



**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
ADLİ TIP ANABİLİM DALI**

ANTALYA'DA 2006-2015 YILLARI ARASINDA ELEKTRİK ÇARPMASI SONRASI MEYDANA GELEN ÖLÜMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

UZMANLIK TEZİ

Dr. Fettah Zeki KESKİNER

Antalya, 2017



**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
ADLİ TIP ANABİLİM DALI**

ANTALYA'DA 2006-2015 YILLARI ARASINDA ELEKTRİK ÇARPMASI SONRASI MEYDANA GELEN ÖLÜMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

UZMANLIK TEZİ

Dr. Fettah Zeki KESKİNER

Antalya, 2017



**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
ADLİ TIP ANABİLİM DALI**

ANTALYA’DA 2006-2015 YILLARI ARASINDA ELEKTRİK ÇARPMASI SONRASI MEYDANA GELEN ÖLÜMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

UZMANLIK TEZİ

Dr. Fettah Zeki KESKİNER

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. Mehmet ATILGAN

“Kaynak gösterilerek tezimden yararlanılabilir ”

Antalya, 2017

TEŞEKKÜR

Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi Adli Tıp Anabilim Dalındaki eğitimim süresince çok şey öğrendiğim ve tez sırasında değerli yardımlarını aldığım tez danışmanım Sayın Yrd.Doç.Dr. Mehmet ATILGAN hocama, yine eğitimim sırasında bana desteklerini esirgemeyerek birikimlerinden yararlanmama fırsat sağlayan Sayın Prof.Dr. Sema DEMİRÇİN, Sayın Yrd.Doç.Dr. Y. Mustafa KARAGÖZ hocalarıma, çalıştığım süre içerisinde bilimsel ve sosyal anlamda çok şey paylaştığım asistan arkadaşlarıma, birlikte çalışmaktan mutlu olduğum Adli Tıp Anabilim Dalı ve Adli Tıp Kurumu çalışanlarına, beni hekimlik mesleğine yönlendiren babam Kurtuluş KESKİNER'e, bugünlere gelmemde büyük emeği olan annem Ayşe KESKİNER ve kız kardeşim H. Sende KIRATLI'ya, hayatıma girdiğinden beri desteğini benden esirgemeyen ve yaşamı anlamlı kılan eşim Gülcan KESKİNER ve kızım Alya KESKİNER'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
Simgeler ve Kısaltmalar	v
Şekiller Dizini	vi
Çizelgeler Dizini	viii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Elektriğin Tarihçesi	3
2.2. Tanımlar	6
2.3. Elektrik Çarpması	9
2.3.1. Elektrik Çarpmasında Hasarı Etkileyen Faktörler	11
2.3.1.1. Elektrik Devresinin Tamamlanıp Tamamlanmadığı	11
2.3.1.2. Akımın Gerilimi (Voltaj, Volt, V)	12
2.3.1.3. Akımın Cinsi (DC, AC)	14
2.3.1.4. Akım Şiddeti (Amper, I)	15
2.3.1.5. Vücut Dokularının Direnci (Ohm, R)	18
2.3.1.6. Akımın Vücutta İzlediği Yol	20
2.3.1.7. Temas Süresi (T)	22
2.3.2. Elektrik Akımının Vücuttaki Etkileri	23
2.3.2.1. Deri	23
2.3.2.1.1. Elektrik Akımına Bağlı Deri Lezyonlarının Mekanizması	29
2.3.2.1.2. Elektrik Akımına Bağlı Deri Lezyonlarında Histopatolojik Bulgular	33
2.3.2.2. Kas Dokusu	43
2.3.2.3. Kemik ve Eklemler	44
2.3.2.4. Kardiyovasküler Sistem	45
2.3.2.5. Kalp	45

2.3.2.6. Solunum Sistemi	47
2.3.2.7. Batın İçi Organlar	48
2.3.2.8. Sinir Sistemi	49
2.3.2.9. Ağız	51
2.3.2.10. Kulak	51
2.3.2.11. Göz	51
2.3.3. Elektrik arpmalarında Ölüm Mekanizması	52
2.3.4. Elektrik Akımına Bağlı Ölümlerde Orjin	55
2.3.4.1. Kaza	55
2.3.4.2. İntihar	56
2.3.4.3. Cinayet	57
2.3.4.4. Elektrik ile idam	58
2.3.4.5. İatrojenik	58
2.3.5. Elektrik arpmalarında Olay Yeri İnceleme	58
2.3.6. Otopsi Bulguları	61
2.3.7. Elektrik arpmalarının Adli Tıp Açısından Önemi	63
2.4. Yıldırım arpması	64
3. GEREÇ VE YÖNTEMLER	70
4. BULGULAR	71
5. TARTIŞMA	90
6. SONUÇ	103
7. ÖZET	105
8. ABSTRACT	108
9. KAYNAKLAR	111

SİMGELER VE KISALTMALAR

Ω	Ohm
A	Amper
AC	Alternatif akım
CIA	Bilgisayarlı görüntü analizi
DC	Doğru akım
EM	Elektron mikroskobu
Hz	Hertz
I	Akım
J	Joule
kW	Kilowatt
mA	Miliamper
MI	Myokart enfarktüsü
msn	Milisaniye
mV	Milivolt
P	Güç
R	Direnç
SEM-EDS	Enerji Dağılımlı Spektrometrelili Taramalı Elektron Mikroskobu
T	Süre
V	Volt
W	Watt

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>		<u>Sayfa</u>
2.1.	Elektrik akımının giriş ve çıkış noktaları arasında kat ettiği yol	21
2.2.	Merkezi çökük, çevresi gri-beyaz renkte halka şeklinde kabarık elektrik temas lezyonu	26
2.3.	Ortasında elektrik akımının ısı etkisiyle oluşmuş yanık alanı, etrafında soluk bir halka ve bunun dışında da hiperemik alan bulunan temas lezyonu	27
2.4.	Ark yanığı	28
2.5.	Resmin üst kısmında elektrik lezyonu, alt kısmında çevre deri ve aradaki keskin sınır (Hex100)	34
2.6.	Elektrik lezyonunda subepidermal alanda (epidermis-dermis arasında) ayrışma (Hex200)	35
2.7.	Elektrik lezyonunda epidermal hücre çekirdeklerinde incelme, uzama, paralel demetler halinde dizilme (Hex200)	35
2.8.	Epidermis-dermis arasında ayrışma, dermisde homojenizasyon (Hex200)	36
2.9.	Lichtenberg Figürleri	68
4.1.	Olguların cinsiyete göre dağılımı	72
4.2.	Elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölüm olgularının yaş grubu ve cinsiyete göre dağılımları	73
4.3.	Elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölümlerin mevsimlere göre dağılımı	74
4.4.	Elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölümlerin aylara göre dağılımı	74
4.5.	Elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölümlerin olay yerlerine göre dağılımları	75

4.6.	Elektrik arpması sonucu meydana gelen ölümlerin orjine göre dağılımı	77
4.7.	Elektrik arpması sonucu meydana gelen ölüm olgularının meslek dağılımları	79
4.8.	Olguların maruz kaldıkları voltaja göre dağılımı	80
4.9.	Olgularda saptanan elektrik akımı lezyonu sayıları	81
4.10.	Olgulardaki lezyonların vücut bölgelerinde görülme sıklığı	83



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. 60 Hz’lik alternatif akımın insan üzerindeki etkileri	17
4.1. Ölümünün otopsinin yapıldığı yıllara göre dağılımları	71
4.2. Yaş gruplarına göre olguların dağılımı	73
4.3. Elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölüm olgularının cinsiyete göre olay yeri dağılımları	76
4.4. Elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölüm olgularının cinsiyete göre orjin dağılımları	78
4.5. Maruz kalınan voltaja göre lezyon sayıları	82
4.6. Elektrik akımı lezyonlarının vücuttaki dağılımları	84
4.7. Elektrik akımının voltajına göre oluşan lezyon tipi	85
4.8. Olgulardaki elektrik çarpmasına bağlı ölüm mekanizmaları	86
4.9. Olgularda saptanan nonspesifik otopsi bulguları	87
4.10. Olgulardaki kan etil alkol düzeyleri	88

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Elektrik akımı; yüklü partiküllerin yüksek basınçlı pozitif kutuptan alçak basınçlı negatif kutuba hareketi olarak tanımlanmaktadır. Elektrik çarpması ise bir elektrik kaynağı ile temas sonucu elektrik akımının vücuttan geçmesi ile meydana gelen yaralanma veya ölümü tanımlamaktadır (1).

Elektrik enerjisi 19. yüzyılın ortalarından itibaren hızla artan bir oranda kullanılmaktadır. Buna bağlı olarak endüstrileşme ve evlerde elektrik enerjisinin kullanımı sonucu elektrik akımı ile meydana gelen kazalar da görülmeye başlamıştır. Elektrik akımına bağlı ilk ölüm 1879 yılında Fransa'nın Lyon kentinde bildirilmiştir (2).

Günlük yaşantımızın konforunu sağlayan, çağımızın tüm gelişmelerinin belki de ilk hareket noktası olan elektrik, bilgisizce ve gerekli önlemler alınmadan kullanıldığında ölümle sonuçlanan olaylara yol açmaktadır. İlk ve orta öğrenimde alınan genel bilgilere rağmen elektrikle meydana gelen kazaların çoğunda; kişiler öngörülebilir ve önlenabilir nitelikteki sorunlar nedeni ile ölmektedirler. Hatta bu olayların bazıları bu konuda özel eğitim almış ya da yıllarca deneyim kazanmış mesleği nedeni ile elektrikle uğraşanların bu önlemleri almaması sonucu ortaya çıkan ölümlerdir (3).

Gelişmiş ülkelerde elektrik yaygın kullanılmasına rağmen, güvenliği sağlamak için düzenlenmiş kapsamlı mevzuatlarla ilişkili olarak elektrik çarpmasına bağlı ölüm beklendiği gibi yaygın değildir. Öte yandan elektrik çarpması; uzun dönemde sosyoekonomik etkileri, gelişen komplikasyonlar, yüksek mortalite ve morbidite oranlarıyla gelişmekte olan ülkelerde halen önemli bir sorundur (4).

Amerika Birleşik Devletleri'nde hafif elektrik çarpmalarının sayısı bilinmemekle birlikte her yıl 17 bin kadar hasta elektrik çarpmasına bağlı acil servislere başvurmaktadır (5, 6). Yine ABD'de yanık ünitelerine kabul edilen tüm vakaların %4-7'sinin elektrik çarpması sonucu yaralanmalar olduğu rapor edilmiştir (4, 7). Kanada'da yıllık elektrik çarpmasına bağlı yaralanma insidansı

100.000 popölasyonda 0,24 iken (8); Bangladeş'te çocukluk çağındaki ölümcül olmayan elektrik çarpması ortalama insidansının yılda 100.000 popölasyonda 53,2 olduğı bildirilmiştir (9). Yapılan çalışmalar ve çeşitli göstergeler; Türkiye'de ve bazı gelişmekte olan ölkelerde elektrik çarpmasına bağılı ölüm oranlarının göz ardı edilemeyecek düzeyde yüksek olduğunu göstermiştir (4).

Elektrik akımına bağılı yaralanmalar ve ölümler adli olgu niteliğı taşımaktadır (10). Elektrik akımına bağılı yaralanmaların büyük çoğunluğunu evlerde ve işyerlerinde meydana gelen kazalar oluşturmaktadır. Bu yaralanmalarda gerçek tanının konulabilmesi, ölümün ana nedeni ve şeklinin belirlenmesi; başka kişilerin de yaralanmaması, koruyucu önlemlerin alınması, ceza ve tazminat davaları açısından önemlidir. Böyle bir olguda tanının konulması işyerlerinde, hastanelerde ve evlerde ek güvenlik önlemlerinin alınmasının birinci basamağını oluşturmaktadır (2). Nadiren de olsa elektrik akımı, intihar ve cinayet amaçlı kullanılmaktadır. Bu tür olgularda olayın aydınlatılabilmesi için otopsinin yanı sıra ayrıntılı olay yeri incelemesi gerekmektedir (11).

Bu çalışmada 2006-2015 yılları arasındaki 10 yıllık dönemde Antalya'da otopsisı yapılan elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölümlerle ilgili veri elde etmek, daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırmak, adli tıp uzmanları açısından üzerinde durulması gereken noktalara dikkat çekmek, elektrik çarpmalarından korunma yolları ve bu konuda ne türlü kanuni ve toplumsal düzenlemeler yapılabileceğine dikkat çekmek amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Elektriğin Tarihçesi

Antik Yunancada kehribar anlamına gelen elektron sözcüğü, Yeni Latince'de kehribar gücü anlamına gelen *electric* kelimesi olarak kullanım alanı bulmuştur. Daha sonra William Gilbert (1544-1603) tarafından kullanılan ve kehribar gibi anlamına gelen *electricus* kelimesi, Sir Thomas Browne (1605-1682) adlı İngiliz yazar tarafından 1646 yılında yayımlanan *Pseudodoxia Epidemica* adlı eserinde ilk defa elektrik şeklinde kullanılmıştır. Sırayla İngilizce ve Fransızca'ya geçen kelime dilimize de elektrik olarak kazandırıldı. Elektrik sözcüğü, hemen hemen tüm dünya dillerine aynı şekilde girmiş ve evrensel özellik kazanmıştır (12, 13).

İnsanoğlunun elektrikle tanışması M.Ö. VI. yüzyılda Yunanlı bilgin Thales'in kumaş parçasına sürtülen ebonitin saman parçacıklarını çektiğini gözlemesi ile olmuştur. On altıncı yüzyılda Colchester'li William Colbert'in çalışmalarıyla modern dönemdeki elektrik araştırmalarının başladığı kabul edilir. Diğer bir araştırmacı olan Gilbert, sürtünmeden sonra kehribar dışında cam, kükürt, kırmızı balmumu gibi birçok maddenin elektriksel özellik kazandığını, elektriksel kuvvetlerin çok çeşitli maddeler üzerine etki yaptığını bulmuştur (14, 15).

