$

Dolaylı dokunmaya karşı koruma sistemi 30 mA veya 300 mA artık akım cihazlarına bağımlı olmayıp, 50 V temas gerilimini sağlayacak her açma akımı değeri korumayı doğrular. Piyasada 0,03 A, 0,3 A, 0,5 A, 1A, 3A eşikli RCD'ler bulunabilmektedir.[31]

5 A artık akım eşiğini sağlayan RCD bile 10 Ω 'luk koruma topraklaması direnci için korumayı sağlamaktadır. Ancak buna rağmen devredeki normal kaçak akımların müsaade ettiği en küçük açma eşiğinin seçilmesi daha emniyetli bir yaklaşım olacaktır.

Dolaylı dokunmaya karşı koruma sistemindeki temas gerilimi şartının sağlanması ve doğal izolasyon kaçaklarının birlikte değerlendirilmesi; yangın tehlikesine karşı da emniyeti arttıracaktır. Yangın tehlikesine karşı kabloların alev iletmeyen cinsten seçilmesi, ek yerlerinin yeterince sıkı ve yeterince sağlam izolasyonlu olması, kablo kesitlerinin uygun seçilmesi, devre kesicilerin anma akımlarının ve kısadevre kesme kapasitelerinin uygun seçilmiş olması, pano kapaklarının yeterli izolasyonu sağlıyor olması, gerektiğinde exproof (patlayıcı ortam ve bu ortamlarda kullanılan elektrikli aletler) şartlarının sağlanması gerekir.

4.3. RCD türleri

RCD (Artık akım cihazı): Artık akım belirli bir değere ulaştığı zaman kontakların açılmasını sağlayan cihaz.

R2D2 (Artık doğru akım cihazı): Artık doğru akım çifti belirli bir değere ulaştığı zaman kontakların açılmasını sağlayan cihaz.

GFCI (Toprak hata devre kesici): Toprak hata akımı belirli bir değere ulaştığı zaman kontakların açılmasını sağlayan cihaz.

ALCI (Cihaz kaçak akım kesici): Cihaz kaçak akımı belirli bir değere ulaştığı zaman kontakların açılmasını sağlayan cihaz.

ELCB (Toprak kaçak devre kesici): Toprak kaçağı belirli bir değere ulaştığı zaman kontakların açılmasını sağlayan cihaz.

RCCB (Entegre aşırı akım koruması olmayan artık akım devre kesici)

Mekanik anahtarlama yapmak ve normal servis şartlarında akımları kesmek için tasarlanmış bir cihazdır ve artık akım belirli bir değere ulaştığı zaman kontakların açılmasını da sağlar. Aşırı akım ve/veya kısa devrelere karşı koruma sağlamak üzere tasarlanmış değildir.

RCBO(Entegre aşırı akım koruması olan artık akım kumandalı devre kesici)

Mekanik anahtarlama yapmak ve normal servis şartlarında akımları kesmek için tasarlanmış bir cihazdır ve artık akım belirli bir değere ulaştığı zaman kontakların açılmasını sağlar. Buna ek olarak aşırı akım ve/veya kısa devrelere karşı koruma sağlamak üzere tasarlanmıştır.

SRCD (Artık akım cihazlı priz)

Artık akım belirli bir değere ulaştığı zaman kontakların açılmasını sağlayan priz.

FCURCD (Bir artık akım aygıtı içeren sigortalı bağlantı birimi)

Sabit tesisler için bir sigortalı bağlantı ünitesi ve artık akım belirli bir değere ulaştığı zaman kontakların açılmasını sağlar.

PRCD (Taşınabilir artık akım cihazı)

Taşınabilir grup priz üzerine monte edilmiş artık akım cihazıdır. Aşırı akım koruma da içerebilir.

CBR (Devre kesicili artık akım koruma)

Aşırı akım koruma ve artık akım koruma yekpare olabilir veya sahada monte olabilecek şekilde de yapılabilir.

Not: RCBO ve CBR cihazlar hem aşırı akım ve artık akım koruma sağlayan cihazlardır. Küçük cihazlar için RCBO terimi, birkaç bin amper içinse CBR terimi kullanılır.

RCM (Artık akım monitorü)

Toprak kaçığının varlığının izlenmesi için tasarlanmış bir cihazdır. Herhangi bir tetikleme aletinin ya da aşırı akım korumasının anahtarlama dahil değildir.

MRCD (Modüler Artık Akım Cihazı)

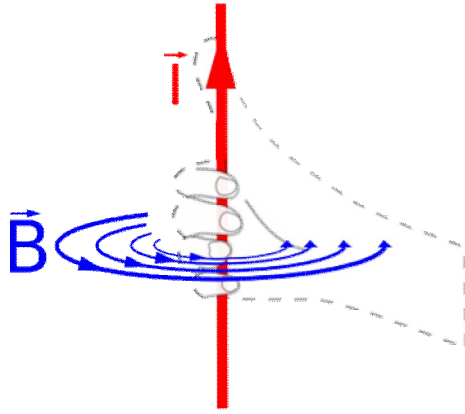
Artık akım koruma cihazı doğrudan ana devreyi kesmeyip, bağlandığı şaltlere açma için bir sinyal verme yeteneğine sahiptir.

4.4. RCD'nin çalışma prensibi

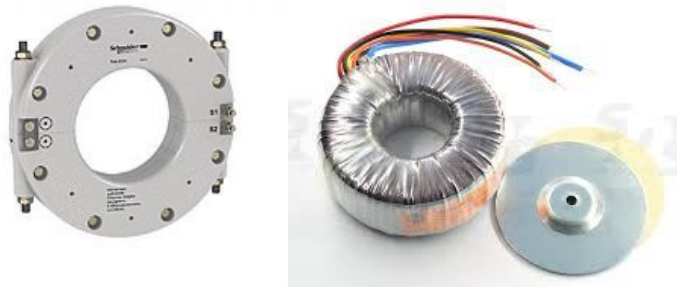
Artık akım cihazı, akım ve dolayısıyla manyetik akı dengesi prensibine göre çalışır. Bir iletken üzerinden akım geçtiğinde tel etrafında şekil 4.4'de görüldüğü gibi akım yönüne dik ekseninde soldan sağa doğru dairesel manyetik alan oluşur. Toroid içinden geçirilen yüke gelen ve şebekeye dönen akımı taşıyan iletkenlerin etraflarında akımın yönüne uygun manyetik akı oluşturur. Oluşan zıt yönlü iki manyetik akı toroid üzerinde elimine edilir. Bir hata durumunda faz'dan gelip

nötr'den dönen zıt yönlü iki manyetik akı'nın vektörel toplamı sıfır olmayacağından bir fark akı toroid çekirdek üzerinde kalır. Bu fark akı toroid etrafına sarılı bobinde bir akım oluşturur. Bu fark akı-akım kaynaklı akım trip mekanizmasını çalıştıran elektromanyetik röleyi aktive ederek devrenin açılmasını sağlar.(bkz. şekil 4.6)

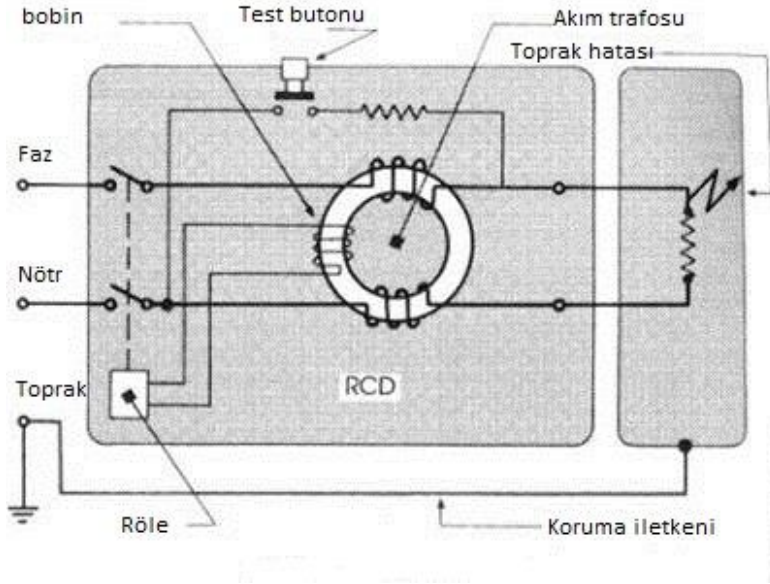
Toroidal trafolar halka şeklinde yapılmış nüve (çekirdek) üzerine sarılmış tel grubundan oluşan akım trafolarıdır. Küçük artık akım cihazlarının için yüzük büyüklüğünde olup içinden geçirilecek ana iletkenlerin kesitine göre çemberin çapı büyür. Toroidal yani halka şeklide trafolardan örnekler şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Sağ el kuralı



Şekil 4.5. Toroidal trafolar



Şekil 4.6. RCD'lerin çalışma prensibi [Şekil:Home wiring guide]

4.5. RCD Kutup sayısı

2K: 2 kutuplu (1 Faz-Nötr) Monofaze devrelerde kullanılır.(AC-DC)

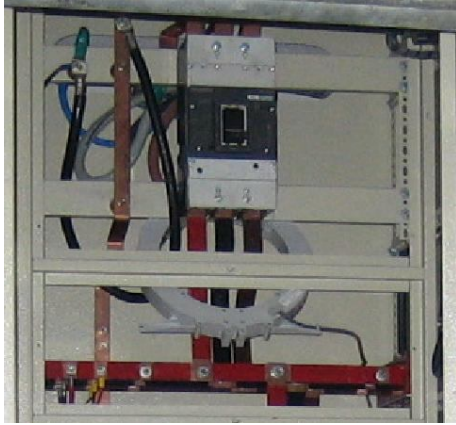
4K: 4 kutuplu (3 Faz-Nötr) Trifaze nötr'lü devrelerde kullanılır.(AC)

3K: 3 kutuplu (3 Faz) Trifaze nötr'süz devrelerde (motor gibi) kullanılır.(AC)



Şekil 4.7. 3 kutuplu ve 4 kutuplu RCD

Akım trafolu RCD: Ayrı toroidal akım trafolu tip. Yüksek artık akımlı yerlerde kullanılır.(bkz. şekil 4.8)



Şekil 4.8. Toroidal akım trafolu bağlantı

4.6. RCD Anma akımı

RCD'nin anma akımı taşıyacak maksimum sürekli yük akımına göre seçilir.