Stephen Gray (1666-1736) iletken ve yalıtkan cisimleri birbirinden ayırt etmiş ve elektriğin bir tel yardımıyla istenilen uzaklığa taşınabileceğini ispatlamıştır. Hollandalı fizikçi Pieter van Musschenbroek (1700–1748) tarafından 1745 yılında elektriğin bir şişenin içerisine hapsedebileceği düşüncesiyle ilk ilkel kondansatör olan Leyden şişesi veya diğer adıyla Leyden kavanozu bulunmuştur. Şişe ismini bu bilim adamının yaşadığı şehir olan Leyden şehrinden almıştır. Yalıtkan ipekten iplerle asılmış, içi su dolu ve tıpasının içinden suya daldırılmış pirinç bir tel geçen, dışı ve içi metal folyo kaplı cam bir kavanoz ile deney yapan Musschenbroek, suda oluşan elektrik yükünün, asistanı rastlantı sonucu tele dokununcaya kadar farkına varmamıştır. Uzun bir süre elektrik biriktirmiş olan kabın aniden elektrik yükünü boşaltması, asistanın şok geçirmesine neden

olmuştur. Bu olay, bilinen ilk yapay yüksek gerilim elektrik çarpmasıdır. Leyden kabının elektrik depolayabiliyor olması, elektrikle ilgili pek çok diğer çalışmaların da önünü açmıştır. Uzunca bir telin ucuna bir uçurtma bağlayıp ortasına Leyden Şişesi'ni yerleştiren ve yağışlı bir havada yıldırımın Leyden Şişesi'ne hapsedmeyi düşünen Benjamin Franklin (1706-1790), bu deneyiyle bazı sonuçlara ulaşmıştır. Frankline'e göre yıldırım ve şimşek birer elektrik hadisesidir. Elektrik kıvılcımları belli bir büyüklüğe ulaştığında yakıcı olup her ikisi de canlıları öldürür. (Franklin bir defasında Leyden Şişesi'ne bir tavuğu bağlayarak öldürmüştür. Aynı şekilde Franklin'in uçurtma deneyini yapmak isteyen başka bir bilim adamı St. Petersburg'da elektrik şokuyla hayatını kaybetmiştir) (12).

Franklin aynı zamanda yıldırımın toprağa nakleden paratoner aletini yaparak elektriğin verebileceği zarara engel olabilecek faydalı bilimsel bir ürün de icat etmiştir (12).

Charles Augustin de Coulomb'un (1736-1806) elektrik yüklerinin hareketlerine yönelik matematiksel teklifi, ileride Coulomb Yasası olarak tanınacak ve elektrik çalışmaları böylece matematiksel bir boyut kazanacaktır (12).

1780' lerde Bolonya'lı anatomi profesörü Galvani bir kurbağa bacağının kas siniri preparatlarını iki farklı metal ile temas ettirdiğinde bacağın kımıldadığını gözlemlemiş ve kurbağa bacağının elektrik ürettiği fikrine kapılmıştır. Fizik profesörü olan Volta ise, kurbağa bacağının yalnızca, iki farklı metalin birleştiği yerde üretilen elektrik akımına duyarlı bir elektrik detektörü olabileceğini öne sürmüştü ve 1799 yılında aside daldırılmış iki farklı metali dışarıda bir tel ile birbirine bağlayarak bundan yüksek bir elektrik akımı geçişi olduğunu gözlemlemiştir. Böylece bir asitte çözölen metalin kimyasal etkisi ile içinde elektrik üretilen Volta pilini keşfetmiştir (14, 15).

Ampere; 1820 yılında serbestçe hareket eden bir iğne ile elektrik akımını ölçen bir aygıt üretmiş ve 1825'te manyetizmanın manyetik cisimler içindeki taneciklerde bulunan küçük, dirençsiz ve dairesel elektrik akımlarından kaynaklandığını bildirmiştir. Bundan sonraki süreçte elektrik ve manyetizma

bilim dalları birleştirilerek elektromanyetizma olarak adlandırılmıştır. Hertz elektromanyetik dalgaları bulmuş ve radyo, televizyon, telefaks gibi elektromanyetik dalgalarla çalışan birçok araç bu sayede hayatımızda yer almaya başlamıştır (14, 15).

George Ohm 1826-27 yılları arasında bir elektrik devresindeki potansiyel, akım ve direnç arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Bir iletkenin geçen akımın iletkenin uçları arasındaki gerilim ile doğru, iletkenin direnciyle ters orantılı olduğunu bulmuştur. 1840 yılında Joule bir telden akan elektrik akımından çıkan ısıyı ölçmüştür. Böylece birim zamanda meydana gelen ısının, telin direnci ile telden geçen akımın karesinin çarpımıyla doğru orantılı olduğunu bulmuş ve elektrik enerjisinin, direnç vasıtasıyla ısıya dönüştüğünü göstermiştir (Joule Yasası). 1834'te Charles Wheatstone akım hızını ölçmüştür. 1850 yılında Fizeau yaptığı deneylerde elektrik hızının, demir tellerde ışık hızının $1/3$ ' ü, bakır tellerde ise ışık hızının $2/3$ ' ü kadar olduğunu tespit etmiştir (14, 15).

Elektrik enerjisinin günümüzdeki şekliyle kullanımı 18. yüzyılın ortalarında şekillenmeye başlamıştır. Ticari bazda ilk elektrik üretim fikri ve projesi 1878 yılında Lane Fox ve Thomas Edison tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu proje sadece aydınlatma amacına yönelik olarak hazırlanmıştır. Aynı yıl Edison karbon flamanlı ilk akkor ampulü yakmayı başarmıştır. Yapılan deneyler sonucu bu iş için en uygun madenin tungsten olacağına karar verilmiştir. 1878 yılı elektrik enerjisinin dünyada ilk kez günlük hayatta kullanılmaya başlandığı tarih olarak kabul edilmektedir. 1880'li yıllarda elektrik enerjisi konutlarda kullanılmaya başlanmıştır. Thomas Alva Edison ve onun tarafından kurulan şirketi Edison Electric Light Company (Edison Elektrik Işığı Şirketi) bu başlangıcı devam ettirmişlerdir. Ampulün mucidi Thomas Alva Edison evinin bodrum katında kurduğu ve sadece jeneratörü çalıştıracak bir buhar makinesi ve bir kazandan oluşan ufak bir santralle işe başlamıştır. Daha sonra yine Edison tarafından kurulan doğru akımla düşük voltajlı ve dar yayımlı elektrik veren merkezi elektrik santrali, 1882 yılında Manhattan bölgesinde yaklaşık 2,5 km²'lik bir alana elektrik vermiştir. 1200 lambayı aydınlatılabilir kapasitesi bulunan bu ilk ticari elektrik dağıtım sistemi Pearl Street İstasyonu olarak adlandırılmıştır. New

York'ta 1882 yılında açılan bu santralle birlikte aynı yılda Londra'da da bir doğru akım santrali hizmete girmiştir (16).

Ülkemizde elektrik üretimi ilk kez 15 Eylül 1902 yılında Mersin'in Tarsus ilçesinde gerçekleştirilmiştir. Tarsus'a 1800 metre uzaklıkta “Bentbaşı” mevkiinde bulunan Berdan Nehri üzerinde su değirmeniyle çalışan bir santral yapılmıştır. Su değirmeni milinin transmisyon kayışıyla çevrilen 2 kW'lık bir dinamo ile oluşturulan santral kasabaya elektrik sağlamıştır. Daha sonra bu santral hidroelektrik santraline dönüştürülerek gücü 60 kW'a çıkartılmıştır (13, 17).

2.2. Tanımlar

Uzayda yer kaplayan ve kütlesi olan her şeye “madde”, kimyasal metotlarla daha basit parçacıklara ayrılamayan en basit yapıdaki yapıtaşına “element”, bir elementin özelliklerini taşıyan en küçük parçasına ise “atom” denilmektedir. Atom; merkezinde proton ve nötronlar bulunan çekirdek ile çevresinde dolaşan elektronlardan oluşmakta olup bu hali ile güneş sistemine benzerlik göstermektedir. Bir element atomunu başka bir element atomundan ayıran temel özellik çekirdek içerisinde bulunan proton sayısıdır. Örneğin bir hidrojen atomunun çekirdeğinde 1 proton bulunurken, oksijende 8, bakırda ise 29 proton bulunmaktadır. Pozitif elektrik yüklü protonun çapı elektron çapının 1/3'ü kadar olmasına rağmen ağırlığı elektrondan 1840 kat daha fazladır. Negatif elektrik yüküne sahip elektronlar atom çekirdeği etrafındaki yörüngede dönerek kolayca hareket edebilmekte, dolayısı ile de elektrik enerjisinin transferine ya da akışına katılmaktadırlar (18, 19).

Atomdaki pozitif yük (proton) ve negatif yük (elektron) sayısı birbirine eşit olduğunda atom elektriksiz olarak nötral yani yüksüz kabul edilir. Atom proton ya da elektron sayısının fazla oluşuna göre pozitif ya da negatif yüklü olabilir. Yüklü atomlar iyon olarak tanımlanmaktadır (18, 19).

Negatif yük taşıyan elektronların bir iletken üzerinden potansiyel farkı olan iki nokta arasında akışı ile ortaya çıkan enerjiye elektrik enerjisi adı verilir.

Elektrik akımı ise çok sayıda elektronun bir iletken aracılığı ile aynı yönde akışına denir (18, 19).

Elektronların bir devrede hareketini sağlayan, iki nokta arasındaki potansiyel farktır. Elektronlar potansiyeli yüksek bir noktadan düşük olan bir noktaya doğru akar. Bu potansiyel farkına elektrik basıncı denilebilir. Potansiyel farkın birimi voltur (20).

Bir maddenin sahip olduğu elektrik yükü, maddenin kazandığı ya da kaybettiği elektron sayısı ile belirlenir ve “coulomb” birimi ile ifade edilir. Örneğin bir maddenin 1 coulomb negatif yükü varsa bu madde 6.28×10^{18} ilave elektron kazanmış demektir (18).

Bir kabloda bir noktadan bir saniyede geçen elektron sayısı akım miktarı olarak tanımlanmaktadır ve birimi amperdir. Eğer 1 coulomb (6.28×10^{18} elektron) bir noktayı 1 saniyede geçerse akım miktarı 1 amperdir. $A = \text{Coulomb} / \text{Sn}$ (18).

İçinden akım geçen iletken akıma karşı bir direnç oluşturur ve bu direncin birimi ohm'dur (15). Ohm Kanunu; direnci bir ohm olan bir materyale bir volt elektrik basıncı uygulandığında materyal boyunca bir amper akım geçtiğini ifade eder ve $V \text{ (volt)} = I \text{ (amp)} \times R \text{ (ohm)}$; $I \text{ (amp)} = V \text{ (volt)} / R \text{ (ohm)}$; $R \text{ (ohm)} = V \text{ (volt)} / I \text{ (amp)}$ şeklinde formüle edilir (19, 21).

Akımın iletkenden geçişi sırasında oluşan enerji “güç (P)” olarak tanımlanır ve $P \text{ (watt)} = V \text{ (volt)} \times I \text{ (amp)}$; $P \text{ (watt)} = [I \text{ (amp)} \times R \text{ (ohm)}] \times I \text{ (amp)}$; $P \text{ (watt)} = [I \text{ (amp)}]^2 \times R \text{ (ohm)}$; $P \text{ (watt)} = [V \text{ (volt)}]^2 / R \text{ (ohm)}$ şeklinde formüle edilir (19, 21).

Elektrik akımı doğru akım ve alternatif akım olmak üzere iki tiptir. Doğru akım zamana bağlı olarak yönü ve şiddeti değişmeyen akımdır (22). Bir pilin pozitif kutbundaki voltaj pil tükenene kadar sabittir. Pile bir lamba bağlanması halinde voltaj sabit olduğundan geçen akım da sabit olacak, dolayısı ile gerek zamana karşı voltaj, gerekse akım grafiği horizontal düz bir çizgi şeklinde olacaktır. Bu şekildeki sabit akımlar doğru akım (DC) olarak tanımlanır. DC'in geçişi her zaman pozitiften negatife doğrudur (19, 23). Piller, akümülatörler ve

dinamolar doğru akım kaynaklarıdır. Genelde elektronik devrelerde ve defibrilatör, pace maker gibi tıbbi ekipmanlarda kullanılırlar (22).

Alternatif akım zamana bağlı olarak yönü ve şiddeti değişen akımdır. Tipik bir AC jeneratörünün bir ucundaki voltaj akımın yön değiştirmesi ile diğer uca göre pozitif ve negatif değerler arasında değişkenlik gösterir ve zamana karşı sinüzoidal bir değişim grafiği çizer. Yön değiştirme özelliği sayesinde voltajı transformatörlerde yükseltip düşürülebilir. Böylece yüksek voltajlı alternatif akımlar uzak mesafelere nakledilebilir. Ev ve iş yerlerinde kullanılan elektrik sinüzoidal yapıya sahip alternatif akımdır (23, 24).

Bir AC, amplitüdü (genlik), periyodu ve dalga biçimi ile birlikte tanımlanır. Bir saniyedeki dalga sıklığına “frekans” denir ve “Hertz (Hz)” birimi ile ölçülür. Frekans = 1/periyot şeklinde formüle edilir (23).

Statik elektrik durgun ve kontrolsüz bir elektriktir. Zaman zaman boşalmalar yapar. Bir ebonit çubuğun kumaş parçasına sürtülmesi ile statik elektrik oluşur. Sürtünen bütün cisimler elektriklenir. Pozitif ve negatif yük dengesinin sürtünme sırasında bozulması ile oluşur. Şimşek, yağmurlu havalarda pozitif yüklü statik elektriğin buluttan buluta atlaması ile meydana gelir (24).

İnsan vücudu oldukça iletken yapıda olup, elektrik akımları serbestçe hareket eder. Bu nedenle sürtünme veya temas yoluyla oluşabilen elektrik yükleri devamlı olarak toprağa akar ya da atmosfere yayılır. Kişi aniden topraklandığında akımın deşarjı sırasında kıvılcım oluşabilir. Ortamda patlayıcı bir madde ya da yanıcı bir gaz olduğunda kişinin elbiseleri tutuşabilir. Bir kişinin topraktan izolasyon derecesi, ayakkabı tabanı ve elbiselerinin malzemesine göre değişir. Kösele tabanlı ayakkabılar iyi bir ileticidirler ve statik elektrik birikimine engel olurlar. Elbiselerde kullanılan naylon, orlon gibi sentetik lifler ise statik elektrik birikimini artırır (24).

Sanayide statik elektriğe bağlı kazalar oluşabilmektedir. Lastik, tekstil ve kağıt fabrikalarında kullanılan taşıma kayışlarının üzerindeki malzemeler elektrikle yüklenip yangınlara neden olabilir (15). Bunların dışında statik elektriğin vücutta yalnızca statik yük şeklinde elektron biriktirmesi durumunda

dokularda herhangi bir hasar oluşmayacaktır. Van de Graaf statik jeneratörünün içindeki kişilere bir kaç milyon V verilmesine rağmen kişilerin saçlarının dikleşmesinden başka hiçbir şey olmadığını gözlemlemiştir (25).

2.3. Elektrik Çarpması

Elektrik çarpması, bir elektrik kaynağı ile temas sonucu elektrik akımının vücuttan geçmesi ile meydana gelen yaralanma veya ölümü tanımlamaktadır (1, 24).

Elektrik nispeten yeni bir buluş olmasına rağmen, insanlar var olduklarından bu yana yıldırımların sebep olduğu elektrik yaralanmalarına maruz kalmıştır. Yıldırımın yıkıcı gücü, eski çağlarda doğüstü güçlere bağlanmıştır. Antik Yunan tanrılarının hükümdarı Zeus karakteristik olarak, emirlerine uymayanlara karşı bir uyarı veya ceza aracı olarak elinde yıldırımlarla tasvir edilirdi (26). 1855’de ilk ışıklı ampulün icadıyla birlikte toplumlar yapay elektrik enerjisi ile tanışmıştır. Elektriğin keşfi insanların yaşamını büyük ölçüde değiştirmiş, bu enerji evlerde, iş yerlerinde çok yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kullanım alanının genişlemesine paralel olarak elektrik akımının neden olduğu yaralanma ve ölümlerde de artış görülmüştür. Yapay elektrik akımına bağlı ilk ölüm olgusu 1879 yılında Fransa'nın Lyon şehrinde dinamoda çalışan bir marangozun ölümüdür ve bu olgu aynı zamanda elektrik nedeni ile meydana gelen ilk iş kazasıdır (27).

Elektrik çarpmaları insan yaşamını etkileyen en önemli yaralanmalardandır. Çoğu kişi yaşamının bir döneminde küçük ya da büyük elektrik çarpmasına maruz kalabilir. Elektrik çarpmaları tüm sosyal toplumlarda tıbbi, psikolojik ve ekonomik yönden sorun olmaya devam etmektedir (28). Elektrik çarpmalarında akut dönemde metabolik, septik ve cerrahi komplikasyonlar, uzun dönemde de psikolojik, sosyal ve estetik sorunlar daha çok öne çıkmaktadır (29).

Gelişmiş ülkelerde endüstri ile birlikte elektrik kullanımının artması nedeniyle kazalar sonucu meydana gelen elektrik yanıkları tüm yanıkların

yaklaşık %6'sını oluştururken, az gelişmiş ülkelerde bu oran % 3 civarındadır (29, 30).

Elektrik yaralanmaları ciddi bir sağlık problemi olup Amerika Birleşik Devletleri'nde yılda ortalama 1,4-2 milyon kişi elektrik çarpmasına maruz kalmakta ve bunların da yaklaşık olarak 70 bini hastanelerde yatarak tedavi görmektedir (31). Amerika'da yılda yaklaşık 1000 kişinin elektrik yaralanmalarından öldüğü bildirilmiştir (32). Ülkemizde ise elektrik yaralanması dünya ortalamasından belirgin şekilde yüksektir (33). Elektrikle yaralanmaların acil servislere başvuru sıklığı ile ilgili ülkemiz için yeterli veri bulunmamaktadır. Buna karşın ABD'de yanık merkezlerine başvuruların %3-6'sının elektrikle yaralanma olduğu bildirilmiştir (34). Ülkemizde ise bu oran %10-14.5 dolaylarındadır (35).

Elektrik çarpmaları erişkinlerde daha çok iş yerinde meydana gelirken; çocuklarda ise ev ortamında daha fazla görülmektedir. Elektrik yaralanmaları çocuklarda acil müdahale gerektiren tüm yanıkların yaklaşık %2-3'ünü oluşturur. Çocuklarda görülen elektrik yanıklarının büyük çoğunluğu evdeki uzatma kabloları (% 60-70) ve duvar prizlerinden (%10-15) kaynaklanır (28).

Elektrik çarpmaları daha çok işyerlerinde olduğundan genellikle yetişkinler etkilenir. Ev ve işyeri çevresinin elektrik ile çalışan aletlerle dolu olduğu düşünüldüğünde kaza ile yaralanma potansiyeli her zaman vardır. Defibrilatör, pacemaker, koter gibi cihazlarla girişimlerin yapıldığı yoğun bakım ünitesi (ICU), ameliyathane, elektrofizyoloji bölümü gibi yerlerde özellikle iatrojenik elektrik yaralanmalarına dikkat edilmelidir (36).

Elektrik yaşamımız için vazgeçilmez bir enerji kaynağı olmakla birlikte, elektrik çarpması yüksek morbidite ve mortalite ile seyreden, tüm yaş gruplarının risk altında olduğu bir travmadır (36).

2.3.1. Elektrik Çarpmasında Hasarı Etkileyen Faktörler

Elektrik akımının canlı dokular üzerinden geçmesiyle, birçok sistemin etkilendiği klinik tablo ortaya çıkar. Oluşan hasar termal etkiye veya elektriğin doğrudan etkisine bağlı olarak gelişir (28). Elektrik çarpması olgularında, ölüm nedenleri ve elektrik akımının dokulardan geçmesi ile meydana gelen lezyonlar çok fazla değişkenlik göstermekte ve birçok faktör bu lezyonların şiddetini ve oluşumunu etkileyebilmektedir (2). Bu faktörleri şu şekilde sayabiliriz:

- 1- Elektrik devresinin tamamlanıp tamamlanmadığı
- 2- Akımın gerilimi (Voltaj, Volt, V)
- 3- Akımın cinsi (DC, AC)
- 4- Akım şiddeti (Amper, I)
- 5- Vücut dokularının direnci (Ohm, R)
- 6- Akımın vücutta izlediği yol
- 7- Temas süresi (T) (2).

2.3.1.1. Elektrik Devresinin Tamamlanıp Tamamlanmadığı

Bir elektrik akımının vücut üzerinde etkili olabilmesi için elektrik akım devresinin tamamlanması gerekmektedir. Eğer akım vücuda bir bölgeden girip bir başka bölgeden çıkamıyorsa dokularda herhangi bir yaralanma meydana getiremeyecek ve neticesinde ölüm de oluşmayacaktır (37).

Kuşların binlerce voltluk yüksek gerilim hatlarında yaralanmadan durabilmeleri elektrik devresinin tamamlanmamış olmasındandır. Kuşun ayaklarından giren elektrik akımı hayvanın vücudunun etrafındaki havanın elektrik geçirmemesi nedeniyle belli bir yönde akamamakta ve elektron akımı olmamaktadır. Bunun neticesinde de dokularda herhangi bir yaralanma meydana gelmemektedir (38).

Benzer bir şekilde elektrik şebeke hattının faz ucunu tutan, fakat ayaklarında kauçuk çizmeler bulunan ve vücudunun hiçbir noktasının topraklanmadığı olgularda da elektrik çarpması oluşmayacaktır. Bu yüzden elektrikle çalışılan iş yerlerinde çalışanların ayaklarında kauçuk çizme, ellerinde kauçuk eldiven ve başlarında elektrik geçirmez bir başlık bulunması olası bir elektrik akımı kaynağı ile temas durumunda devrenin tamamlanmasını engelleyerek elektrik çarpmasını önlemiş olacaktır (38).

2.3.1.2. Akımın Gerilimi (Voltaj, Volt, V)

İki nokta arasındaki elektriksel potansiyel farka gerilim denir. Birimi Volt'tur (25). 1000 voltun üzerindeki gerilim değerlerine yüksek voltaj, altındaki değerlere ise düşük voltaj adı verilir (22, 34).

Evlerde kullanılan voltaj Ülkemizde ve Avrupa'da 220 V, Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada'da 120 V, Avustralya ve Büyük Britanya'da ise 240 V'tur. Sanayide kullanılan araç ve makineler için ise 220-440 V güç kaynakları gerekebilmektedir. Şehirlerarası yüksek gerilim hatlarından binlerce V geçmektedir (39). Şehirlerdeki yüksek gerilim hatları 7600 V, kıtalar arası elektrik hattının voltajı ise 100000 V ve üzerindedir (15). Düşük voltajlı akımlar kısmen daha güvenli olduğu düşünüldüğünden evlerde kullanılmaktadır (38).

Her iki voltaj türü de morbidite ve mortaliteye sebebiyet vermesine rağmen yüksek gerilimler vücuttan daha fazla akım geçişine neden olmaktadır. Voltajın artmasına bağlı olarak doku hasarı da artacaktır. Yüksek voltajlı elektrik çarpmalarında elektriğin termal etkileri önemli bir hasar mekanizmasıdır (39).

Yüksek voltaj elektrik çarpmaları, birden çok sistemi tutan, morbidite ve mortalitesi yüksek olan yaralanmalardır. Yüksek voltaj elektrik çarpmaları (≥ 1000 V, 50 Hz), genellikle elektrikle uğraşanlarda, inşaat işçilerinde ve çiftçilerde görülmektedir (30).

Yüksek voltajlı elektrik yaralanmaları için elektrik ileticisi ile direkt temas etmek şart değildir. Elektrik ark yoluyla vücuda sıçrayabilir. Kıvılcımların

sıçraması nedeniyle çok sayıda lezyon oluşup deride timsah derisi görünümü olabilir (20, 24). Yüksek voltaj yaralanmalarında; yaygın arklar, alev yanıkları, miyokard nekrozu, hepatik, pankreatik nekroz, gastrointestinal sistem kanamaları, ciddi genital yaralanmalar, merkezi sinir sistemi hasarı ve sekonder multipl organ yetersizlikleri prognozu belirlemektedir (28, 40).

Elektrik akımının dokularda oluşturacağı sıcaklık artışı voltaj ile direkt ilgilidir. Dokularda meydana gelen ısı artışı voltajın karesi ile doğru orantılıdır. Isı enerjisindeki 4096 misli artış, 120 V'tan 7680 V'a çıkışı simgelemektedir. Bu nedenle yüksek voltajlı akımlarda ölüm nedenleri arasında yaygın termal yanıkların önemli bir yeri bulunmaktadır (38, 41). Yüksek gerilimle olan yaralanmalarda ciddi yanıklar görülürken, düşük gerilim de daha az ısı enerjisi üretildiği için cilt ve diğer dokularda ciddi yanıklar daha nadir görülür. Elektrik çarpmasına bağlı oluşan ısı artışı masif koagülasyona, derin kaslarda ve diğer dokularda nekroza neden olabilir. Yüksek gerilimle olan yaralanmalarda elektrik akımı periferik arterlerin içinden geçerek erken spazm, gecikmiş tromboz veya anevrizmaya neden olabilir. Geniş vasküler yaralanmalar kompartman sendromu ve rabdomiyolize neden olabilir (22).

Elektrik akımına bağlı ölümlerin çoğu ev ve işyerinde olması nedeniyle olaylar daha çok 110-380 V arasındaki gerilimlerde görülür. 80 V gibi daha düşük voltajlarda çok az ölüm görülmesine rağmen, nem ve rutubet nedeni ile direncin azaldığı ya da temas süresinin uzun olduğu durumlarda ölüm gözlenebilmektedir (25). 12 V ile çalışan akülü arabasının altında sıkışan ve 12 V'luk akımın uzunca bir süre vücudundan geçmesi nedeniyle ölen bir süt satıcısı bildirilmiştir (42). Yine normalde sadece bir karıncalanma hissi yaratabilecek 80 voltluk akımla ölen kaynak işçilerinin sunulduğu bir çalışmada, bu ölümlerin nedeni nemli ve sıcak ortam nedeniyle oluşan halsizlik hissi ve reaksiyonlarda yavaşlama ile birlikte, düşük voltajın neden olduğu kas paralizisi sonucu elektrikli aleti bırakamamaya bağlanmıştır (43).

Araç elektrik sistemlerinde ve radyolarda sıklıkla 12-24 V gibi düşük voltajlar kullanılmaktadır. Bu düşük voltajların hayati tehlikesi genellikle yoktur. Telefon hatlarında ise 65 V gibi gerilimler kullanılmaktadır (19).

Çok yüksek voltajlar trafolar ve enerji nakil hatlarında bulunmaktadır. Enerji nakil hatlarında 400.000 V gibi çok yüksek V'lar bulunabilmektedir (38). Bu gibi yüksek voltajlı akımların belirli mesafe atlayabileceği, 100.000 V için bu mesafenin ortalama 35 santimetre olduğu bildirilmektedir (2). Bu mesafe iletkenin özelliğine ve havanın nemine bağlı olarak değişmektedir. Quantum mekaniğine göre her molekül belirli miktarda enerji alabildiğinden, fazla enerji patlamaya neden olmaktadır. Enerjinin bir kısmı ise ısı enerjisine dönüşmektedir. Bu patlamanın etkisi ile mekanik travmalar ve hava ile dolu organlarda da yaralanmalar olabilmektedir. Bu yüzden yüksek voltajlı elektrik çarpmalarında kişilerin fırlatılmaları nedeniyle elektrik akımının direkt etkisinin dışında başka travmalar da görülebilmektedir (38).

Bazı durumlarda yüksek voltlar sanılanın aksine daha güvenli olabilmektedir. Akımın vücuttan geçmesi ile oluşan konvülsif kas spazmları bazen kişiyi olay yerinden uzaklaştırabilmekte, böylece akım kaynağı ile olan temas süresi kısaldığından kişinin vücudundan daha az akım geçecektir (38).

Bir elektrik devresinde çalışırken zorunlu emniyet tedbirleri voltaja göre değişiklik göstermektedir. Bir akımın ark yapma mesafesi voltaj arttıkça artmaktadır. Örneğin 220 V akımlarda emniyetli olabilen ince kauçuk eldivenler 25.000 V'ta akım geçişine engel olamayacaktır. Bu nedenle özellikle yüksek gerilim ile çalışacak personelin kullanacağı her türlü alet ve malzemenin özellikleri standardize edilmiştir (38).

2.3.1.3. Akımın Cinsi (DC, AC)

Doğru akım ve alternatif akım olmak üzere iki çeşit akım tipi vardır. Doğru akımda, devredeki akımın yönü ve şiddeti sabittir. Alternatif akımlı elektrik devrelerinde ise yüklü partiküller iletken içerisinde sürekli ileri geri hareket halindedirler ve periyodik olarak yönünü değiştirirler fakat elektromanyetik alan dalgalarından oluşan elektrik enerjisi akımı tek bir yöne doğrudur. Evlerde ve sanayide alternatif akım kullanılmakta olup, doğru akım ise aküden, pilden ya da bir transformatör ile alternatif akımlardan elde edilmektedir (44). Doğru akım

çeşitli pillerde, araba akülerinde, defibrilatör, pacemaker ve elektrikli cerrahi bıçaklar gibi tıbbi cihazlarda kullanılmaktadır (22). Alternatif akımlar doğru akımlara göre daha tehlikelidirler (2, 24, 25, 45). DC genellikle kişinin akım kaynağından uzaklaşmasına neden olan tek bir kas spazmına yol açma eğilimindedir. Bu durum da akıma kısa süreli maruz kalmaya neden olur ancak künt travma olasılığını artırır. AC genellikle kişinin kavradığı akım kaynağından uzaklaşmasına engel olan tetanik kas kasılmasına sebep olur ve kişinin ölüm riskini artırır. AC kaynağı ile temas eden bölge genellikle ellerdir. Ellerin bulunduğu üst ekstremitelerde fleksör kasların ekstansörlere göre daha kuvvetli olması nedeniyle el akım kaynağını kavrar ve bu yüzden temas süresi uzar. Bu durum “hold on fenomeni” olarak tanımlanır (20, 22, 46).