RCD ile buna seri bağlanmış termik manyetik devre kesicinin anma akımları aynı olmalıdır.

4.7. RCD Hassasiyet

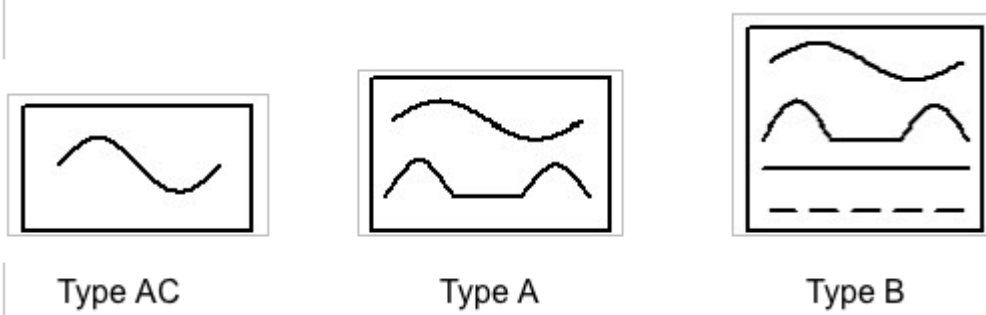
RCD hassasiyeti sınıflandırması IEC tarafından 3 hassasiyet sınıfı olarak gruplanmıştır.

Yüksek hassasiyet (HS): 6 - 10 - 30 mA

Orta hassasiyet (MS): 100 - 300 - 500 - 1000 mA

Düşük hassasiyet (LS): 3 - 10 - 30 A

4.8. RCD Tipleri



Şekil 4.9. RCD tipleri

IEC 60755’de (artık akım için genel şartlar koruyucu cihazlar) arıza akımının özelliklerine bağlı RCD üç tip tanımlanır.

Tip AC: Artık akım açması sinüzoidal alternatif akımlar için sağlanır.

Tip A: Artık akım açması titreşimli doğru akımlar ile de sağlanır. Titreşimli artık doğru akımlar için AC olarak kutupluluk bağımsız faz açısı kontrolü ile veya bu olmadan 6 mA kadar pürüzsüz doğru akım, tarafından bindirilmiş artık titreşimli doğru akımlar içindir.

Tip B: Bu devreler üç düzenlemeden kaynaklanabilir;

Saf doğru akım,

Saf doğru akım ile üst üste titreşimli doğru akım,

Saf doğru akım ile üst üste sinüzoidal akımlar için kullanılır.(bkz. şekil 4.9)

4.9. RCD Açma zamanı

Cihazlar için iki grup vardır:

Ani açmalı RCD’ler; Genel kullanım için yapılmışlardır. G Tipi

Minimum kesme süresi: ani

Maksimum kesme süresi: $1 \times I_n$, $2 \times I_n$ için 150 ms ve $5 \times I_n$ için 40 ms 200 ms

Kısa bir süre gecikmeli RCD’ler; S Tipi (seçici) veya T Tipi (zaman gecikmeli) (genellikle ag parafudr içeren devrelerde kullanılır)

Minimum kesme süresi: $1 \times I_n$, $2 \times I_n$ için 60 ms ve $5 \times I_n$ için 50 ms 130 ms

Maksimum kesme süresi: $1 \times I_n$, $2 \times I_n$ için 200 ms ve $5 \times I_n$ için 150 ms 500 ms

4.10. RCD ve Parafudr

IEC 61008 ve 61009 standartları gereği 8/20 darbe formunda 3 kA tepe akımında test edilen, böylece hatalı açma durumlarının elimine edildiği RCD’lerdir. IEC 61008 ve IEC 61009 standartları ile ilgili 200 A'e eşit bir tepe akımın operasyonel deşarjları dayanmak için artık akım koruma cihazlarının yeteneğini test etmek için 0.5 s / 100 kHz sönümlü osilatör dalgalar, atmosferik deşarjları simule eder.

Prensip olarak RCD'lerin bulunduğu yerlerde parafudr da kullanılması hatalı açmaları önleyebilir.

4.11. Otomatik tekrar kurmalı RCD

İnsansız yerlerdeki RCD'lerin hatalı açma durumunda devrenin servis dışı kalma ihtimaline karşı geliştirilen otomatik tekrar kapmalı RCD'lerdir.

4.12. RCD çalışmasında gerilime bağımlılık

Gerilimden bağımsız RCD:

Açma işlemi elektromeknik olarak 20- 120 ms içinde gerçekleştirilir. Çalışma için ekstra bir kaynak gerekli değildir. Toroid içinde gelen ve dönen akımların oluşturduğu akımların birbirini elimine etmesi, eğer denklik yoksa açma oluşması prensibine göre çalışır.

Gerilime bağımlı RCD:

Açma işlemi için ayrı bir kaynak gereklidir. Toroid içinde gelen ve dönen akımların oluşturduğu akımların birbirini elimine etmesi, eğer denklik yoksa açma oluşması için açma selenoidi veya rölesine bir sinyal gönderilir. Bu röle'nin ayrı bir kaynaktan beslemesi vardır. Bu tip RCD'ler yardımcı gerilimin kesilmesi durumunda iş yapmayacağından çok dikkatli kullanılmalıdır. Genel kullanıma uygun değildir.

4.13. RCD'li devrelerde topraklama

Doğrudan dokunmaya karşı korumada 30 mA'den daha büyük RCD kullanılamaz. Ayrıca $R_A = 50 \text{ V} / 30 \text{ mA}$ şeklinde 50 V temas gerilimine göre topraklama direnci hesabı da yapılamaz. Keza vücut devreye seri olarak girdiğinden gerilim 230 V olup paralel bir topraklama devrede olmamaktadır. 30mA RCD'lere verilen "hayat koruma" ismi sadece doğrudan dokunmaya karşı koruma metodunda kullanılabilir.

Dolaylı dokunmaya karşı korumada ise $I_a \cdot R_A \leq 50 \text{ V}$ olacak şekilde topraklama gereklidir. Tablo 4.1'de 50 V temas gerilimini sağlayan her RCD hayat

koruması da yapar. Nemli yerler için hesaplar 25 V temas gerilimine göre yapılmalıdır.

I_a	$R_A (\Omega)$
300mA	166
500mA	100
1A	50
3A	16
10A	5

Tablo 4.1. RCD'li devrelerde topraklama

4.14. RCD'li devrelerde kontroller ve testler

Son kullanıcı testi;

RCD'ler 3ay'da bir test düğmesine basılarak kontrol edilmelidir.

İşlem 'T' veya 'Test' işaretli butona basarak mandalı düşürme işlemidir.

Testi yapmadan önce beslemenin kesilmesi kontantakların zorlanmasını önler.

Uzman-kontrol testi;

Tüm testler EN 61557'ye uygun kalibrasyonlu bir test cihazı ile yapılır.

1- Zaman / akım performans testi

RCD'nin açma zamanı ve açma akımı kontrol edilir.

Testler devrede yük yokken yapılmalı, test aleti RCD'ye yakın olmalıdır.

2- Yalıtım testleri

İzolasyon direnci aktif iletkenler ve topraklama düzenine bağlı koruma iletkeni arasında ölçülmelidir. Bu testin amacı doğrultusunda, aktif iletkenler birbirine bağlı olabilir. RCD'li devrelerde 500V DC test geriliminin üzerine çıkılmamalıdır. RCD'ler izolasyon test sonuçlarını etkileyebilir.

3- Toprak çevrim empedansı testi

Çoğu toprak çevrim empedansı test cihazlarının 5A AC civarında test akımı RCD'lere açma yaptırır. Bazı test cihazlarında 15mA AC ile sınırlandırılmış bir test akımı mevcuttur. DC test akımı uygulayan cihazlara AC tip RCD'ler duyarsız olacaktır. Hem tip AC hem de tip A RCD'ler bulan yerlerde çevrim empedansı hesap yolu ile tespit edilebilir.

4-Süreklilik testi

Elektrik süreklilik testi yapılacaktır:

- a)Koruma topraklaması ile eşpotansiyel ve ek eşpotansiyel baralar dahil olmak üzere koruma iletkenleri,
- b) Son devre çevrimindeki, canlı iletkenler [38]

5. ELEKTRİK KAYNAKLI YANGINLARDAN KORUNMA

Dolaylı dokunmaya karşı koruma sistemindeki temas gerilimi şartının sağlanması ve doğal izolasyon kaçaklarının birlikte değerlendirilmesi; şekil 5.1'deki gibi bir elektrik yangını tehlikesine karşı da emniyeti arttıracaktır.