Elektriğin üretiminde ve dağıtımında AC daha avantajlı olmasına rağmen, DC'a göre aynı voltaj değerine sahip AC'a maruz kalmak üç kat daha tehlikelidir (46). Bir kişide 50-80 miliamper (mA)'lik AC saniyeler içerisinde ölüme neden olabilirken, aynı süreli 250 mA DC sıklıkla hayatta kalmaya izin verir (25). Alternatif akımlar kardiyak aritmilere daha sık neden olmaktadır. Aynı zamanda medulladaki kalp ve solunum merkezleri alternatif akımlara daha hassastırlar (2). 100 mA AC'ın saniyenin 1/5'i kadar bir süre vücuttan geçişi ventriküler fibrilasyona ve arreste sebep olabilirken, tıbbi defibrilasyon gibi yüksek amperli (4A üzerinde) DC aritmik bir kalbi sinüs ritmine geri çevirebilmektedir (25).

Ülkemizde evlerde 220 Volt 50 Hertzlik monofaze alternatif akım kullanılmaktadır (47). Kas liflerine saniyede 40-110 defa uyarı verildiğinde sürekli kas kontraksiyonu ve tetani oluşur (46). Ventriküler fibrilasyon açısından da en riskli AC frekansı 40-150 Hz aralığıdır. Frekans 150 Hz üzerine çıktıkça fibrilasyon olasılığı düşmektedir. Ventriküler fibrilasyon 1720 Hz'de 150 Hz'e göre 20 kat daha az görülür (25).

2.3.1.4. Akım Şiddeti (Amper, I)

Akım; bir nesne üzerinden geçen elektrik enerjisi miktarının ölçüsü olup akım miktarının birimi Amper'dir. Bu miktar birim zamanda geçen elektron sayısı

ile ifade edilir ve "coulomb" ile ölçülür. Ohm Kanunu'na göre akım; uygulanan gerilime, dokunun direncine ve doku hasarı için akımın geçtiği süreye bağlıdır. Deri dışındaki diğer dokuların direnci hesaplanamadığından vücuttan geçen akım miktarı da bilinmemektedir. Fakat dokudaki hasarın derecesi dokudan geçen akımın miktarı ile doğru orantılıdır (25, 39).

Amper = Volt/Direnç formülü ile hesaplanır. Akımın şiddeti uygulanan voltajla doğru orantılı, direnç ile ters orantılıdır. Direnç ne kadar çok ise geçen akım da o kadar az olacaktır. Direnç arttığı oranda amper azalacağından tehlike de azalacaktır. 1 A = 1000 mA'dir (2, 25). Sigortalar ve akım kesiciler de ampere göre çalışırlar ve fazla akımın geçmesini engellemede kullanılırlar (38).

Joule Kanunu'nda tanımlandığı gibi ısı oluşumu; gerilime ve dirence bağlı olarak değişen akım miktarının karesi ile orantılıdır. Voltaj sıklıkla bilinmesine rağmen, direnç dokulara göre farklılık gösterir. Ayrıca doku bütünlüğünün geçen akımla bozulması ile doku direnci de önemli derecede değişmekte ve hasarı oluşturan akım miktarının tahmin edilmesi zorlaşmaktadır (46).

Ayakları çıplak ve ıslak olarak betona veya toprağa basan bir kişi ıslak ve çıplak elle 220 V bir akım kaynağını tutarsa yüksek amperli bir akım vücuttan geçecektir ve muhtemelen ölüm görülecektir. Bunun yanında ellerin kuru, yerde ise tahta döşeme ve üzerinde halı bulunduğu durumlarda akım geçişi nispeten az olacak ve sadece bir kas spazmı ile olay atlatılabilecektir (25).

Elektrik çarpmalarına bağlı ölümlerin çoğunluğu kardiyak aritmiler nedeniyle görülmektedir. Ölümcül olabilecek akımların voltaj olarak değil de amper olarak ifade edilmeleri daha doğrudur. Buradaki asıl soru kaç amperlik bir akımın kardiyak aritmilere sebep olacağıdır (37). Kalbin dakikadaki hızının 0,1-1 A arasındaki akımların etkisi ile arttığı ve bu artışın ventriküler fibrilasyon ile sonlandığı bildirilmektedir. 1 Amper üzerindeki akımların uygulanması sonucu kalbin repolarize olamadığı için durduğu belirtilmiştir. Akımın kesilmesinden sonra kalp kası hücreleri ısının etkisi ile denatüre olmamış ise, kalbin tekrar spontan olarak çalışmaya devam edebileceği bildirilmektedir (38).

Hissedilebilir akım miktarı ile kişinin kaynakla temasını istemli kesebileceği akım miktarı arasında dar bir aralık bulunmaktadır. Temasın istemli kesilebileceği akım miktarı bir çocuk için ortalama 3-5 mA iken erişkinler için 6-9 mA arasındadır. Bu değerin üzerinde akıma maruz kalan kişiler musküler tetani nedeniyle akım kaynağından kurtulamazlar. 20 mA üzerindeki akım göğüs üzerinden uzun bir süre geçmeye devam ederse respiratuvar paralizi gelişebilir. 60-120 mA arasındaki akımlarda ventriküler fibrilasyon oluşması beklenmektedir. 100 mA'den 2 A'e kadar olan elektrik akımı geçişi elektrik çarpmalarında en sık ölüm sebebi olan ventriküler fibrilasyona sebep olmaktadır (48).

Araştırmacılar arasında görüş farklılıkları bulunmakla birlikte 50-80 mA bir akımın birkaç saniye süre ile kalp üzerinden geçmesinin ölüme sebep olacağı kabul edilmektedir. Kişilerin istekli olarak elektrik akımına maruz kaldıkları deneylerde, 30 mA'lık akımlara dayanabildikleri, bu değerdeki akımların ağırlı kas spazmlarına neden olduğu bildirilmektedir. 40 mA'de şuur kapanmakta ve 50-80 mA düzeyinde ise ölüm tehlikesi başlamaktadır. 60 Hz'lik alternatif akımın insan üzerindeki etkileri Çizelge 2.1.'de gösterilmiştir (2).

Çizelge 2.1. 60 Hz'lik alternatif akımın insan üzerindeki etkileri

Güvenli Akım Değerleri	1 mA ve altı	Hissedilmez. Algılama eşiğidir.
	1-8 mA	Ağrısız şok. Kas kontrolü kaybolmadığı için obje bırakılır. (5 mA zararsız maximum akım olarak kabul edilmektedir)
	8-15 mA	Ağrılı şok. Kas kontrolü kaybolmadığı için tutulan obje bırakılır.
Güvensiz Akım Değerleri	15-20 mA	Ağrılı şok. Kas kontrolü kaybolmuştur.
	20-50 mA	Ağrılı kas spazmları. Solunum zorluğu
	100-200 mA	Ventriküler fibrilasyon
	200 mA ve üstü	Ciddi yanıklar. Ciddi kas kısılmaları

2.3.1.5. Vücut Dokularının Direnci (Ohm, R)

Direnç, elektrik akımının akışını engelleme yeteneği olarak tanımlanır ve Ohm ile ölçülür. İnsan vücudunun direnci ortalama 500 ile birkaç bin Ohm arasında değişmektedir (41). Nem içeriği, ısı ve diğer fiziksel faktörlere bağlı olarak her dokunun farklı bir direnci vardır. Ohm Kanunu'na göre akım, voltaj ile doğru, direnç ile de ters orantılıdır. Enerjinin ısı olarak kaybı “Joule Isınması” olarak bilinir. Joule Kanunu'na göre daha az iletken olan dokular akımın geçişi ile ısınma eğilimi gösterirler. Bu ısınma da dokularda termal yanık oluşturur (22, 39, 46).

Elektrik akımı direncin en az olduğu yolu takip etmeye meyillidir (49). Tüm vücut dokuları elektrik akımına geçirgendir ancak direnç dereceleri su içeriklerine göre değişmektedir (50). Kemik, yağ dokusu ve tendon yüksek dirençli, kuru cilt orta derecede dirençli, kas, kan damarları ve sinir dokusu düşük dirençli dokulardır (34). Sinir dokusu elektriği iletmek üzere dizayn edildiğinden, kan damarları ise yüksek su içeriğinden dolayı iyi iletkenlerdir (51).

Değişik dokuların elektrik akımına karşı göstermiş oldukları dirençler farklı olduğundan, aynı voltaja maruz kalan değişik vücut bölgelerinden geçen akım miktarı da farklılık gösterecektir. Elektrolit ve su içeriğinin fazla olması nedeniyle sinir, kan damarları, kas ve mukoz zarlar dirençleri düşük olup iyi birer iletkenlerdir. Yumuşak dokular içerisinde en büyük hacmi oluşturan ve akımın büyük bölümünü taşıyan iskelet kasları, akımın termal etkisi dışında yüksek termal kapasiteye sahip bitişik kemikler tarafından da ısıtılırlar. Tendon, yağ dokusu ve kemikler ise yoğun yapıları nedeni ile akıma yüksek direnç gösterirler ve bu yüzden akımı iletmekten çok ısı üretimine neden olurlar (22, 39, 46). Fish, kadınlarda cilt altı yağ dokusu daha kalın olduğundan elektrik çarpmasına bağlı yaralanma şiddetinin daha az olabileceğini belirtmiştir (52).

Deri vücudumuzu elektrik akımından koruyan en önemli yapıdır. Kalınlık, nem ve doku bütünlüğü deri direncini etkileyen faktörlerdir. Elektrik akımı deriyi geçtikten hemen sonra elektriği iyi ileten elektrolitten zengin kan damarları ve diğer yumuşak dokular üzerinden kolayca hareket eder. Bu nedenle deri dışındaki

dokularda deriye oranla daha hafif şiddette lezyonlar görülmektedir. Derinin direnci keratinize epitelin kalınlığı ile orantılı olarak artar. Bu yüzden en fazla direnç gösteren doku ayak tabanı ve avuç içleri gibi kalın olan deri bölgeleridir (25, 46). Deri direnci, kalınlığına paralel olarak artarak erişkinlerde 40.000 - 100.000 Ω arasında değişmektedir. Oldukça nasırlı bir derinin direnci ise 20-70 kat daha fazla olabilmektedir. Diğer dokuları da kapsayan vücut iç direnci ise 500-1000 Ω olarak tahmin edilmektedir (22, 25, 46). Elektrik akımına maruz kalan derinin direnci yüksek ise hasar genellikle deride lokal yanıklar şeklinde sınırlı kalmaktadır. Derinin ıslanması veya bütünlüğünün bozulması halinde ise hasar ağırlıklı olarak iç organlarda görülmektedir (53).

Kuru avuç içi derisinin direnci 1 Mega Ohm (1 milyon Ohm) iken aynı derinin ıslak olması durumunda direnç 1200 Ohm'a kadar düşebilmektedir (2). Yapılan çalışmalarda terlemenin deri direncini 30.000'den 2500 Ohm'a düşürdüğü görülmüştür. Elektrik akımı deriden geçince meydana gelen elektrolit değişiklikleri nedeniyle derinin direnci 380 Ohm gibi çok düşük değerlere düşebilmektedir. Bu da elektrik devresinin devamı halinde daha fazla akımın geçmesine sebep olacaktır (25). Banyolar ve rutubetli mekanlar derinin nemli olmasına sebep olarak deriden geçen elektrik akımının çok yükselmesine neden olduğundan buralarda kullanılan elektrikli aletler çok tehlikeli olabilmektedir (38).

Nemli mukoz zarların dirençleri göz ardı edilebilecek kadar küçük olduğundan akım temas anında maksimuma ulaşmaktadır. Özellikle kabloları ağızlarına alma eğiliminde olan bebek ve çocuklarda ciddi orofasial yaralanmalar görülebilmektedir (22).

Postmortem dönemde kan dolaşımının durması, dokuların sıvı ve elektrolit yapısının değişmesi nedeniyle deri direncinin postmortem dönemde ölçülmesinin çok bir yararı olmadığı bildirilmiştir. Postmortem yapılan deri direnci ölçümleri antemortem deri direncinden yüksek bulunmakta ve antemortem değerler konusunda bir fikir vermemektedir. Bu nedenle otopside deri direncinin ölçülmesi ile muhtemel veya tahmini amperin bulunması mümkün olmamaktadır (2).

2.3.1.6. Akımın Vücutta İzlediği Yol

Elektrik akımı vücuda bir noktadan girer ve bir çıkış noktasından vücudu terk eder. Akımın geçişi, çıkış noktasındaki çeşitli potansiyellerin rölatif direncine bağlıdır. Elektrik akımı vücutta en kısa yolu izleme eğilimindedir (15). Akım genellikle bir elden girer (elektrikli aleti tutan elden) ve bir çıkış noktasından vücudu terk eder. Akımın en sık girdiği bölgeler eller ve baş, vücudu en sık terk ettiği yerler ayaklar, bacaklar ve ellerdir (1, 10).

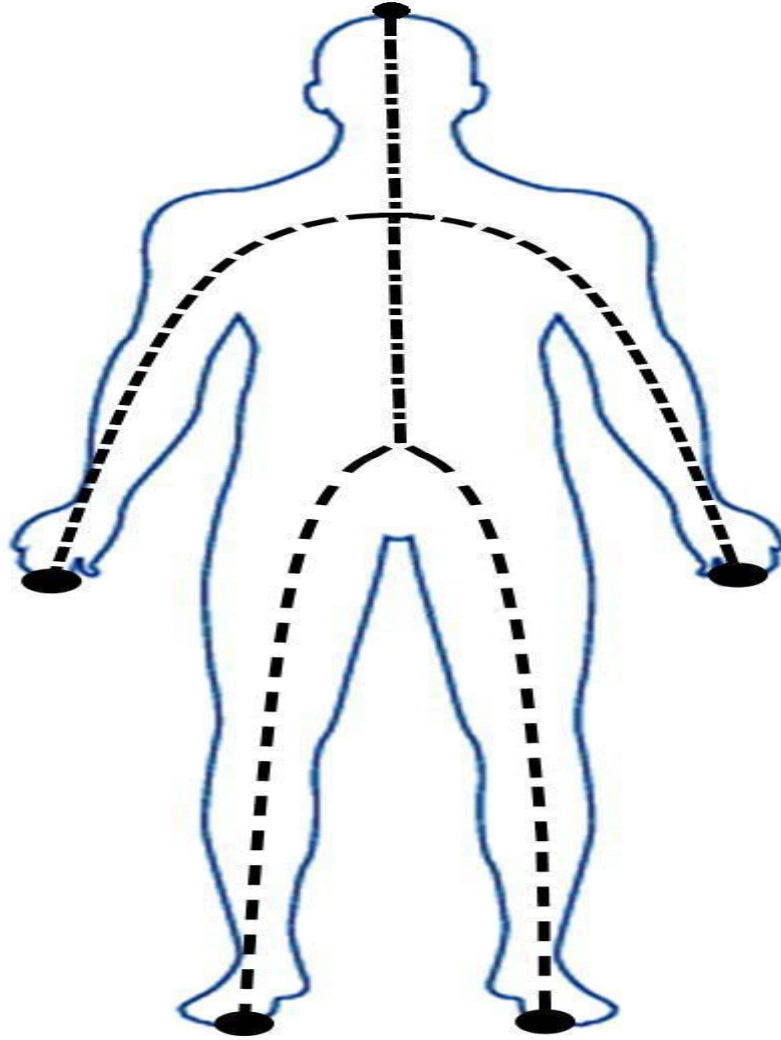
Akımın vücutta takip ettiği yol tehlikede olan ve etkilenen dokuları, oluşacak hasarı, ısıya dönüşecek elektrik enerjisinin derecesini, hasarın türünü ve şiddetini belirlemektedir. Bu sebeple akımın geçtiği yolu saptamak hem acil müdahalede hem de prognozda önem kazanmaktadır (22, 46).

Baş ya da göğüs bölgesinden geçen akımların ölüme sebebiyet vermesi daha olasıdır. Beyinden geçen 100 mA düzeyinde bir akım nöbetler, paralizi ve solunum arresti gibi sonuçlarla neticelenebilmektedir (39, 46). Baş ve boyun bölgesinden akımın geçişi beyin sapına direkt etki ile kalp ve solunum merkezi felcine neden olabilir (1, 2). Yüksek voltajlı akım geçişi olan olgularda ortaya çıkan yüksek ısı geri dönüşümsüz beyin hasarına neden olabilmektedir. Akımın gözlere yakın bir yol takip etmesi gözde katarakta sebep olabilmektedir (46).

Kalp ya da toraks üzerinden geçen akım aritmilere, myokard hasarına, ölümcül kalp hasarına ve solunum arrestine neden olabilmektedir (46). Bir koldan diğerine ya da koldan bacağına geçen akımlar kalbi kat edebildiğinden, alt ekstremiteler arasında seyreden akımlardan daha tehlikelidir (54). 60 Hz akımın vücutta ve kalp çevresinde dağılımının araştırıldığı bir çalışmada, akımın bir elden diğer ele, sol elden her iki ayağa, sağ elden her iki ayağa ve bir ayaktan diğer ayağa seyirleri incelenmiş, bir elden diğer el ya da ayağa seyirlerde toplam akımın %33-40'ının kalpten geçtiği, bir elden ayağa doğru olan akımın her iki ayağa doğru yaklaşık eşit şekilde bölündüğü, kalpten en fazla akımın geçtiği yolun sol elden her iki ayağa doğru olan geçişler olduğu tespit edilmiştir (55, 56).

Akım çoğu kez temas noktasından girip en yakın topraklanabildiği noktadan çıkar. Bu da sıklıkla elden ayağa ya da elden ele olmaktadır. Akım genellikle

kaynağa ve toprağa temas noktalarında yoğunlaştığından bu bölgelerde hasar daha fazladır (57). Vücut eksenine dikey seyirli akımlar neredeyse bütün vital organları (merkezi sinir sistemi, kalp, solunum kasları ve hamilelerde uterus ve fetüsü) kat etmeleri nedeniyle en tehlikeli olanlardır (33, 34). Bir elden diğer ele geçen yatay seyirli akımlarda beyin korunmasına rağmen, kalp, solunum kasları ve spinal kord gibi bölgeler hala risk altında olduğundan ölümcül sonuçlar görülebilir. Sadece vücudun alt kısımlarını kat eden akımlarda ise şiddetli lokal doku hasarı ön planda olup genellikle ölüm meydana gelmediği bildirilmektedir (22).



Şekil 2.1. Elektrik akımının giriş ve çıkış noktaları arasında kat ettiği yol (19).

2.3.1.7. Temas Süresi (T)

Elektrik akımı ile temas süresi uzadıkça vücutta oluşacak hasar ve olayın ölümcül seyretme olasılığı yükselecektir. 24 V gibi düşük voltajlara uzun süreli maruziyet sonrası ölüm olguları bildirilmiştir. Ayrıca yüksek voltajlı elektrik akımına maruz kalan ancak kas spazmı ile iletkenlerden uzaklaşan ve bu sayede temas süresi çok kısa olduğundan hayatta kalan olgular da mevcuttur (25, 57).

DC tek bir kas kasılması oluşturarak kişiyi fırlatma eğiliminde olduğundan temas süresinin kısılmasına, AC ise kaslarda tetaniye neden olarak akım kaynağını kavramasına, dolayısı ile akımla temas süresinin uzamasına sebep olmaktadır. Bu sebeple düşük voltajlı elektrik çarpmalarında AC, DC'ye oranla daha tehlikelidir. Yüksek voltajlı elektrik çarpmalarında ise her iki akımda da risk ve tehlikeler benzer şekilde yüksektir (22).

Evlerde kullanılan akım saniyeler içinde ventriküler fibrilasyona yol açabilir. Voltaj 110 V, direnç 1000 ohm olduğunda vücuttan 110 mA akım geçer ve 5 saniye temas ile ventriküler fibrilasyon gelişir. Direnç 100 ohm'a düşerse 0,1 saniyelik temas yeterlidir (20, 24). 110 ya da 220 V elektrik akımı dokulardan uzun süre geçecek olursa yüksek voltajlı akımlarda görülen yaygın ve şiddetli ısı yanıkları, karbonizasyon ve derin doku hasarı oluşabilir (25).

Temas süresinin uzaması ile derinin yapısı bozulur ve deride veziküller oluşur. Buna bağlı olarak derinin direnci azalır. Bu da akımın vücuda daha kolay geçişini sağlayarak yoğun derin doku hasarı oluşmasına neden olabilir. Yüksek voltaj ile temas süresi uzadıkça ısı üretimi artacak ve buna bağlı olarak doku hasarı da artacaktır. Hasarın karbonizasyon derecesinde olması halinde ise direnç artmakta ve dokudan geçen akım azalmaktadır. Yüksek gerilimde çok yüksek ısı açığa çıkarsa, teli tutan – dokunan organ (el vb.) kömürleşir ve akım durur. Kişi yaşayabilir ama ekstremitelerini kaybeder. Yıldırım çarpmasında ise çok kısa süreli ve olağan dışı yüksek voltajlı akım vücuda girmekte ve neredeyse tüm vücut çevresinde ark yaparak dolaşmaktadır (46).

Elektrik çarpmalarında cilt yanıklarıyla orantısız olarak ciddi iç organ yaralanmaları oluşabilmektedir. Bu voltajla ilişkili olabileceği gibi, daha çok

akıma maruz kalma süresiyle alakalıdır. Klinik değerlendirmede ciltte yanık olmasa bile iç organ hasarı olabileceği düşünülmeli ve yoğun bakım ünitesine kabul edilen elektrik çarpmalarında voltaj ve süre sorgulanmalıdır (30).

2.3.2. Elektrik Akımının Vücuttaki Etkileri

2.3.2.1. Deri

Deri, epidermis ve dermis olmak üzere iki temel tabakadan oluşmaktadır. Dermis altında yağ ve bağ dokusundan oluşan subkutan doku mevcuttur. Epidermis ince koruyucu bir tabaka olup kalınlığı 150 mikrometreden azdır. Ancak el ayası ve ayak tabanında kalınlığı 600 mikrometreye ulaşır. Epidermisin en dışında temel olarak keratinden yapılmış olan stratum korneum bulunur. Dermis, hidrate glikoprotein matriks içinde yerleşmiş fibroelastik bağ dokusundan meydana gelir ve derinin sağlamlığını, mekanik gücünü sağlar (58).

Deri elektrik akımına en dirençli dokulardan birisi olduğu için eğer amper yeterli ise hemen her zaman deride lezyonlar izlenmektedir. Bunlara elektrik yanığı ya da "Joule Yanıkları" denilmektedir (1, 2). Bunlar akımın vücuda giriş-çıkış yerlerinde görülür. Elektrik kaynağı ile temas noktası çoğunlukla ellerdir. Topraklanma ise sıklıkla ayaklardan olmaktadır (25, 39). Düşük voltajlı elektrik çarpmalarında karakteristik deri lezyonları sıklıkla giriş çıkış noktalarında yanık alanları şeklinde oluşmaktadır. Elektrik yanıklarının görülme sıklığı %57-83 arasında değişmektedir (57).

Elektrik akımının geçtiği yerde gözle görülebilir bir lezyonun olup olmaması birim deri alanı başına düşen akımın yoğunluğu ile orantılıdır. Akımın epidermis ve dermisten geçmesiyle oluşan ısı deride yanığa neden olur. Eğer akım nispeten daha geniş bir bölgeden geçecek olursa birim alan başına düşen amper azalacağından, orantılı olarak ısı etkisi de azalacaktır. Örneğin tüm avuç içinin elektrik kaynağı ile temas etmesi durumunda hiçbir lezyon oluşmayabilecek iken aynı akımın parmak ucundaki küçük bir yüzeyden geçmesi yanıklara neden

olabilmektedir (2). Ayrıca akımın elden girerek proksimale doğru aktığı olgularda el bileklerinde ve dirseklerde şiddetli yanıklar görülebilmektedir. Özellikle dirsek bölgesinde direnci yüksek kemik dokusunun diğer bölgelere göre daha fazla alan kaplaması akımın yalnızca dar kesit alanlı yumuşak dokulardan geçmesine sebep olur. Bu nedenle bu bölgelerde diğer bölgelere oranla daha şiddetli yanıklar izlenebilmektedir (38).

Deride elektrik akımı lezyonu oluşup oluşmaması akımın şiddeti, iletkenlik, derinin nem oranı gibi şartlara bağlı olarak değişmektedir (25). Akım geniş bir alandan geçerse ve yüzey nemli ise ısı etkisi nispeten azalacaktır. Banyoda ya da yüzme havuzunda meydana gelen elektrik çarpmalarında %40 olguda deride lezyon izlenmemektedir. Bunun nedeni elektrik akımının geniş bir yüzeyden vücuda girmesi ve derinin ıslak olması nedeni ile direncin düşük olmasıdır. Ayrıca su, deri ısının yükselmesini de engeller. Bu olgularda olay yeri inceleme sonuçları büyük önem taşır (1).

Elektrik yanıklarının genel bir özelliği yanık periferinde soluk bir halka bulunmasıdır. Bu soluk halkanın muhtemelen akımın kan damarlarındaki kaslara direkt etkisi ile oluştuğu ve elektrik çarpması için patognomonik olduğu düşünülmektedir. Genellikle bu soluk bölgenin çevresinde hiperemik bir bölge bulunmaktadır. Hiperemi aynı zamanda hemen yanık alanının kenarında soluk halkanın iç kısmında da bulunabilir. Bazı olgularda ise vezikül-hiperemi alanlarının karışımı bir lezyon görülebilir. Eğer yanık, bir telin uzunlamasına teması ile oluşmuş ve lineer bir hat şeklinde ise soluk alan bir halka şeklinde değil de yanığa paralel uzunlamasına olacaktır (2).

Direkt temasın olduğu bölgelerde sıcaklık kolaylıkla 95°C'ye kadar yükselebilmektedir (25). Voltaj yüksek, temas süresi uzun ya da iletken yüzeyi küçükse, deride yanık vezikülleri, erimiş keratin ve hiperemi görülebileceği gibi derin dokularda da yanıklar bulunabilmektedir.

Akımın geçişi ile ısınan dokular öncelikle en dış yüzeylerden soğumaya başlarlar. İç bölgelerdeki dokuların sıcaklığı daha uzun süre yüksek kalmakta ve bu nedenle derin yerleşimli dokular daha çok hasar görmektedir. Üzerinde sağlam

deri ve kas tabakası bulunmasına rağmen kemik etrafındaki derin kas dokularında sınırları net seçilemeyen nekroz alanları oluşabilmektedir (38).

Bazen elektrik akımı lezyonları postmortem dönemde meydana gelmiş olabilir. Elektrik akımına maruz kalarak aniden ölen ve pozisyonu sebebiyle elektrik akımına maruz kalmaya devam eden olgularda postmortem elektrik akım lezyonları oluşabilir. Postmortem dönemde elektrik akımı uygulamasıyla yanık ve vezikül oluşabilmektedir. Ancak ölümden sonra belli bir süre geçmiş ise "vital reaksiyon" belirtisi olan hiperemik alanın oluşmadığı bildirilmektedir (2). Yapılan bir çalışmada domuz epidermisine postmortem dönemde elektroşok cihazı uygulanması ile oluşan lezyon çevresinde eritem izlenmemiştir. Bunun ayırıcı tanıda kullanılabileceği belirtilmiştir (2, 59).

Elektriğe bağlı termal hasar lokal bir nekrozdan tam bir karbonizasyona kadar değişebilmektedir (60). Deride izlenen hasarın derecesi üzerinden, doku hasarı derecesi öngörülmeğe çalışılmamalıdır (46).

Derideki elektrik yanıkları makroskopik olarak şu şekilde sınıflandırılabilir:

I- Sıkı temas lezyonları

II- Ark yanıkları

III- Dendritik yanıklar (2).

I- Sıkı Temas Lezyonları

Bu lezyonlarda elektrik kaynağı ile deri sıkıca temas etmektedir. Akımın dokudan geçmesi ile elektrik enerjisinin bir bölümü ısı enerjisine dönüşmektedir. Bu ısı artışı dokuların ısınmasına neden olarak termal yanıktaki gibi bir lezyon oluşturabilmektedir. Isı yeterli miktarda ise gri-sarı renkte sert kıvamlı bir koagülasyon nekrozu oluşacaktır. Ayrıca bazen epidermo-dermal bir vezikül de meydana gelebilmektedir. Bu vezikül sıvı veya gaz ile dolu olabilir. Akım kesilmesiyle oluşan vezikül soğumakta ve çökebilmektedir. Vezikül merkezi çökük, çevresinin ise gri-beyaz renkte halka şeklinde kabarık olduğu görülebilir

(Şekil 2.2). Ayrıca bu vezikülün otopsi yapılana kadar tamamen kaybolabileceği de unutulmamalıdır. Eğer akım kaynağı deriye dik duran ince bir tel ise, akımın bir noktaya yoğunlaşmasıyla deri altı dokuya da penetre çukur tarzında bir yara izlenebilir. Ölüm genellikle kısa sürede olduğu için bu olgularda iltihabi doku reaksiyonu ya çok azdır ya da hiç bulunmamaktadır (2). Elektrik akımı lezyonlarının genellikle uzun bir iyileşme dönemleri olduğu belirtilmektedir (61).



Şekil 2.2. Merkezi çökük, çevresi gri-beyaz renkte halka şeklinde kabarık elektrik temas lezyonu.