Yangın tehlikesine karşı kabloların alev iletmeyen cinsten seçilmesi, ek yerlerinin yeterince sıkı ve yeterince sağlam izolasyonlu olması, kablo kesitlerinin uygun seçilmesi, devre kesicilerin anma akımlarının ve kısadevre kesme kapasitelerinin uygun seçilmiş olması, pano kapaklarının yeterli izolasyonu sağlıyor olması, gerektiğinde exproof (patlayıcı ortam ve bu ortamlarda kullanılan elektrikli aletler) şartlarının sağlanmış olması yeterlidir.

Elektrik tesisatı, yüksek sıcaklık veya elektrik arkı nedeniyle kolayca yanabilen malzemelerin tutuşma tehlikesi mümkün olduğunca azaltılacak şekilde düzenlenmiş olmalıdır. Ek olarak, elektrik donanımının normal çalışma sırasında, insanları veya diğer canlıları yakma tehlikesi mümkün olduğunca azaltılacaktır.



Şekil 5.1. Elektrik yangını

Elektrik donanımına çok yakın konumda bulunmak zorunda olan kişiler, sabit donanım ve sabit malzemeler, elektrik donanımı tarafından yayılan ısı veya ısı ışınımdan kaynaklanan zararlı etkilerin, özellikle

- (i)Malzemelerin alevlenme, tutuşma veya zamanla bozulması,
- (ii)Yanma tehlikesi,

(iii)Tesis edilen donanımın güvenlik fonksiyonlarının zayıflaması, sonuçlarına karşı korunmuş olacaktır.

Elektrik donanımı, gerekli tedbirler alınmaksızın yangın tehlikesi oluşturacak malzemeler ile birlikte bulundurulmayacaktır.[37]

5.1. Elektrik kaynaklı yangınlardan korunmada RCD'lerin etkisi

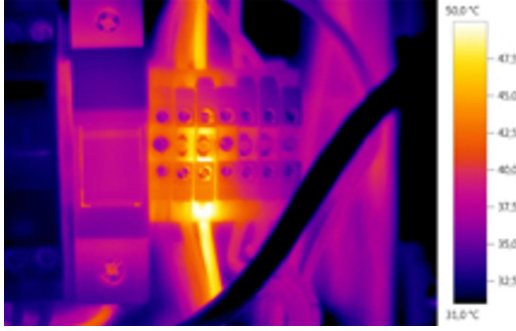
Normal şartlar altında Sınıf I ve Sınıf II cihazlar için, aşırı akım ve kısa devreye karşı koruma, yangın riskini oldukça azaltmaktadır. Ayrıca RCD'den yangına başlamasına karşı ilave koruma beklenir.

Ülkemizde 300 mA artık akım cihazlarına verilen genel ad yangın koruma rölesidir. Aslında yangın riskinin bir tek akıma sabitlenmesi doğru bir yaklaşım değildir. 1997 yılında yapılan bir araştırmada 50-100mA gibi çok düşük akımların dahi yangına neden olmak için yeterli olduğu tespit edilmiştir.[4]

Elektrik kontağı yangınlarının çoğu gövde kısa devresine dönüşmeyen kontak gevşeklikleri gibi seri arklar ile paralel ark'lar sebebiyle oluşur. Gövde kısa devresine dönüşmeyen arklarda RCD'ler etkisizdir. Termik manyetik devre kesicilerin koruma sahası dışında kalan seri veya paralel arkların sebep olabileceği yangınlardan korunmak için kestirimci bakım yöntemleri ile "AFCI" ark hatası devre kesici cihazları kullanılabilir.

5.2. Kablolama Tesisat ve Ekipmanları

Sabit tesislerde eklerin, klemenslerin veya kontak noktalarının aşırı ısınması ve arklar yangın tehlikesine sebep olur. Modern PVC izoleli kabloların, doğru seçilmiş ve düzgün yüklü olması halinde yangın tehlikesi beklenmemelidir. Kablolama sigorta veya aşırı akım devre kesicilerin kullanımı ile kısa devre veya sürekli aşırı akıma karşı korunmalıdır. Ayrıca, devrenin tasarım akımı tesisata ilavelerle aşılmamalıdır.

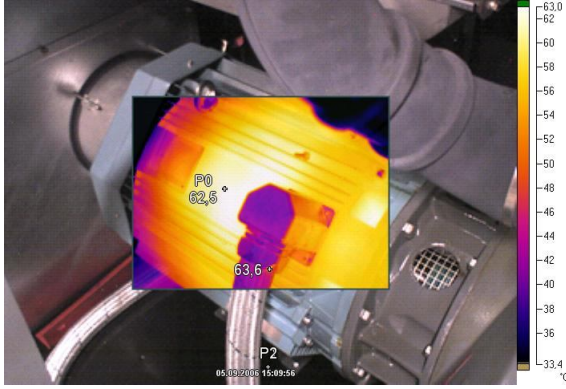


Şekil 5.2. Kablolama Tesisat ve Ekipmanlarındaki gevşekliklerin tespiti

Herhangi bir toprak teması olmadıkça gevşeyen eklerin veya şekil 5.2 gibi kontakların ısınmasını ve yangına dönüşmesini ne aşırı akım devre kesiciler ne de RCD'ler engel olabilir. Ortamdaki nem ve çevre kirliliği dağıtım panolarında, tesisat aksesuarlarında, anahtarlarda, prizlerde yüzey atlamalarına sebep olabilir. Tesisatta yoğuşma özellikle kiler gibi alanlarda meydana gelir. Etraftaki buhar, izolasyonu zayıflatarak yangın başlatacak bölgesel bir ısı artışına sebep olabilir. Oysa, AFCI dışında hiçbir koruma faz ve nötr arasındaki yüzeysel atlama ile oluşacak yangın başlangıcına engel olamaz. RCD'nin etkili olabilmesi için faz veya nötr iletkeni ile toprak arasına yüzeysel atlama yolu sağlamalıdır. Bunun için metal konduitler veya metal buatlar kullanılması, RCD'lerin aktive olması için gerekli toprak kaçak akımına yol sağlayacaktır. [4]

5.3. Motorlar

Motorlarda yangın başlamasının başlıca nedenleri; arklar, izolasyonun tutuşması veya motor yakındaki yanıcı maddenin motordan çıkan kıvılcımla tutuşmasıdır. Motordaki kısadevreler, sarım hataları, fırçaların yanlış montajı kıvılcıma neden olabilir. Yetersiz havalandırma ve frenleme aşırı ısınmaya sebep olabilir. Yataklarda yanlış yağlama aşırı ısınmaya sebep olabilir. Yataklamada bozulmalar rotorun stator üzerine sürmesine böylece aşırı aşınmaya ve ısınmaya sebep olur. Motorun soğutma deliklerinin toz, lif vb. malzemelerle tıkanması aşırı ısınmaya sebep olabilir. Motorlar motor sıkışma vb. zorlanmalardan kaynaklı şekil 5.3'deki gibi ısınmaları sınırlandırmak için ilave aşırı akım koruması kullanılabilir.

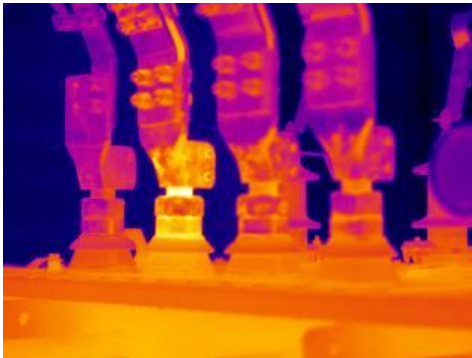


Şekil 5.3. Motorlardaki zorlanmaların tespiti. [Şekil;Netes]

RCD'ler toprak arıza akımları açısından ilave bir koruma sağlayabilir. Temel izolasyonda termal stres, mekanik stres veya yaşlanma sonunucu oluşan çatlaklar kanallarda biriken toz ile kontamine olduğunda, gövdeye atlama olabilir.

5.4. Transformatörler

Transformatör yangınlarının birincil nedeni iletkenlerin ve yalıtımın aşırı ısınmasıdır. Aşırı yük ve dengesiz şartlarında şekil 5.4'te görüldüğü gibi ısınmayı önlemek için aşırı sıcaklık durumunda kesiciye açma kumandası veren sistemler kullanılmaktadır. Transformatör tankı toprağa bağlı olduğundan, aşırı yük durumunda artık akım da artacağından, sıcaklık etkisinin sınırlandırılması için RCD kullanılabilir.



Şekil 5.4. Trafolardaki dengesizliklerin tespiti [Şekil;Netes]

5.5. Anahtar ve Röle kontakları

Anahtar, kontaktör veya rölelerin kontaklara basan yayların zayıflaması ile kontak arkı, elektro erozyon ile kaplamada aşınmaya sebep olabilir. Kontakların kirlenmesine bağlı hataları da oluşabilir. Kontak yüzeyinde toz birikimi, özellikle



Şekil 5.5. Anahtar ve rölelerdeki aşırı ısınmaların tespiti

karbon veya demir parçacıkları, yalıtım arızasına sebep olabilir. Kontak temas yüzeyleri azalan, kontaklar arasına iletken ya da yarı iletken malzeme birikmesi nedeniyle sık sık yüksek direnç irtibatları şekil 5.5'teki gibi lokal aşırı ısınmaya ve yangına neden olabilir. Bu arızalar aşırı akım veya RCD koruma cihazlar tarafından tespit edilemezler. Ancak yalıtımdaki kirlenmenin toprağa iletken bir yol sağlanması durumunda ilave bir koruma sağlayabilir.