Akım giriş ve çıkış yanıkları, temas yüzeyi ile alakalı olarak geniş bir alanı kaplayabileceği gibi iğne ucu kadar küçük de olabileceğinden gözden kaçabilirler (39, 57). Sıkı temasta akım yüksek dirençli deriden geçerken doku sıvılarının ısısı yükselir ve buhar oluşur. Bunun sonucunda epidermis tabakalarında ya da epidermis-dermis bileşkesinde ayrışma oluşarak blister meydana gelir. Akım kesilince de blister çöker. Böylece tipik elektrik akım izi yuvarlak, oval veya uzunlamasına bir krater şeklindedir. Kraterin tabanı genellikle soluk ve koyu kahverenkli. Çökük olan alanın etrafında soluk bir halka ve bunun dışında da hiperemik bir alan bulunmaktadır (Şekil 2.3). Soluk alan elektrik akımının arterioller duvarlarında meydana getirdiği kasılma sonucu oluşmaktadır. Bazı durumlarda

elektrik giriş lezyonu, etrafında soluk ya da hiperemik alan izlenmeyen küçük beyaz blister şeklinde de görülebilmektedir (1, 62). Kablo ile temas sonrasında izlenen çizgisel yanık örneğinde olduğu gibi, bazen yanığın şeklinden temas eden iletken nesneyi tahmin etmek de mümkün olabilmektedir (57).



Şekil 2.3. Ortasında elektrik akımının ısı etkisiyle oluşmuş yanık alanı, etrafında soluk bir halka ve bunun dışında da hiperemik alan bulunan temas lezyonu.

II- Ark Yanıkları

Ark yanıkları alçak voltajlardan daha çok yüksek voltajlarda, akımın bir kıvılcım şeklinde akım kaynağından deriye atlamasıyla oluşmaktadır. Kuru havalarda 1000 V'luk akımların bir kaç milimetre atlayabildiği, 100 kiloVolt'un ise 35 santimetre atlayabildiği belirtilmektedir. Kişi eğer akım kaynağını sıkıca tutuyor ise ark yanıkları oluşmamaktadır. Ark yanıkları hem giriş hem de çıkış yerlerinde görülebilir. Elinden yüksek voltaj akım girmiş olan ve ayaklarında kauçuk çizmeler bulunan kişilerde akımın atlaması sonucu ayaklarda ark yanıkları izlenebilmektedir (2).

İçten yanmalı motorların bujilerinde olduğu gibi ark akımlarında da çok yüksek ısılar oluşmaktadır. Sıcaklık 3000-4000°C'ye kadar yükselebilmektedir (2, 63). Bu sıcaklık ise flash yanıklarına, elbiselerin yanmasına ve elektro-mekanik etkiye sebep olabilmektedir. Sıcaklığın etkisi ile derinin keratinize tabakası küçük bir bölgede erir ve soğumanın ardından eriyen noktanın etrafındaki keratin sert, sarı-kahverengi renkte etraf dokudan yüksek bir nodül (kıvılcım lezyonu) olarak gözüktür. Bu lezyonun etrafında ise kapiller kontraksiyona bağlı soluk bir bölge ile bunun hemen yanında bir vezikül de bulunabilir (2). Elin ve akım kaynağının hareketli olması veya ileticinin şeklinin düzensiz olması nedeniyle sıkı temas lezyonu ve ark yanıklarının bir arada bulunduğu olgular daha sık izlenmektedir (2, 37).

Çok yüksek voltajlarda geniş bir termal yanık alanı ve sayısız ark yanıkları bir arada görülebilir. Bu lezyona "Timsah Derisi Görünümü" de denilmektedir (2).

Ark yanıkları genellikle elektrik şebekelerinde çalışan kişilerde, yüksek voltaj taşıyan telleri çalmaya çalışan hırsızlarda görülmektedir. Tellerle temas gerekmez, kıvılcımların atlaması ile deride alev yanıkları meydana gelir (24).



Şekil 2.4. Ark yanığı.

III- Dendritik Yanıklar

Yıldırımlarda ve 250.000 volt gibi yüksek voltajlı akımlar ile yaralanmalarda ortaya çıkan ağaç dalları biçiminde deri lezyonlarıdır. Eğrelti otu veya Lichtenberg görünümü olarak da tanımlanabilmektedirler. Bu lezyonun yıldırım ve yüksek voltaj yaralanmaları için patognomonik olduğu düşünülmektedir (2). Lichtenberg görünümü, yıldırım çarpması olgularının yaklaşık olarak %30'unda gözlenen, kırmızı renkli bir lezyondur (39, 57).

Bu lezyon bir kaç saat içinde gözle görünemeyecek şekilde azaldığı için hemen aranması gerektiği belirtilmiştir. Bu lezyonun, elektrik akımının geçtiği bölgede parçalanmış eritrositlerden açığa çıkan hemoglobinin dokuları boyaması veya damarların vazodilatasyonu neticesinde ortaya çıktığı düşünülmektedir. Ancak kan damarlarının dağılımı ile direkt ilişkili olmadığı ifade edilmektedir (64).

Diğer bir kaynakta ise Lichtenberg görünümünün yaralanmadan 1 saat kadar sonra belirginleştiği, fakat 24 saat içinde gittikçe azalarak kaybolduğu bildirilmiştir. Bu lezyonun (+) yükler ile oluştuğu düşünülmektedir (65). Kişinin (-) yüklü bir yıldırım akımına maruz kalması ve bu esnada da yakındaki topraklanmış bir cisimden (+) yüklü sekonder akımın atlaması ile olduğu düşünülmüştür. Diğer bir olasılık ise (+) yüklü yıldırımın vücuda girdiği bölgede bu lezyonun meydana gelmiş olmasıdır. Her iki görüşte diğerini dışlamamakla beraber bu eğrelti otu benzeri lezyonların neden seyrek olarak görüldüğünü açıklamaktadır (66).

2.3.2.1.1. Elektrik Akımına Bağlı Deri Lezyonlarının Mekanizması

Elektrik yaralanmalarının patofizyolojik özellikleri düşünüldüğünden daha karmaşıktır. Elektrik akımına bağlı morfolojik değişikliklerin oluşumu ile ilgili iki farklı görüş ortaya atılmıştır. Birinci görüş elektrik lezyonundaki değişikliklerin elektrik akımı sonucu gelişen ısı nedeniyle oluştuğunu ileri sürmektedir. Diğer görüş ise elektrik akımının ısı etkisinin yanı sıra histopatolojik olarak saptanabilen

başka değişikliklere de neden olduğu fikrini savunmaktadır. Bu görüşe göre deride elektrik hasarı “termal hasar” ve “elektroporasyon hasarı” olmak üzere iki şekilde oluşmaktadır (1, 67).

I-Termal Hasar:

Elektrik akımının katı bir iletkeninden geçişi esnasında elektrik enerjisinin bir kısmı ısı enerjisine dönüşür ki bu Joule effect = $J = I^2 \times R \times T$ etkisi olarak bilinir. Ohm kanununa göre: Akım (I) = Voltaj (V) / Rezistans (R) denklemi ile dokulardan geçen akım miktarı belirlenir. Ortaya çıkacak olan ısı ise: Isı (J) = $I^2 \times R \times T$ (T=Termas süresi) formülü ile hesaplanır (35).

Termal doku hasarının nedeni akımın geçtiği yolda oluşan ısı üretimidir. Bu bölgede artan ısı ile birlikte moleküler hız, dolayısı ile moleküler çarpışma sıklığı artmaktadır. Çarpışan moleküller arasında enerji transferinin artması moleküler hızı daha da artırır. Isı yeterince yükselince proteinler, fosfolipidler gibi hücre membran komponentlerinde hasar oluşur (1, 67).

II-Elektroporasyon Hasarı:

Elektroporasyon hasarında ise elektrik akımının dokulardaki iyonik solüsyonlardan geçmesi ile dokuda elektroliz meydana gelmektedir. Hücrelerde elektrik yüklü moleküllerin dağılımı ve membran potansiyelleri değişir. Elektroporasyon hasarı elektrik akımının dokuda bulunan yüklü partiküllere direkt etkisi ile oluşur. Hücre sitoplazması ve interstisyel alan iletken özellikte olup bu iki ortam birbirine benzer iyon yapısına sahiptir. Ancak hücre membranının iletkenliği bu ikisine nazaran düşüktür, bu nedenle sitoplazma içinde voltaj düşük olmaktadır. Hücre membranında “transmembran potansiyel fark” büyük değerlere ulaştığında membranda protein denatürasyonuna bağlı porlar meydana gelir (1, 67).

Elektrik akımı, molekül ve organellerin yapılarını değiştirerek hücre hasarına sebep olmaktadır. Çift tabakalı lipid yapısı ve membranların protein yapısı, elektrik akımına en duyarlı bileşenlerdir. Bir hücrenin doğal transmembran potansiyeli 50-70 milivolt (mV)'dur. Bu potansiyelin 200-300 mV üzerine çıkması ile elektroporasyon olarak da tanımlanan yapısal bozukluklar oluşur (68). Hücre membranları 600-800 mV üzerindeki transmembran potansiyeline maruz kaldığında anatomik olarak yapısal bütünlüğünü koruyamaz. Bu düzey üzerindeki transmembran potansiyelleri membran fosfolipid bileşenlerinde hücre membranından sıvı ve iyonların serbestçe geçişine izin veren porların oluşmasına, dolayısı ile membran fonksiyon kaybına ve hücre ölümüne neden olur. Myosit membranlarındaki bu yapısal defektler (porlar) Bhatt ve ark. tarafından elektron mikroskobu ile görüntülenmiştir (69).

Temas süresi lezyonun oluş mekanizması açısından da önemlidir. Elektrik kaynağı ile temas süresi kısa ise hücre hasarında termal olmayan mekanizmalar ön plana çıkarken temas süresi uzarsa termal hasar daha çok öne çıkacaktır. Termal hasarın düzeyi hücrenin boyutu ile ilişkili değilken büyük hücrelerin elektroporasyon ile membran yıkımına daha duyarlı oldukları ileri sürülmektedir (51).

Elektrik akımının anında görülen etkilerinin yanı sıra gecikmiş etkileri de mevcuttur. Elektrik akımına maruz kalındığı anda oluşan hasar yanında olaydan saatler sonra meydana gelen ilerleyici doku hasarından bahsedilmektedir. Ancak bu konuda tam bir fikir birliği yoktur (70). Zelt ve ark. (71) tüm hasarın ilk anda meydana geldiğini ileri sürerken, Robson ve ark. (72) prostaglandin, tromboksan gibi hasar bölgesinde salınan humoral komponentlerin neden olduğu iskemi sebebiyle ilerleyici bir doku hasarının oluştuğunu ileri sürmüştür. Kalkan ve ark. (70) elektrik akımı yaralanmalarında yüksek voltajlı elektriğin kısa ve uzun dönemdeki etkilerini araştırmak üzere yaptıkları çalışmalarında, nekrozun başlamasından sonra geçen zamanla birlikte kas perfüzyonunun azaldığını, bu nedenle dokuda ilerleyici nekrozun oluştuğunu göstermişlerdir. Ayrıca direnci yüksek olan kemik dokusunun etraf yumuşak dokuya göre daha çok ısındığı ve

sıcaklığı yüksek kemiğin iskelet kasını yakarak nekroza neden olduğu ileri sürülmektedir (51).

Düşük voltajlı elektrik yaralanmaları termal yanıklara benzer; hasar zonları yüzeyden derine ve çevreye doğru ilerler. Oysa 1000 voltun üzerindeki yüksek voltajlı elektrik yaralanmaları termal yanıklardan farklı fizyopatolojik mekanizmayla oluşmakta ve spesifik bir hastalıktan öte bir sendrom özelliği taşımaktadır. Oluşan hasarın başlıca özelliği nekrozun en fazla kemikleri çevreleyen derin dokularda olması ve başlangıçta sağlam görünen dokuların ilerleyen günlerde nekrotik hale gelmesidir (35). Daha önce ileri sürülen aksine ısısının en yüksek dirence sahip olan kemikte artmadığı, aksine daha az dirençli olan kaslardaki ısı artışına sekonder olarak kemiklerin ısındığı ancak kemiklerin ısınıp daha geç kaybetmesi nedeniyle en fazla nekrozun kemik çevresindeki kaslarda olduğu gösterilmiştir. Diğer yandan akımla temas noktasının çok uzağında oluşan hasarı sadece ısı etkisi ile açıklamak mümkün değildir. Yapılan deneysel çalışmalarda yeterince şiddetli elektrik akımının hücre zarını doğrudan rüptüre edebileceği gösterilmiştir (35, 73). Yüksek voltajlı elektrik yaralanmalarının, akut dönemde mikroskobik düzeydeki önemli karakteristik bulgusu yamalı (patchy) nekrozdur. Sağlam adale hücreleri ve açık damarlar ile nekrotik hücreler ve tromboze damarlar yaralanmanın hemen sonrasında bir arada gözlenir. İlerleyen günler içerisinde yamalı nekroz alanları tamamen nekrotik hale gelir. İlerleyici nekrozun fizyopatolojisini açıklamak için hücrelerin elektrik yaralanmasına verdikleri erken ve geç yanıtların incelenmesi gerekir. Hem ortaya çıkan ısı hem de elektrik akımının doğrudan etkisi ile fosfolipaz A aktive olur ve hücre membranlarındaki fosfolipidler parçalanarak araşidonik asit metabolitleri ortaya çıkar. Normalde dengede olan araşidonik asit metabolitleri tromboksan lehine artar. Yüksek miktarlarda tromboksan üretimi vazokonstriksiyon, tromboz, ilerleyici iskemi ve daha fazla tromboksan üretimi ile sonuçlanır (35, 74). Robson ve arkadaşlarının sıçanlarda yaptığı çalışmada, hasarlanmamış deri altındaki derin dokularda tromboksan üretiminin arttığı, tromboksanın yamalı bir dağılım gösterdiği ve zamanla tromboksan artışının yüzeye doğru ilerleyerek başlangıçta yamalı nekroz şeklinde görülen alanlarda da tam nekroz geliştiği gösterilmiştir. Aynı çalışmada, tromboksan üretimini bloke edici ajanların topikal ve sistemik

kullanımı ile elektrik hasarı oluşturulan sıçan arka bacaklarında yaşayan bacak uzunluğunun %37.2'den %79.8'e çıkartıldığı, amputasyon oranlarının %30-40 oranında azaltıldığı ve hatta bazı hayvanlarda bacağın tamamen kurtarıldığı gösterilmiştir. Sonuç olarak başlangıçta sağlam görünen dokuların daha sonra nekroza gitmesinde başlıca rolü elektrik akımının kendisi değil tetiklediği enflamatuar mediyatörlerin oynadığı belirtilmiştir (72).

Alternatif akımın frekansı yüksek ise iyonlar hareket etmeye fırsat bulamaz ve elektroporasyon etkisi görülmeksizin elektrik akımının tek etkisi ısı üretimi olur. Bu nedenle yüksek frekanslı alternatif akım kas kontraksiyonu, sinir stimülasyonu gibi lokal etkiler yapmadan ısı üretimi sağladığı için elektrocerrahide kullanılabilmekte, karbonizasyondan koagülasyon nekrozuna kadar değişen ciddi ısı hasarı oluşturulabilmektedir (75). Ayrıca düşük enerjili doğru akımın elektrolitik etkisi, kıl köklerini hasara uğratmak için (epilasyon) kullanılabilmektedir (76).