5.6. İç Tesisat ve Bağlantıları

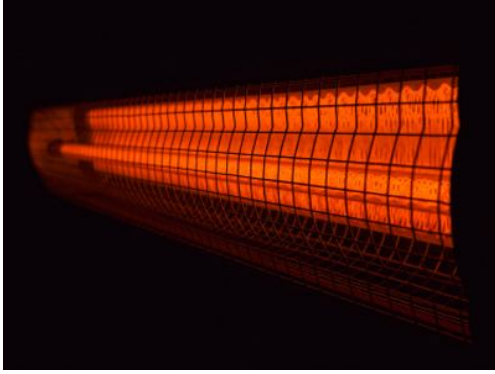
Elektrik tesisatı arızalarının iki türü vardır. Açıkdevre oluşturan iletken kopması hataları ve kısa devre arızalarıdır. Hata, hem açık devre hem de kısadevre durumunun kombinasyonu da olabilir. Kötü kablo ekleri veya izolasyon bozulması sonucu oluşan aşınma ile açıkdevre hatalarının RCD veya aşırı akım koruma cihazı ile tespit edilmesi olası değildir. Kısa devre arızası, potansiyel bir yangın tehlikesidir. Elektrik tesisatı arızaları anahtar veya koruma cihazı kontak bağlantıları, kontak teması bütünlüğü, titreşim, mekanik etkiler, çevre kirliliği ve kontak temasında zayıflama etkisi gibi faktörlere duyarlıdır. Koruma RCD tarafından desteklenebilir. AFCI ile güvenlik artırılabilir.

5.7. Su ısıtıcı cihazlar.

Su ısıtıcılar topraklı gövde içinde ise toprağa olan artıklar RCD'leri tetikleyeceğinden yalıtım arızası erken tespit edilebilir.

5.8. İnfrared ısıtma cihazları.

İnfrared ısıtma cihazları topraklı gövde içinde olduğundan toprağa olan kaçaklar RCD'leri tetikleyeceğinden yalıtım arızası erken tespit edilebilir. Ancak böyle bir yalıtım hatası olmamasına rağmen tamamen yerleşim hatası ile şekil 5.6'daki gibi infrared ısıtıcının hemen karşısında konumlanabilen yanıcı elyafli tekstil malzemelerinin tutuşması yangına sebep olabilir.

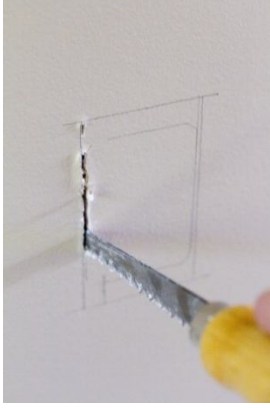


Şekil 5.6. İnfrared ısıtıcılar

5.9. Elektrikle yapılan çalışmalarda iş kazasının tipik riskleri

Kablolarla verilen mekanik hasar

Duvarlarda veya döşeme altında kalan kablo izolasyonunun çivi çakma, vidalama veya şekil 5.7'deki gibi kesme işlemi ile bozulması.



Şekil 5.7. Alçıpan duvar kesiminde tesisata verilebilecek zarar

Tavan veya duvarların nem alması sonucu içinden geçen tesisatın izolasyonunun bozulması sonucu artık yapması. Elektrikli kesme veya biçme makinesi gibi bir makinenin kendi kablosuna veya uzatma kablosuna zarar vermesi. Sıkışmış, kötü eklenmiş, izolasyonu bozulmuş uzatma kabloları veya bunların su birikintisi içinde olması. Kemiricilerin veya farelerin kablo izolasyonlarını kemirmesi sonucu canlı iletkenlerin ortaya çıkması durumlarında çarpılma veya yangın riski oluşur.(bkz. şekil 5.8)



Şekil 5.8. Farelerin kablo izolasyonlarına zararı

Banyo, duş veya mutfak gibi nemli yerler

Elektrik akımı için ıslak vücut, direnci düşük bir yol oluşturur. Bu yüzden elektrikle çalışan cihazların nemli yerlerde kullanılması risklidir. Banyo veya duş havzasının 3 m çevresinde tesisat yapılmamalıdır. Bununla birlikte kurutma makinesi, radyo, elektrikli ısıtıcı gibi portatif elektrikli aletlerinin uzatma kablolarının tehlikeli bölgede kullanılması kazalara yol açabilir.

Banyo ve Duş yerlerindeki Bölgelerin Sınıflandırılması; [39]

Bölgelerin kesin sınırları, duvarlar, sabit bölümler, tavanlar, zemin ve döşemeler hesaba katılarak saptanır.(bkz. şekil 5.9)

Bölge 0, Duş teknesinin veya banyo küvetinin içi'dir.

Teknesiz bir duş bulunan alanda, Bölge 0 zeminle ve zeminin 0,05 m. yukarısındaki düzlemlerle sınırlıdır.

Bu durumda;

- (i) Duş kafasının sökülebilir ve hareketli olduğu hallerde Bölge 0, duvardaki su çıkışından 1,2 m yatay bir yarıçapta düşey düzlemlerle sınırlandırılır, veya
- (ii) Duş kafasının sökülemez olduğu hallerde Bölge 0, duş kafasından 0,60 m uzaklıktaki bir yarıçapta düşey düzlemlerle sınırlandırılır.

Bölge 1 Sınırları,

- (i) Bölge 0'ın daha üst düzlemi ve zeminden 2,25 m yüksekteki yatay düzlem, ve
- (ii) (a) Duş teknesi veya banyo küvetini çevreleyen düşey düzlem(ler) ve duş teknesi veya banyo küvetinin altında bir aletin kullanımı olmadan erişilebilir bir boşluk veya
- (b) Hareketli bir duş kafası olan ve teknesi olmayan bir duş için, duvardaki su akışından 1,2 m yarıçapta düşey düzlem(ler) veya
- (c) Sökülmeyen bir duş kafası olan ve teknesi olmayan bir duş için, duş kafasından 0,60 m yarıçaptaki düzlem(ler)dir.

Bölge 2 sınırları

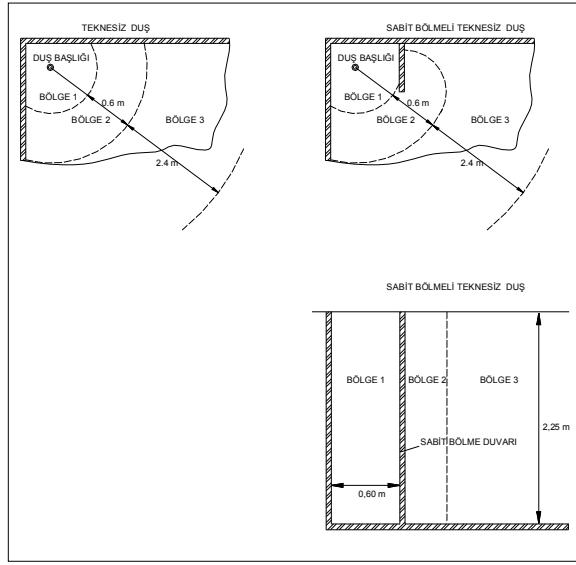
- (i) Bölge 1'in dışındaki düşey düzlem(ler) ve Bölge 1'in 0,60 m dışındaki paralel düşey düzlem(ler) ve
- (ii) Zemin ve zeminin 2,25 m yukarısındaki yatay düzlem dir.

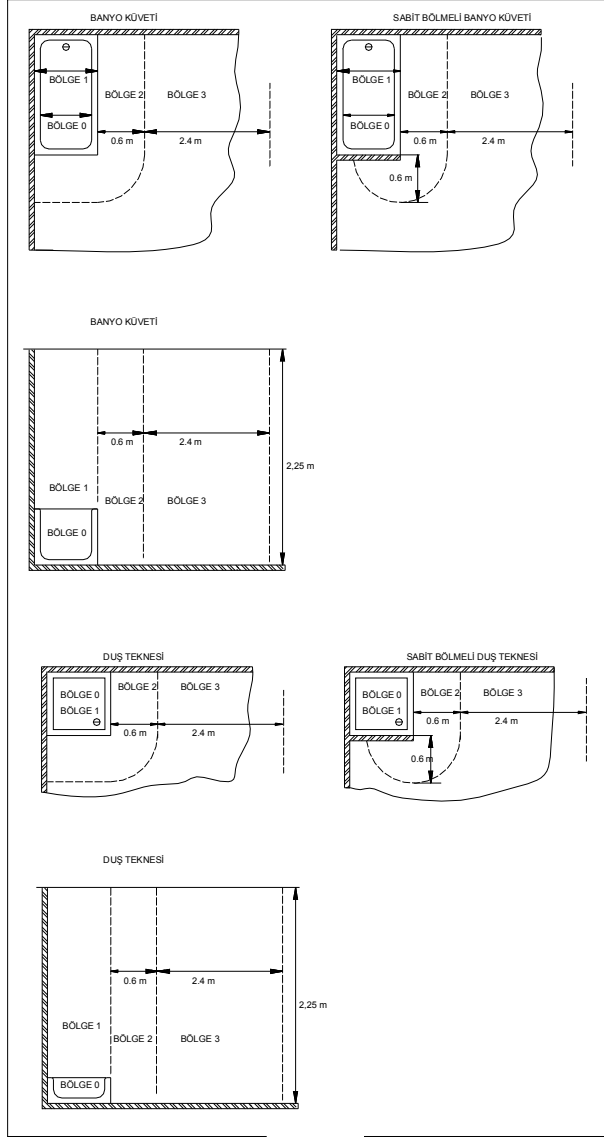
Ek olarak, tavan yüksekliğinin, zeminden 2,25 m aştığı yerlerde, Bölge 1'in üzerinde tavana kadar olan boşluk veya zeminden 3,00 m yukarısındaki bir yükseklikten hangisi düşükse bölge 2'ye dahildir.

Bölge 3 sınırları

- (i) Bölge 2'nin dışındaki düşey düzlem(ler) ve Bölge 2'nin 2,4 m dışındaki paralel düşey düzlem(ler) ve
- (ii) Zemin ve zeminin 2,25 m yukarısındaki yatay düzlemler.

Ek olarak, tavan yüksekliğinin, zeminden 2,25 m üstündeki yerlerde, Bölge 2'nin üzerinde tavana kadar olan boşluk veya zeminden 3,00 m yukarısında bir yükseklikten hangisi düşükse Bölge 3'e dahildir.





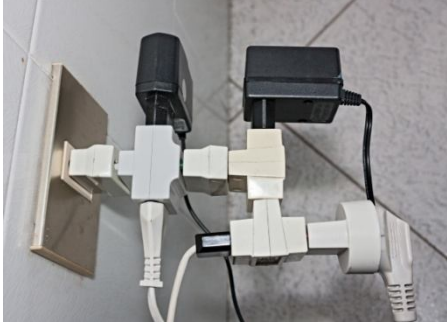
Şekil 5.9. Banyolarda tehlikeli bölge sınıflamaları [39]

Arızalı elektrik aletleri

Bir motordaki izolasyon hatası nedeniyle yakındaki toz gibi herhangi bir yanıcı malzeme, kontakla sonuçlanabilir. Normalde su içinde çalışan dalgıç pompa gibi motorların su geçirmez contası bozulduğunda suyla temas eden canlı bölümler kazalara yol açabilir. Bu yüzden su içinde çalışan ekipmanlar SELV olmalıdır.

Kötü kablolama

Yeni tesisatta yanlışlık olması düşük ihtimaldir. Eski tesisatlara bilinçsiz eklemeler yapılması tesisatı zorlayabilir. Bu zorlanmalar ekleri gevşetebilir ve yangına sebep olabilir.



Şekil 5.10. Çoklu prizlerin yanlış kullanımı, [Şekil;Home wizards]

Prize metal cisimlerin sokulması

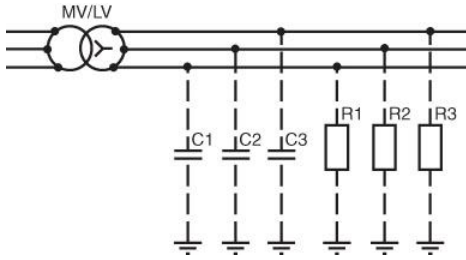
Prize çivi veya şiş gibi cisimleri sokması sonucu oluşan kazalar ölümlerle sonuçlanabilir. Böyle riskler taşıyan ev, kreş, okul gibi yerlerde doğrudan dokunmaya koruma önlemlerine ilave olarak 30 mA RCD kullanılmalıdır.



Şekil 5.11. Prize metal cisim sokulma riski, [Şekil;lafayette mrelectric]

6. NORMAL KAÇAK AKIMLARIN RCD SEÇİMİNE ETKİSİ

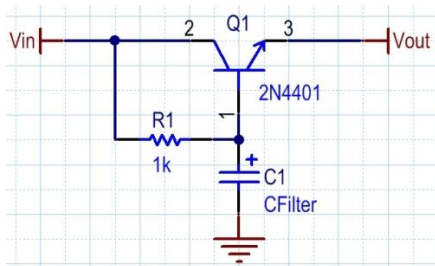
İç tesisatta kullanılan NYA tipi 1,5 ve 2,5 mm² düz termoplastik kabloların izolasyonlarının kapasitif etkisi sebebiyle yaklaşık 150 pF / m oluşur. Ortalama bir iç tesisatta 100 m 2,5 mm² ve 250 m 1,5 mm² kablo kullanılması durumunda 52,5 nF kadar kapasitif etki oluşacaktır. Bu durumda 11 µA / m toprak iletkeni akımı ya da (230 V, 50 Hz) tüm tesisat için yaklaşık 4 mA normal kaçak akım oluşturacaktır.



Şekil 6.1. Kapasitif akımlar

Mineral yalıtımlı kablolarda; bakır iç kısım, bakır bir kılıf içinde yer alan kompakt magnezyum oksit ile çerçevelenmektedir. [32] Dolayısıyla bu kabloları kapasitif etkisi daha yüksektir. Mineral yalıtımlı 2,5 mm² kablonun kapasitif etkisi yaklaşık 400 pF / m'dir. Ticari veya endüstriyel tesislerde kablo mesafesi 500 m'yi bulduğundan kapasitif etki 200 nF'ı bulabilir. Bu da 15 mA normal kaçak akım miktarını üretir.[4]

Kondansatörler yüksek frekanslı akımlara karşı düşük empedans göstereceğinden transient aşırı gerilimlerde RCD'lerin hatalı açma yapmasına sebep olurlar. Bu yüzden mineral yalıtımlı kabloların kullanıldığı yerlerde RCD'lerin parafudr'larla birlikte kullanılması gerekir.



Şekil 6.2. Filtre kondansatörü

Normal kaçak akımların oluşmasında diğer bir kaynak RFI radyo frekansı girişimi söndürmek için kullanılan şekil 6.2'deki gibi kondansatörlerdir. Bu kondansatörler faz nötr, faz toprak ve nötr toprak arasına bağlanmaktadır. Genel olarak bu kondansatörler normalde bir soruna neden olmaz. Ancak nötr ve toprak arasında geçici aşırı gerilim meydana gelirse hatalı açmaya sebep olabilir. Ayrıca, çift kutuplu nötr kesmeli şalterle anahtarlama hatalı açmaya sebep olabilir.

Bazı cihazların izin verilen normal kaçak akım miktarları:

- Isıtıcılar (örn. Rezistaslı ocak) ile sabit Sınıf 1 cihazlar için 5 mA,
- Ev aletleri ve motorlar için 3,5 mA,
- Ameliyat aletleri için 0.75 mA, [BS EN 60335-1-230V 50 Hz]
- Mikrodalga fırınlar için 1 mA [BS EN 60335-2-90]

Tek bir yüksek hassasiyetli RCD ile bütün dağıtım panosu korumak eski bir uygulama olup, pek çok durumda hatalı açmaya yol açabilir. Endüstriyel tesislerdeki endüktif yüklerin anahtarlama geçici aşırı gerilimlere sebep olabilir, uzun kablolar toprağa karşı kapasitif etkiyle çalıştığından bu yüksek frekanslı pikler RCD'lerin hatalı açmasına sebep olabilir. Örneğin floresan lamba gruplarını besleyen pano 30mA RCD ile korunursa manyetik(endüktif) balastlı floresanların anahtarlama sırasında oluşan aşırı gerilim iletkenlerin izolasyonlarının oluşturduğu kondansatörlerin toprağa daha küçük bir empedans göstermesine sebep olur. [4]

6.1. RCD'lerde Hatalı Açma

Tesislerde kullanılan hassasiyeti yüksek olan RCD'lerin sık sık hatalı açma yapmaları sebebiyle devreden çıkarılmakta böylece güvensiz tesisler ortaya çıkmaktadır. Hatalı açmaların sebepleri değerlendirilmeli ve minimize edilmelidir.

6.2. RCD'lerde Hatalı Açma tipik nedenleri:

RCD Şebeke tarafı

- Gevşek bağlantılar
- Şebeke kaynaklı kalitesizlik
- Diğer makine / tesisler
- Yıldırım

Yük tarafı

- Yanlış seçilmiş RCD
- Gevşek bağlantılar
- Yanlış uygulamalar
- Islak sıva / yoğunlaşma
- RCD'ler arasında selektivite
- Bölünmüş yükte ortak nötr
- N - PE hatası
- Yüksek normal toprak artık akımları
- Aşırı Gerilim Koruma Cihazları
- filtre devrelerini içeren çok fazla ürün
- mineral yalıtımlı kablolar aşırı uzunluğu
- Isıtma elemanları (örn. ocak)
- Sıva altı tesisata verilen zarar (çivi / resim kancası gibi)
- Nem girişi (beyaz eşya, prizler vb)

6.3. RCD’li tesislerde hatalı açma durumlarının değerlendirilmesi

Toprak arızalarının çoğunluğu taşınabilir cihazlar ve bunların esnek kablolarında meydana gelmektedir. Arızalı cihazın tespiti için fişlerin prizden çekilerek RCD’nin tekrar kurulması ile kolayca bulunabilir.

Sıva altı sabit tesisattaki arızalar, genellikle nötr ve toprak iletkenlerine denk gelen çivi veya vidalar, nötr ve toprak eklerinin yanlış yapılması ya da metal topraklı bir buat kutusuna nötr iletkeninin dokunması ile oluşabilir.

Kablo ya da ekipman toprak hatalarının tespiti için 500 V DC izolasyon testi en etkili yoldur. Bu test; gerilim altında olmayan bir test olup dağıtım panosundan enerji kesilir, tüm sigortaların devreleri açılır. Mümkün olan her yerde mevcut ekipmanların devresini kesmek ya da izole etmek de önemlidir. Bununla birlikte aydınlatma ekipmanlarını izole etmek pratik değildir. Toprak hatalarının incelenmesinde nötr’ler tamamen baradan ayarılır ve tek tek test edilir.

RCD açma eşiğinin altındaki normal koruma iletkeni iletken akımı ihmal edilebilir. Ancak normal koruma iletkeni akımı RCD’nin etkili açma akımı miktarından çalar ve hatalı açmaya yol açar. Örneğin, 30 mA RCD’nin 22 mA tipik bir açma akımı vardır. Devredeki normal koruma iletkeni akımı 10 mA ise RCD açması için sadece 12 mA bir toprak hatası akımı yetecektir. Bu tip hatalı açmaları önlemek için normal koruma iletkeni akımını ölçmek ve RCD seçimini buna uygun olarak yapmak gerekir.