2.3.2.1.2. Elektrik Akımına Bağlı Deri Lezyonlarında Histopatolojik Bulgular

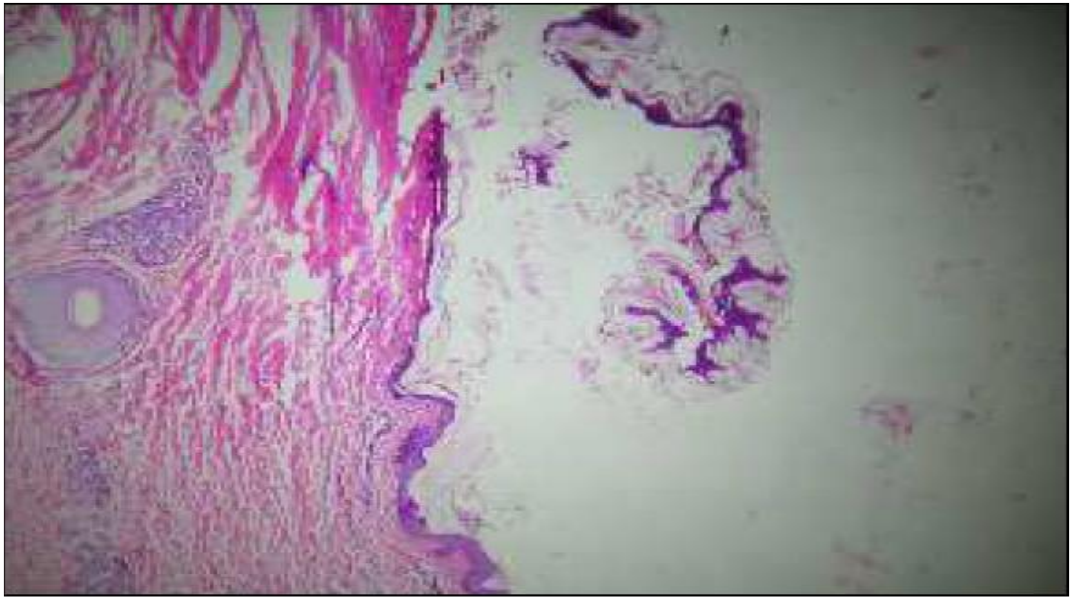
Elektrik akımına bağlı ölüm olgularının tanısında öncelikle makroskobik inceleme yapılmakta, daha sonra şüpheli lezyonlardan örnek alınarak ışık mikroskobisi ile incelenmektedir. Sadece makroskobik inceleme ile gerçek bir tanının konulması mümkün olmadığından mümkün olan her olguda histolojik inceleme yapılmalıdır.

Bu amaçla elektrik akımlarının deride meydana getirdiği lezyonların histolojik özelliklerinin tespitine yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmaların, bu lezyonların adli tıp pratiğinde kullanılabilecek histolojik tanı kriterlerinin tespiti konusunda yoğunlaştığı görülmektedir (2).

-Elektriğe Bağlı Deri Lezyonlarında Işık Mikroskobu Bulguları:

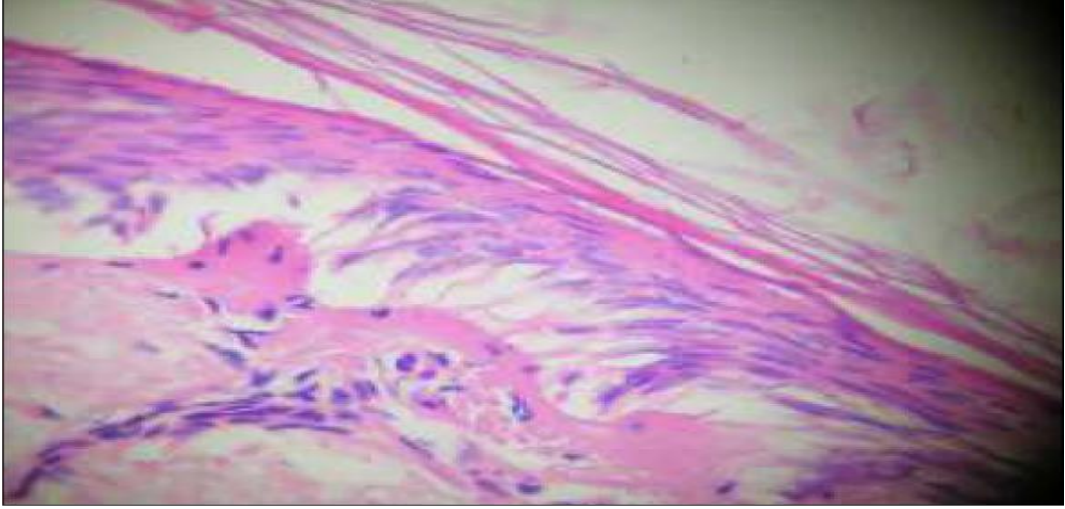
Elektrik akımı lezyonlarının tanısı için bir çok morfolojik kriter tanımlanmıştır. Lezyonların mikroskopik incelemesinde izlenen başlıca morfolojik bulgular şu şekildedir.

a) Normal ve lezyonlu deri arasındaki sınırın keskin olması dikkat çekicidir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Resmin üst kısmında elektrik lezyonu, alt kısmında çevre deri ve aradaki keskin sınır (Hex100) (1).

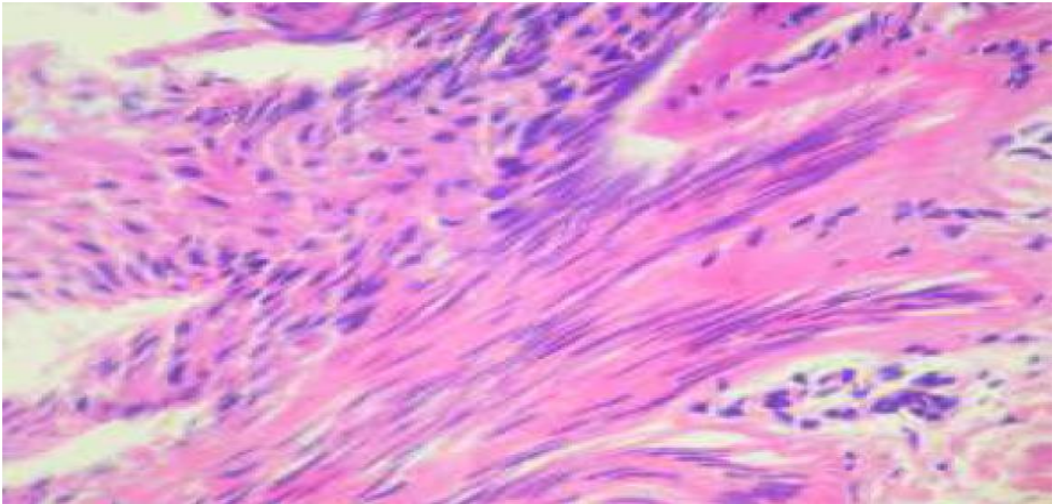
b) Epidermis içinde ayrışmalar, mikrovezikül oluşumu ve epidermisin dermal papillalardan ayrışması sık görülen değişikliklerdir (Şekil 2.6). Epidermis içinde veya dermoepidermal bileşkede görülen bu ayrışmaların nedeni buharlaşan doku sıvılarının oluşturduğu gazın hücreleri ayırmasıdır.



Şekil 2.6. Elektrik lezyonunda subepidermal alanda (epidermis-dermis arasında) ayrışma (Hex200) (1).

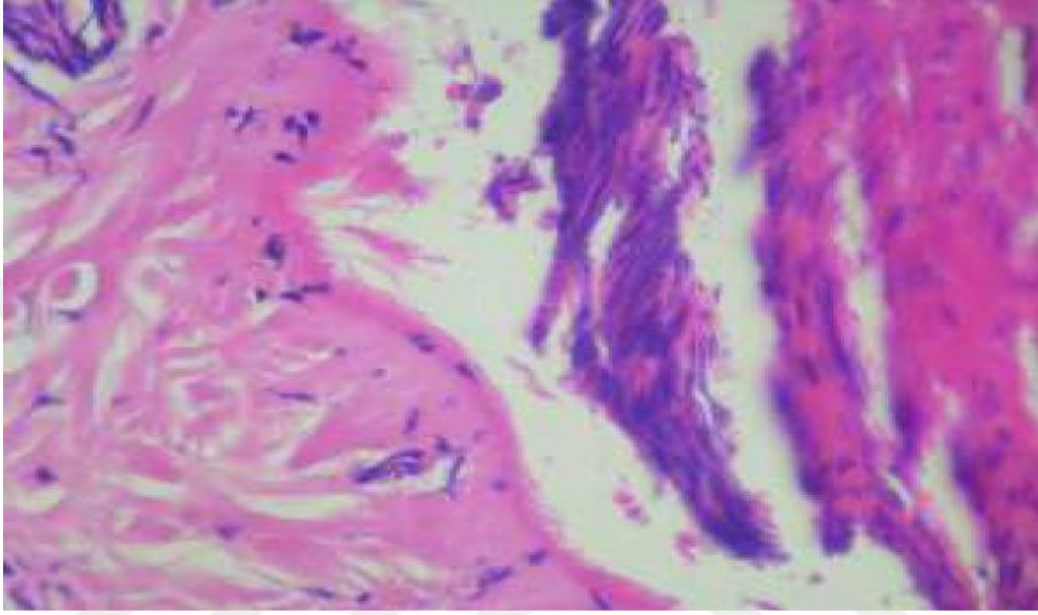
c) Isı artışı çok fazla ise tüm epidermisi tutan koagülasyon nekrozu oluşur.

d) Nekrozun kenarında epidermal hücre nükleuslarında uzama (elongasyon, streaming), piknoz, paralel demetler halinde dizilme (palizadlanma, nükleer streaming) şeklinde değişiklikler görülür (Şekil 2.7). Hücre çekirdekleri alttaki papiller derminin yönünde ışınal olarak dizilirler. Bu değişiklikler başta kıl follikülü olmak üzere deri eklerinde de görülür. Uzamış nükleuslar sarmal, spiral, halka, palizad veya öbek şeklinde morfolojik varyasyonlar gösterebilirler.



Şekil 2.7. Elektrik lezyonunda epidermal hücre çekirdeklerinde incelmeye, uzama, paralel demetler halinde dizilme (Hex200) (1).

e) Dermisde kollajen liflerde şişme, koagülasyon nekrozu nedeni ile oluşan homojenizasyon, damarlarda trombüs oluşumu gözlenebilir. Kollajen lifler arasında normalde izlenen boşluklar kaybolmuştur (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Epidermis-dermis arasında ayrışma, dermisde homojenizasyon (Hex200) (1).

f) Elektrik akımı lezyonlarında epidermal hücrelerin, kıl follikülü epitelinin ve endotel hücrelerinin çekirdeklerinde koyu boyanma izlenir (1).

Elektrik lezyonlarının histopatolojik incelemesinde kullanılan kriterler arasında en çok epidermisde nükleuslarda uzama üzerinde durulmaktadır. Özellikle elektrik çarpması olgularıyla ilk karşılaşılan dönemlerde birbirine paralel olarak dizilmiş piknotik ve uzamış görünümdeki bu çekirdeklerin elektrik enerjisinin elektromagnetik etkisi ile oluştukları ve akım yönüne paralel şekilde dizildikleri görüşü taraftar bulmaktaydı (1, 41). Ancak günümüzde epidermal nükleer uzamanın elektrik akımı lezyonu tanısında kullanılması konusunda tartışmalar mevcuttur. Çünkü yapılan çalışmalar benzer nükleer uzamaların ısı yanıkları, künt deri yaralanmaları, koterizasyon, kuruma, donma ve barbitürat zehirlenmelerinde görülen blisterlerin kenarlarında da oluştuğunu ortaya

koymuştur (1, 77). Nükleer uzamanın mekanizmasını araştırmak için Takamiya ve ark. farelerin sırtlarına 100 V elektrik enerjisi ve ısı enerjisi uygulamışlar ayrıca deri flepleri ile bası uygulayarak basının epidermis üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmada alınan deri örneklerinin rutin boyama yöntemleri ile incelemesinde elektrik akımı lezyonlarında epidermisde incelme, epidermal hücrelerde bazal membrana paralel seyreden nükleer uzama, dermisde homojenizasyon izlemişler, dermisde kollajen lifler arasında normalde görülen boşlukların kaybolduğunu görmüşlerdir. Isı lezyonlarının da hemen tamamında epidermal hücrelerde uzama saptamışlardır. Epidermal nükleer uzama insidansının denatüre dermal kollajen liflerin kalınlığı ile korele olduğunu göstermişlerdir. Kont zyonda ise alınan örneklerde nükleuslarda uzama izlenmekle birlikte bunun epidermis derinliği ile ters ilişki gösterdiği g r lm ştur. Nükleer uzamanın hem elektrik hem de yanık lezyonlarında benzer olduğunu tespit etmişlerdir. Sonuçta elektrik, yanık ve kontüzyon tipi deri yaralanmalarında izlenen epidermal nükleer uzamanın termal hasarın bulgusu olduğu sonucuna varmışlardır (78).

Isı ile ödemli hale gelen dermisin epidermisi yukarı doğru basıya uğratması sonucu epidermis kalınlığının azalması ve n kleuslerin düzleşmesi ile epidermis hücre çekirdeklerinde elongasyon oluşur. Yani dermal basının mekanik etkisi ile epidermal nükleer uzamanın gerçekleştiği ileri sürülmektedir (1).

Elektrik akımının deride meydana getirdiği lezyonu tanımlamak için bahsi geçen bir çok histopatolojik bulguyu aramamız gerekir. Bazı bulgular subjektiftir. Xu ve ark. derinin histopatolojik incelemesinde objektifliği sağlamak amacı ile bu lezyonları “bilgisayarlı görüntü analizi” (computerized image analysis) yöntemi ile incelemişlerdir (79). Bu sistem ışık mikroskopu, buna bağlı dijital video kamera, yüksek  z n rl ğe sahip bir bilgisayar sistemi ve çalışma için uygun yazılımdan oluşmaktadır. Bu sistemle hücrelerin uzunluk, çap,  evre, koyuluk derecesi gibi bir çok morfolojik özellikleri değerlendirilebilmektedir. Tüm bu ölçümler morfometri olarak tanımlanır (1). Xu ve ark. elektrik lezyonu kesiti ile normal deri kesitini bilgisayarlı görüntü analizi (CIA) yöntemi ile morfometrik açıdan karşılaştırmışlar ve elektrik lezyonları için objektif ve kantitatif bir indeks

oluşturmaya çalışmışlardır. Bu çalışmada elektrik çarpması ile ölen 11 otopsi olgusundan ve 10 kontrol olgusundan alınan deri örnekleri incelenmiş, her olguda sınırları seçilebilen 10 hücrenin uzun eksen ve kısa eksenini ölçülmüş ve uzun eksenin kısa eksene oranı saptanmıştır. Aynı işlem kıl kökü epiteline ve kapiller endotel hücrelerine de uygulanmıştır. Bu çalışmada epitelyal bazal hücrelerin uzun/kısa eksenlerinin oranları açısından elektrik lezyonu ile normal deri arasında anlamlı fark bulunmuştur. Elektrik lezyonunda bu oran 5.9325 iken normal deride 1.4344 olarak hesaplanmıştır. Kıl follikülü hücrelerinde de sonuçlar anlamlı iken kapiller endotel hücrelerinde anlamlı fark bulunmamıştır. Bu çalışmada şu sonuçlar elde edilmiştir:

1- Elektrik akımıyla hasarlanmış deri ile normal deri arasında epitel bazal hücre çekirdekleri ve kıl follikülü hücre çekirdeklerinde uzun/kısa eksen oranında belirgin farklılık mevcuttur.