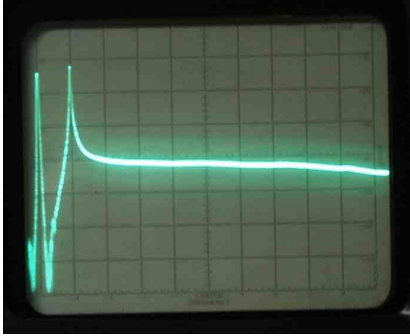
6.3.1. Şebeke kaynaklı geçici olaylar ve dalgalanmalar

Hatalı açmanın iki ana nedeni tespit edilmiştir:

- Tesisat içindeki fazlar arasındaki veya faz nötr arasındaki transient (geçici) darbe akımları.
- Besleme tarafında geçici aşırı gerilimlerin oluşması ve tesisatın toprağa karşı kapasitif etkisi.

6.3.2. Darbe akımları nedeniyle açma

Teorik olarak, manyetik (endüktif) bir cihazın fazlar arasında veya faz-nötr arasındaki artık akılarının RCD'yi açtırmaması gerekir ama pratikte şekil 6.3'deki gibi di/dt darbe akımları nedeniyle açma oluşur. Yük akımı yeterince büyükse, bu artık akılar RCD'yi açtıracak yeterli sekonder akımına neden olacaktır.



Şekil 6.3. Şebekedeki pikler

Örneğin TS EN 61008-1 9.18 bendinde nominal akımın altı katında oluşan 1 saniyelik dalgalanmaların RCCB'yi açtırmaması gerekir. TS EN 61009-1 uygun olarak, devre kesicilerin B, C ya da D tipi aşırı akım anlık aralığının 0.8 katı alt sınırında bir saniyelik dalgalanmaya maruz bırakıldığı zaman RCBO'nun açmaması gerekir. Tecrübeler, darbe akımı sebebiyle oluşan hatalı açmaların, en önemli hatalı açma tipi olmadığını göstermiştir.

6.3.3. Toprağa geçici aşırı gerilim ve kapasitif etki nedeniyle açma.

Geçici aşırı gerilim kaynakları yıldırımların yanı sıra her tür reaktörler, motorlar, transformatörler, güç faktörü düzeltme kondansatörleri'nin kontaktör ve devre kesici kontaklarındaki arklardır. Ayrıca yıldırımlar ile yüksek gerilim hatlarındaki geçici aşırı gerilimlerin bazıları transformatör üzerinden 230 V şebeke üzerinde de görülür. Hatalı RCD açmasına, birkaç km uzağa düşen yıldırım bile sebep olabilir. K.M. Ward 1979 tarihli yazısında Alçak gerilim dağıtım sistemleri 3.3 kV'a kadar geçici aşırı gerilimleri taşıyabileceğini belirtmiştir.

Basit eriyen telli değiştirilebilir sigortalar da geçici darbelere neden olabilir. H.W.Baxter'in 1950 tarihli yazısında yeterli indüktans verilen, 10 inç (bakır) sigorta telinde 6000 V gerilim oluşabileceğini belirtmiştir.

Deşarj lambaları geçici aşırı gerilimlerin önemli bir kaynağı olabilir. Deşarj lambalarında yüksek gerilim darbeleri deşarj başlatmak için özellikle üretilmektedir. Ayrıca deşarj lambalarındaki kontrol devrelerinin endüktif etkisini düzeltmek için kondansatör kullanılır. Bu kondansatörler, direkt olarak her lambanın besleme terminalleri üzerinden bağlanır. Deşarj lambaları ve kontrol devresi önemli miktarda üçüncü harmonik akımı (akım fazının yaklaşık %20'si) üretirler. Bu harmonik güç faktörü düzeltme kondansatörü ile azalmaz. Bunun bir sonucu olarak, üçüncü harmonik akımın güç faktörü, devredeki güç faktöründen daha yüksektir.

Deşarj lambası devreye alındığında, kondansatör şarjı sebebiyle birkaç mikrosaniye boyunca, birçok kez bir birkaç yüz amperlik dalgalanmaya sebep olur. Hiçbir güç faktörü düzeltme kondansatörü olmasa dahi başlangıç anında birkaç kV gerilim dalgalanmasına neden olacaktır. Bu durum hatalı RCD açmasına neden olabilir.

Deşarj lambalarının (örneğin yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların ve metal halide lambaların) bazı türleri deşarjı başlatmak için bir dizi yüksek gerilim darbeleri üreten dış ateşleyiciler kullanır. Bu darbeler, yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar için kısa süreli ama 3 kV - 4.5 kV arasında değişir. Metal halide lambalar doğrudan lambaya 7 saniye boyunca 10 ms aralıklarla 9 kV darbeler uygulayarak ateşlenir. Özellikle sokak aydınlatması kullanımında deşarj lambaları çok sayıda geçici aşırı gerilimlerin önemli bir kaynağıdır.

Yukarıda bahsedilenlerden yola çıkarak, besleme tarafındaki geçici aşırı gerilimler RCD'lerin istenmeyen açmalarına neden olabilir.

Transient olaylar üç olası şekilde ortaya çıkabilir:

- faz ile nötr arasında ve karşıt polaritelerden toprağa karşı.
- faz ile nötr arasında, ancak aynı polariteden toprağa karşı.

- Sadece fazdan veya sadece nötrden toprağa karşı.

Yapılan testlerde faz ve nötre bağlanan aşırı gerilim koruma cihazları ile hatalı açma miktarında bir azalma sağlanabilir. Transient bir aşırı gerilim sebebiyle oluşan RCD açması için aşağıdakilerden biri sebebiyle akım dengesizliği oluşmalıdır.

- Yalıtım arızası nedeniyle toprağa atlama,
- Yeterince yüksek frekansla toprağa karşı olan kapasitenin empedansının düşmesi sebebiyle artık akıma yol açılması.

6.3.4. Nötr kesmeli (Çift kutuplu) anahtarlama

RCD üzerinden beslenen bir devrede nötr kesmeli(çift kutuplu) bir anahtarın kapalı konuma getirilmesi ile RCD'nin açma yapması garip bir fenomendir. Tek kutuplu anahtarlama bu etkiyi yaratmaz. Sorunun çözülmesi için çift kutuplu anahtarın tek kutuplu anahtarla değiştirilmesi gerekir. Buradaki RCD açması toprak kaçağı sebebiyle nötr - toprak arasındaki potansiyelin sıfırlanması ile oluşur. Çift kutuplu açma sırasında anahtarın nötr kutbu açıldığında oluşan kapasitif etki voltajı arttıracak, ani olarak daha yüksek nötr toprak artık akımına neden olacaktır. Çift kutuplu kapamada (tek kutuplu kapama da olabilir) oluşan RCD açması pek muhtemel değildir.

6.3.5. Kablolar ve havai hatlar

Hatalı açma sorunu havai hatla beslenen yeraltı konsantrik kablo tesislerinde daha sık görülür. Bu durum iletkenin hem endüktif hem de kapasitif etkilerinin incelenmesi ile açıklanabilir.

- Zırlı olmayan bir kablonun kapasitif etkisi, eşdeğer bir havai hattın kapasitif etkisinden önemli ölçüde daha büyüktür.
- Şekil 6.4 gibi bir havai hattın endüktif etkisi, eşdeğer zırlı olmayan bir kablonun endüktif etkisinden önemli ölçüde daha büyüktür.

Tablo 6.1'deki mil başına endüktans ve kapasitans değerleri Electrical Engineer's Reference Book, Tablo II, sayfa 6-19; III ve IV, sayfa 6-7'den alınmıştır.

(1 mil=1,609 km)

	Havai hat	Kablo
Endüktans (mH/mil)	1,8-2,10,8	
Kapasitans (μ F/mil)	0,015	0,27-0,5

Tablo 6.1. Havai hat ve kablo endüktans ve kapasitansları



Şekil 6.4. Havai hat endüktans ve kapasitansı

Bir diğer önemli bir husus, genel olarak, kablonun karakteristik empedansının havai hat empedansından daha çok düşük olmasıdır. Havai hatta oluşan gerilim dalgalanması sadece küçük bir kısmı eşdeğer kesitli bir kabloya aktarılır. Bu yüzden havai hat şebekesinin sonuna kısa bir kablo hattı bağlanarak dalgalanma minimize edilir. Kablo hattı doğası gereği, geçici aşırı gerilimleri zayıflatır. Geçici aşırı gerilim kaynakları (örneğin transformatör postaları, sokak aydınlatmaları, kademe değiştiriciler vb.) arasındaki zayıflama miktarı, kablo uzunluğunun fonksiyonu olacaktır. Bir yeraltı kablosu doğası ve konumunun her ikisi tarafından, bu türde girişimlere karşı daha az duyarlı iken, bir havai hat radyo-frekans sinyalleri ve gürültü için iyi bir anten gibi davranır.

Hassas RCD'lerin transient gerilim dalgalanmaları sebebiyle hatalı açma yapma olasılığı çelik zırhlı kablolarda daha düşüktür. Düşük kapasitif etkisi nedeniyle havai hatlarla beslenen tesislerdeki hatalı RCD açmaları daha muhtemeldir. TN-CS sisteminde sık hatalı RCD açmalarının sebebi kullanılan kabloların çelik zırhlı olmamasıdır.

6.3.6. Toprak hatasında nötr

Hatalı açmalarda nötr üzerinden oluşan toprak arızaları önemli bir yer tutmaktadır. Nötr kaynaklı hatalı açmaların en önemli nedeni nötr üzerindeki gerilimdir. Nötr geriliminin artmasını önleyebilecek sistem TN-CS'dir. TN-CS sisteminde nötr ve toprak hatlarının birleşme noktasının topraklanması ile nötr gerilimi sınırlandırılabilir. TN-CS sistemi dışındaki bir sistemde tüm tüketici yüklerinde nötr potansiyelinin varlığı kaçınılmazdır. Bu nedenle, TN-CS sistemlerde RCD'ler yüksüz ya da küçük yük bağlı devrede nötrde oluşan toprak arızasını tespit edemez.

6.3.7. Çift topraklama

'Çift toprak' Amerikalılar tarafından vurgulanan bir fenomendir. Sık sık IEC komitelerde ele alınmaktadır. RCD tarafından korunan bir devrede aynı anda hem faz toprak hem de nötr toprak arızasının meydana gelmesidir.

Toprak hatalarının büyük empedansları mevcut değildir, bu nedenle toprak arıza akımları da sınırlıdır. Ancak toprak empedansının çok büyük olduğu yerlerde hem fazda hem de nötrde aynı anda oluşan bir hatada zıt yönlü akımlar birbirlerinin etkisini yok ederek RCD'yi açtırmayabilir. 'Çift toprak' pratikte nadiren görülür. TN-CS olmayan sistemlerde neredeyse hiç meydana gelmez. Yüksüz durumdaki TN-CS sistemlerinde bu tip arızalar nadir de olsa olabilir.

7. SAHA ÇALIŞMASI

Endüstriyel tesislerde doğrudan dokunmaya karşı koruma önlemi olarak yalıtım tedbirleri çoğunlukla yeterli olmaktadır. Dolaylı dokunmaya karşı korumada ise artık akım cihazlarının kullanılması korumanın etkinliğini arttırmaktadır. Bununla birlikte RCD'nin tesis edileceği yerdeki normal kaçak akım seviyesinin tespit edilmesi RCD'li devrenin işletme sürekliliği açısından gereklidir.

Saha çalışmasında; bir ilaç fabrikasında ve bir tekstil fabrikasında üretim makinalarının normal kaçak akımları ölçülmüş elektriksel güvenlik için RCD seçimine baz olacak ölçüm tabloları oluşturulmuştur.

7.1. Kullanılan ölçü aleti

Kaçak akım miktarı ölçümü yapabilen ölçü aletleri piyasada çok yaygın olmasa da yeterli hassasiyette ölçüm yeteneğine sahip olan birkaç marka vardır. Ölçümlerde şekil 7.1'deki ölçü aleti kullanılmıştır.



Şekil 7.1- Fluke 360 AC Kaçak akım pens ampermetre

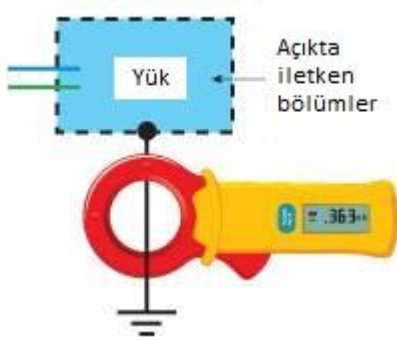
Ölçü aleti pens ampermetre şeklinde olup ölçüm çenelerinin oluşturduğu toroid içine alınan iletkenlerden akan akımın oluşturduğu manyetik alanın etkisi ile çalışmaktadır.

Ölçü aleti çeneleri içinden geçirilen iletkenlerin etraflarında akımın yönüne uygun manyetik akı oluşur. Oluşan giden ve dönen zıt yönlü manyetik akılar ölçü aleti çeneleri üzerinde elimine edilir. Elimine edilemeyen kısım yani devresini koruma iletkeni ve diğer kısımlardan tamamlayan kaçak akımların toplamı ölçü aletinin ekranından okunur.

Cihaz ölçüm sonucunu LCD dijital göstergesinde uygun birim ve yeterli hassasiyetle göstermektedir. Cihaz 0 °C ile 50 °C arası, ve %80 RH veya daha az nem oranında çalışabilmektedir. Harici manyetik alan etkisi %0,0005 kadardır. Devre voltajı 300V rms'den düşüktür. Güvenlik standartları EN 61010-1, EN 61010-2-032, 300 V CAT III şeklindedir. Cihaz besleme kaynağı olarak 1x3V düğme tip lityum pil kullanmaktadır. Pens çene çapı 40mm'dir.

7.2. Ölçüm yöntemi

Kaçak akımlar elektrikli ekipmanların gövdesinden toprağa doğru devresini tamamlayan akımlar olduğundan normal şartlarda toprak iletkeninden geçen akım, şekil 7.2'de olduğu gibi kaçak akıma eşit olmalıdır.



Şekil 7.2. Toprak akımı ölçümü yöntemi

Ancak ölçümü yapılan donanımın toprak iletkeni dışından da kaçakları olabilir. Örneğin beton zemine oturuyorsa, betonun iletkenliğinden dolayı buradan da kaçak yolu oluşabilir. Bu yüzden topraklama yada koruma iletkeni üzerinden yapılacak ölçüm yerine besleme tarafından yapılacak ölçüm daha sağlıklıdır.

7.2.1. Tek fazlı besleme hattı ölçümü

Tek fazlı ölçümde şekil 7.3'deki gibi faz ve nötr iletkenleri ölçüm çenelerinin oluşturduğu toroid içine alınır. Toprak hattı toroid içine alınmaz.



Şekil 7.3. Tek fazlı besleme için ölçüm yöntem

Giden ve dönen akımların farkı LCD göstergeden okunur. Bu fark akım devresini toprak üzerinden tamamlamaktadır.

7.2.2. Üç fazlı besleme hattı ölçümü

Üç fazlı motor gibi nötr bulunmayan donanımların ölçümünde şekil 7.4'de olduğu gibi üç faz iletkeni ölçüm çenelerinin oluşturduğu toroid içine alınır. Toprak hattı toroid içine alınmaz.



Şekil 7.4. Üç fazlı besleme için ölçüm yöntemi

Üç faz ve nötr beslemesi bulunan yerlerde ise üç faz iletkeni ile nötr iletkeni beraberce ölçüm çenelerinin oluşturduğu toroid içine alınır. Toprak hattı toroid içine alınmaz. Devresini toroid dışından tamamlayan akımlar kaçak akımlardır.

7.3. Endüstriyel tesislerde yapılan örnek ölçümler

7.3.1. xyz ilaç sanayi a.ş. cam ampul üretim bölümü

	MAKİNA	Devre kesici anma akımı In	Besleme kablosu kesiti q	Ölçülen faz akımı Ib	Ölçülen kaçak akım Id
		A	mm ²	A	mA
1	MM8 Ampul Makinası	80	25	26,65	1370
2	MM9 Ampul Makinası	80	25	27,64	121
3	MM10 Ampul Makinası	80	25	25,05	3231
4	MM11 Ampul Makinası	80	25	27,68	132
5	MM12 Ampul Makinası	80	25	26,35	1652
6	MM13 Ampul Makinası	80	25	26,62	3653
7	MM14 Ampul Makinası	80	25	16,25	1658
8	MM15 Ampul Makinası	80	25	21,08	1202
9	MM16 Ampul Makinası	80	25	26,14	3372
10	MM17 Ampul Makinası	80	25	25,71	242
11	MM18 Ampul Makinası	80	25	10,84	91
12	MM19 Ampul Makinası	80	25	11,39	123
13	MM20 Ampul Makinası	80	25	27,18	73
14	ABG2 Euromatik Flakon Makinsı	80	25	32,41	654
15	ABG3 Euromatik Flakon Makinsı	80	25	3,691	171
16	ABG3 Euromatik Flakon Makinsı Fırını	125	35	56,52	2332
17	KS1 (MCC1) Klima Santrali	125	35	59,62	234

Tablo 7.1. İlaç fabrikası ölçüm sonuçları tablosu

Yapılan ölçümlerde örneğin 6 no'lu MM23 ampul makinasının normal kaçak akım miktarı 3,6 A civarındadır. Bu donanım için seçilecek 5 A açma eşiğine sahip olan RCD ve 50 V dokunma gerilimini sağlayan topraklama direnci dolaylı dokunmaya karşı korumayı sağlayacaktır.

7.3.2. xyz iplik ve kumaş sanayi a.ş. penye üretim bölümü

	MAKİNA	Devre kesici anma akımı	Besleme kablosu kesiti	Ölçülen faz akımı	Ölçülen kaçak akım
		In A	q mm ²	Ib A	Id mA
1	Filtre Toz Odası Panosu	25	6	5,612	163
2	Üretim Bölümü 3 Nolu Penye Makinası	25	6	6,292	92
3	Üretim Bölümü 2 Nolu Penye Makinası	25	6	0,277	71
4	Üretim Bölümü Robolap Makinası	16	4	5,542	7
5	Üretim Bölümü 9 Nolu Penye Makinası	20	4	0,742	121
6	Üretim Bölümü 8 Nolu Penye Makinası	20	4	5,421	62
7	Üretim Bölümü 7 Nolu Penye Makinası	20	4	5,482	141
8	Üretim Bölümü 6 Nolu Penye Makinası	20	4	5,521	152
9	Üretim Bölümü 5 Nolu Penye Makinası	20	4	0,231	71
10	Üretim Bölümü 4 Nolu Penye Makinası	20	4	7,521	63
11	Üretim Bölümü 2. Pasaj 4. Cer Makinası	40	10	0,321	72
12	Üretim Bölümü 1. Pasaj 2. Cer Makinası	40	10	0,352	61
13	Üretim Bölümü 2. Pasaj 2. Cer Makinası	40	10	0,466	62
14	Üretim Bölümü 2. Pasaj 1. Cer Makinası	25	4	0,065	3
15	Üretim Bölümü 1 Nolu Penye Makinası	25	4	5,952	92
16	Üretim Bölümü 1. Pasaj 6. Cer Makinası	32	6	7,693	61
17	Üretim Bölümü 1. Pasaj 4. Cer Makinası	32	6	9,862	71
18	Üretim Bölümü 2. Pasaj 3. Cer Makinası	40	10	6,361	62

Tablo 7.2. Tekstil fabrikası ölçüm sonuçları tablosu

Yapılan ölçümlerde örneğin 8 no'lu penye makinasının normal kaçak akım miktarı 0,15 A civarındadır. Bu donanım için seçilecek 0,3 A açma eşiğine sahip olan RCD ve 50 V dokunma gerilimini sağlayan topraklama direnci dolaylı dokunmaya karşı korumayı sağlayacaktır.

8. SONUÇ

Bu çalışmada, endüstriyel tesislerde elektrikli ekipmanlardan kaynaklanan elektrik çarpması veya yangın şeklinde olaşabilecek iş kazası riskinin azaltılmasında artık akım cihazlarının etkinliğı incelenmiştir.

Genel olarak elektrikli ekipmanların koruma iletkenlerinde bir miktar kapasitif kaçak akımın oluşması kaçınılmazdır. Standartlar koruma iletkeni akımları için bazı sınırlamalar getirmektedir. Ayrıca kabloların kapasitif etkisi önemli bir kaçak akım nedeni olup RFI bastırma bileşenlerinin etkisi ile de birleşince kaçak akımların miktarı önemli seviyelere ulaşabilmektedir. RCD seçiminde normal kaçak akımların etkisi göz önünde tutulmalıdır.

Özellikle topraklı son tüketicilerde hata oluşması durumunda çarpma riskine karşı kullanılan artık akım cihazının açma eşiğı; topraklama direncine bağı 50 V temas gerilimini sağlayacak eşik değer olması gerekir. Dolaylı dokunmaya karşı korumada temas geriliminin aşırı düşürülmesi, normal kaçak akımların neden olduğı hatalı açmalar sebebiyle işletme sürekliliğinin sağlanmasını zorlaştırmaktadır. Yapılan saha çalışmalarıda tesislerdeki normal kaçak akım miktarının belirlenmesinin koruma cihazı seçimine etkisi incelenmiştir.

Endüstriyel tesislerde dağıtım noktalarındaki normal kaçak akımların fazlalığı sebebiyle doğrudan dokunmaya karşı koruma önlemi olarak vücut üzerinden geçebilecek hata akımının çarpma akımından daha düşük bir değer ile sınırlandırılması yöntemi yerine, akımın insan vücudu üzerinden geçmesinin engellenmesi yönteminin uygulanması daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Normal kaçak akım miktarının çok düşük olduğı yerlerde vücut üzerinden geçebilecek hata akımının, çarpma akımından daha düşük bir değer ile sınırlandırılması yöntemi, yalıtım tedbirlerine ek olarak kullanılabilir.

Endüstriyel tesislerde artık akım cihazları, aşırı akım cihazları ile birlikte elektrikli ekipmanların sebep olacağı yangın riskini azaltıcı bir rol olmasına rağmen, gövde kaçığına dönüşmeyen kısa devrelerde etkisizdir.

KAYNAKLAR

- [1]-Alican,İ.(2012),“Vücut kompozisyonu”,Yeni Yüzyıl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Estitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı Ders Notu.
- [2]-Arı, S.(2009),”Elektrik Çarpması”, Bursa Sağlık Müdürlüğü Yayını.
- [3]-Bayram, M. ve İlisu, İ., (2004), “Elektrik Tesislerinde Güvenlik ve Topraklama”, Elektrik Mühendisleri Odası Yayını, No: BT/2004/1
- [4]-Beama, (2010),”The RCD Handbook, Guide to the Selection and Application of Residual Current Devices”, The RCD handbook.
- [5]-Calvas, R. and Lacroix, B., (2004), “System earthings in LV, Schenider Electric, Cahier technique no:172”, Schneider Electric.
- [6]-Coles, M. (2005),”Inspection And Testing Of Electrical Installations Residual Current Devices”, IEE Wiring Matters.
- [7]-Çetinkale, Oğuz (2010),“Elektrik Yanıkları Çarpmaları”,www.oguzcetinkale.com
- [8]-Çobanoğlu, F. (2007) “Hastane aydınlatması ve elektriki güvenliğinin İncelenmesi”, Yıldız Teknik Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans tezi.
- [9]-Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği, (2001) 21.08.2001 tarih ve 24500 sayılı Resmi Gazete.
- [10]-Encyclopaedia Britannica, (2006),”Burn”.
- [11]-IEC 60073 (1996-10) Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification - Coding principles for indication devices and actuators.
- [12]-IEC 60364-5-54 (1980-01) Electrical installations of buildings. Part 5: Selection and erection of electrical equipment. Chapter 54: Earthing arrangements and protective conductors.
- [13]-IEC 60445 (1999-10) Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification - Identification of equipment terminals and of termination of certain designated conductors, including general rules for an alphanumeric system.

- [14]-IEC 60446 (1999-02) Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification - Identification of conductors by colours or numerals.
- [15]-IEC 60447 (1993-04) Man-machine-interface (MMI) -Actuating principles.
- [16]-IEC 60449 (1973-01) Voltage bands for electrical installations of buildings.
- [17]-IEC/TR2 60479-1 (1994-09) Effects of current on human beings and livestock - Part 1: General aspects.
- [18]-IEC/TR 60479-2 (1987-03) Effects of current passing through the human body. Part 2: Special aspects -Chapter 4: Effects of alternating current with Frequencies above 100 Hz - Chapter 5: Effects of special waveforms of current - Chapter 6: Effects of unidirectional single impulse currents of short duration.
- [19]-IEC/TS 60479-3 (1998-09) Effects of current on human beings and livestock - Part 3:Effects of currents passing through the body of live stock.
- [20]-IEC 60529 (2001-02) Consolidated Edition Degrees of protection provided by enclosures (IP Code).
- [21]-IEC 60664-1 (2000-04) Consolidated Edition Insulation coordination for equipment within low-voltage systems - Part 1: Principles, requirements and tests.
- [22]-IEC/TR3 60664-2-1 (1997-11) Insulation coordination for equipment within low-voltage systems - Part 2-1: Application guide - Dimensioning procedure worksheets and dimensioning examples.
- [23]-IEC 60664-3 (1992-10) Insulation coordination for equipment within low-voltage systems - Part 3: Use of coatings to achieve insulation coordination of printed board assemblies.
- [24]-IEC/TR3 60664-4 (1997-09) Insulation coordination for equipment within low-voltage systems - Part 4: Consideration of high-frequency voltage stress
- [25]-IEC 60757 (1983-01) Code for designation of colours.
- [26]-IEC 60990 (1999-08) Methods of measurement of touch current and protective conductor current.
- [27]-IEC 61032 (1997-12) Protection of persons and equipment by enclosures Probes for verification.

- [28]-IEC 61140 (2001-10) Protection against electric shock - Common aspects for installation and equipment..
- [29]-IEC 61293 (1994-06) "Marking of electrical equipment with ratings related to electrical supply -Safety requirements."
- [30]-İlisu, İ., (2005), "Elektrik Tesislerinde Dolaylı Dokunmaya Karşı Koruma ve Topraklama", Elektrik Mühendisleri Odası Yayını, No:EG/2005/1
- [31]-İlhami, Ç., (2004), "Temel Elektrik Kullanım El Kitabı", İstanbul Ticaret Odası Yayını, No:2004-30.
- [32]-Kılıç, A., "Kabloların Yangına Dayanımı ve sınıflandırılması", Tüm İtfaiyeciler Birliği Derneği Yayını.
- [33]-Sabuncu, H. (2011), "İş sağlığı ve güvenliği tehlike değerlendirme kriterleri- Tehlike sempozyumu", Yeni Yüzyıl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı Ders Notu."
- [34]-TS EN 61008-1, (2013), "Artık akımla çalışan devre kesiciler - Ayrılmaz bir bütün hâlinde aşırı akım koruması bulunmayan- Ev ve benzeri yerlerde kullanılan (rccb) - Bölüm 1: Genel kurallar"
- [35]-TS EN 61008-2-1/A11/AC, (2012), "Artık akımla çalışan devre kesiciler- Ayrılmaz bir bütün halinde aşırı akım koruması bulunmayan-Evlerde ve benzeri yerlerde kullanılan (rccb) bölüm 2.1:Genel kuralların fonksiyon olarak hat geriliminden bağımsız rccb'lere uygulanabilirliği"
- [36]-TS EN 61543/A2,(2012),"Elektromanyetik uyumluluk - Artık akımla çalışan koruyucu düzenler (rcd) - Evlerde ve benzeri yerlerde kullanılan"
- [37]-TS HD 60364-1, (2010), "Alçak gerilim elektrik tesisleri - Bölüm 1: Ana prensipler, genel karakteristiklerin değerlendirilmesi ve tarifler"
- [38]-TS HD 60364-6, (2010), "Alçak gerilim elektrik tesisleri - Bölüm 6: Doğrulama"
- [39]-TS HD 60364-7-701, (2007), "Binalarda elektrik tesisatı - Bölüm 7: Özel tesisat veya mahaller için kurallar kısım 701: Banyo küveti veya duş teknesi bulunan mahaller"