2- Bu farkın esas nedeni kısa eksenin farklı olmasıdır. Bu nedenle çekirdeğin elonge değil de incelmış olarak tarif edilmesi daha doğru olacaktır.

3- Epidermis bazal hücreleri ve kıl follikülü hücrelerinin uzun eksen/kısa eksen oranı elektrik lezyonunu tanımda objektif standart olarak kullanılabilir (1, 79).

Elektrik akımların oluşturduğu lezyonların histolojik görünümünde lezyonun homojen şiddette olduğu, saf termal yanıklarda ise bunun aksine lezyonun derin dokulara gittikçe azalma özelliği gösterdiği belirtilmektedir (63).

Deride kollagen lifler, kıl follikülleri, damar ve sinirler gibi birbirinden çok farklı dirençlere sahip dokular bulunduğu göz önüne alındığında; her olguda ve her olgunun değişik lokalizasyonlarında farklı bulguların görülmesi beklenmektedir (2).

Elektrik akımına bağlı lezyonların sınırlarının değerlendirilmesi için henüz elimizde objektif kriterler bulunmamakta, bu konuda kişisel deneyimlere dayanılması ve ayırıcı tanıda dikkatli olunması önerilmektedir. Elektrik teması altındaki şişmenin, nekrozun ve kanamaların eşit olmayan dağılımına dikkat

edilmesi gerekir. Bu değişiklikler deri ekleri bölgesinde daha belirgindir. Değişken lezyon şiddetinin, akımın en az direnç gösteren dokulardan geçerek (subepidermal vasküler yapılar) gittiğinin bir belirtisi olduğu ifade edilmektedir. Seri kesitlerde nekrozun tabanda ve kenarlarda eşit olmayan şekilde dağıldığı ve kafes biçiminde olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle bir elektrik lezyonunun derinliğini tam olarak anlayabilmek için deri yüzeyine dik kesitler yaparak histolojik olarak incelenmesi önerilmektedir (80).

Yapılan deneysel bir çalışmada, elektrik akımının oluşturduğu nekrozun dermisteki sağlam kas dokusunu geçerek derin dermisteki kollagen liflerde devam ettiği görülmüştür. Bu özellik termal lezyonların hiçbirinde bulunmazken elektrik akımı lezyonlarında 35/40 (%87.5) gibi yüksek bir oranda tespit edilmiştir. Bu çalışmada, deride dermis ve erektör kas pilisi dışında kas dokusu olmaması nedeniyle biyopsilerin kas dokusu içerecek kadar derin olarak alınması önerilmektedir (81).

Nekrozun atlamalı olması; dokuların elektrolit içeriğinin farklı olması sebebiyle dirençlerinin de farklı olması sonucunda elektrik akımının eşit olmayan bir şekilde dokulardan geçtiğini göstermektedir. Bu özelliğın termal lezyonların hiçbirinde görülmemiş olması bu görüşü destekler niteliktedir. Sağlam kas lifleri etrafındaki kollagen liflerin nekrozu “seçici elektrik nekrozu ” (selective necrosis of electricity) olarak tanımlanmış ve alternatif elektrik akımları için patognomonik olduğu düşünölmüştür (2, 81).

Üzün ve ark. ışık mikroskobunda tespit edilen bazı morfolojik değişimlerin elektrik lezyonu, alev yanığı ve abrazyon ayırıcı tanısında kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Bunlar:

- Elektrik akımı lezyonlarında epidermis içinde ayrışma daha sık iken, alev yanıklılarında subepidermal ayrışma daha sıktır.
- Tek başına epidermis içinde ayrışma varsa ya da lezyonda epidermis içinde ayrışma ve subepidermal ayrışma birlikte ise bu lezyon büyük olasılıkla elektrik kaynaklıdır.

- Epidermal hücrelerde nükleer uzamalar genellikle elektrik lezyonlarında oluşmaktadır. Abrazyonlarda ise hafif nükleer uzama görülür.

- Abrazyonda koyu nükleer boyanma dikkati çekebilir ve homojenizasyon daha derin olabilir.

- Epidermal çekirdekte hafif uzama, çekirdekte koyu boyanma ve yaygın homojenizasyon varsa lezyon muhtemelen sıyrıktır (82).

Elektrik akımı lezyonları esas olarak bir koagülasyon nekrozudur. Bu lezyonlar pütrefaksiyona oldukça dirençlidirler. Bu nedenle şüpheli olgularda mezar açma işlemi yapıldığında, elektrik akım izlerinin bulunma ihtimali oldukça yüksektir (2, 66). Tahnit edildikten sonra gömülen ve 23 gün sonra deri lezyonları hemotoksilen eozin ile boyandıktan sonra incelenen ve tanı konulan bir olgu bildirilmiştir (83).

Sonuç olarak elektrik çarpması sonucu öldüğü düşünülen bir olgudan alınan deri lezyonunun histolojik incelemesinde ışık mikroskobunda;

- Epidermis içinde veya epidermis – dermis arasında ayrışma,

- Epidermal hücre çekirdeklerinde incelme, uzama ve yan yana dizilme, hiperkromatizm,

- Dermisde homojenizasyon,

- Deri ekleri hücrelerinde incelme ve uzama,

- Etkilenmiş bir deri ekinin hemen komşuluğunda etkilenmemiş kollajen liflerin saptanması aramamız gereken temel özelliklerdir (1, 10).

-Elektrik Lezyonlarında Elektron Mikroskobu Bulguları:

Elektron mikroskobunun keşfi bilimsel alandaki birçok çalışmaya ışık tutmuştur. Kullanım alanlarından biri de elektrik lezyonlarının tespitine yöneliktir. Elektrik lezyonlarının tespiti amacı ile elektron mikroskobu; elektrik akımının iskelet kaslarında oluşturduğu ultrastrüktürel değişikliklerin saptanması, elektrik ve ısı yaralanmalarında dermis yüzeyinin taramalı elektron mikroskobu ile

incelenmesi, elektrik lezyonunda hücre ve hücre çekirdeği boyutlarında ve şekillerinde meydana gelen değişikliklerin bilgisayarlı görüntüleme analizi ile değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Son zamanlarda Enerji Dağılımlı Spektrometreli Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDS) kullanımı daha önemli bir konuma gelmiştir. Çünkü bu yöntemle, partiküllerin hem elementsel bileşimi, hem de morfolojik bilgileri değerlendirilebilir. Ayrıca sistemlerin otomatize edilmesi sayesinde daha hızlı ve güvenilir veriler elde edilmektedir (84).

Thomsen ve ark. (85) domuz derisinde elektrik ve ısı ile oluşturulmuş lezyonlardaki epidermal değişiklikleri elektron mikroskobu ile incelemişler ve ışık mikroskobunda izlenen değişiklikler ile EM bulguları arasında paralellik kurmaya çalışmışlardır. Elektrik lezyonlarının elektron mikroskobunda saptanan temel özellikleri şunlardır:

a) Stratum korneumun yüzeyinde kümelenmiş keratin, elektron dens bir materyal ile yer değiştirir. Bu alanda direncin yüksek olması nedeni ile yüksek ısı üretimi söz konusudur. Bu ısı artışı karbonizasyona veya metal depolanmasına neden olmaktadır (85). Keratin diskolorasyonu ise, ısı etkisiyle keratinin erimesi sonucu meydana gelen hem elektrik hem de termal yanıklarda izlenebilen, spesifik olmayan bir bulgudur (58).

b) Çoğu nükleusda kondanse kümelenme gösteren kromatin izlenir, nükleusun diğer alanlarında sadece ince fibriler ağ mevcuttur. EM ile incelemede ışık mikroskobunda izlenen veziküler nükleusların kondanse kromatini çevreleyen çok seyrek fibriler materyal içeren nükleuslar oldukları görülmüştür. Bazı nükleuslarda ise nükleoplazmada ince granüler dağılım mevcuttur ve bu hücrelerin nükleusları ışık mikroskobunda koyu bulanık görünümde izlenir.

c) Sitoplazma ince granüler görünümündedir. Işık mikroskobu ile bu özellik seçilemez, sitoplazma homojen görünümde izlenir.

d) Hücre membranı homojen sitoplazmalı hücrelerde seçilemez, seçilebilen hücrelerde membran bulanık görülmekle birlikte ısıda izlenen rüptür ya da düzensizlik yoktur (85).

Başka bir çalışmada elektrik lezyonlarında sitoplazma ve nükleuslarda oluşan morfolojik değişikliklerin sadece ısı üretimine bağlanamayacağı, 1 N sodyum klorid ile muamele edilen deride de benzer değişiklikler meydana geldiğinden, bu değişikliklerin elektroliz nedeni ile hücre içindeki Ph değişimi sonucunda oluştuğu fikri savunulmaktadır (86).

Elektrik ve ısı lezyonlarının EM ile değerlendirildiği bir başka çalışmada ise bu iki grubu ayırmanın mümkün olmadığı ve elektrik giriş lezyonundaki değişikliklerin elektrik akımı sonucu meydana gelen ısı artışı nedeniyle oluştuğu ileri sürülmüştür (87).

-Metal Artıklarının Tespiti:

Metal bir iletken den elektrik akımı dokulara geçtiğinde bir çeşit elektroliz olmakta ve metal iyonlarının bir kısmı deriye ve hatta deri altı dokuya yerleşmektedir. Bu olay hem AC hem de DC akımlarda görülmektedir. Metal iyonları doku anyonları ile birleşerek metal tuzları oluşturmaktadır. Bunlar çıplak göz ile görülemeyebilir. Ancak kimyasal, histokimyasal ve spektrografik teknikler ile tespit edilebilmektedir. Bu metal iyonlarının canlıda bir kaç haftaya kadar görülebildiği ve bu özelliğin postmortem değişikliklere de oldukça dirençli olduğu belirtilmektedir. Metalizasyonun çok aşırı olması halinde deri üzerinde çıplak göz ile de görülebilecektir. Bakır veya pirinç gibi iletkenler ile akım aktarılmış ise parlak bir kalıntı belirgindir. İletken bakır ise sarı-yeşil renkte, demir ise kahverengi-siyah renkte metalizasyon oluşabilmektedir (2).

Adjutantis ve Skalos'un uyguladıkları metotlar ile metalik birikintileri göstermek mümkündür. Bu metotta filtre kağıtları ile metaller lezyondan alınır. Bakır, demir, alüminyum, çinko ve nikel; nitrik asit veya hidroklorik asitte eritilir. Oluşan solüsyonlar bir seri basit ama spesifik reaktifler ile test edilir (2).

Son zamanlarda kullanılan scanning elektron mikroskopisi ile çoğu elektrik temasında olabilen ve mini arklar sonucunda deriye geçen az da olsa erimiş metal partiküllerini göstermek mümkün olmuştur. Taramalı elektron mikroskobu

yönteminde elde edilen sonuçların saklanabilir ve istendiği takdirde tekrar edilebilir olması kimyasal yöntemlere göre üstünlük sağlamaktadır. Ayrıca taramalı elektron mikroskobu yöntemi ile yapılan incelemeler hiçbir zaman histopatolojik incelemeye engel oluşturmaz. Çünkü taramalı elektron mikroskobu incelemelerinde kullanılacak materyal çift taraflı yapışkanlı stub (numune tablası) vasıtasıyla doku bozulmadan alınmaktadır. Materyal alındıktan sonra histopatolojik incelemeler için de örnek alınabilir. Hatta iki incelemenin birlikte yapılarak sonuçlarının karşılaştırılması hem kontrol hem de birbirini destekleme olanağı sağlaması açısından çok daha anlamlıdır (84).

Özaslan ve ark. trafo merkezinde yüksek gerilime kapılıp öldüğü bildirilen bir olguda ciltteki ark yanığı lezyonlarından çift taraflı karbon yapışkan stublar vasıtasıyla örnekler almıştır. Alınan materyallerin taramalı elektron mikroskobu ile incelenmesinde yoğun bir şekilde alüminyum, az miktarda demir ve diğer elementler tespit etmiştir. Trafo merkezlerinde iletken olarak alüminyum içerikli metallerin de kullanıldığı göz önünde bulundurulduğunda taramalı elektron mikroskobu bulgularının olayla uyumlu olduğu açık bir şekilde görülmüştür. Ayrıca lezyonsuz bölgelerden alınan örneklerde hiçbir elementin bulunmamasının da verileri destekler nitelikte olduğu değerlendirilmiştir (84).

Alternatif veya doğru akım elektrik yaralanmalarında metal transferini gösterme çalışmalarının etkinliği konusunda farklı görüşler bulunmaktadır. Ayrıca saf termal yanıklarda bile, sıcak metal bir cismin deriye temas etmesi ile metallerin deriye geçebileceği de bildirilmektedir (2).

2.3.2.2. Kas Dokusu

Elektrik akımlarının önemli bir etkisi de kaslarda spazma neden olmasıdır. 50 Hz'lik 10-40 mA arasındaki akımlar iskelet kaslarında tetanik spazma sebep olurlar (2). Akımın elden girmesi durumunda fleksör kas gruplarının daha güçlü olması nedeniyle el kapanır ve avuç içindeki materyal sıkıca kavranır. Elde tutulan alet veya tel istense de bırakılamamakta ve elektrik devresi bu şekilde kapalı kalmaktadır (37). 220 Volt 50 Hertzlik şebeke cereyanında, erkeklerde 9

mA, kadınlarda 6 mA üzerindeki akımların kas spazmı ile avuç içindeki objenin sıkıca kavranmasına neden olduğu bildirilmiştir (2).

Kas sistemindeki elektrotermal hasara bağılı ödem, doku nekrozu, kompartman sendromu ve rabdomyoliz oluşabilir. Kas hasarları ve nekroz genellikle damar tıkanması nedeniyle oluşur. Bununla birlikte bazı araştırmacılar kemiklerde ısı dağılımının daha yavaş olmasına bağlamıştır. Spastik kas kontraksiyonları ve ısının birlikte etkisi ile hasara uğramış kas lifleri lime lime görünür. Granüler ve vakuoler dejenerasyon vardır. Transmission elektron mikroskopunda, iskelet kaslarında hiperkontraksiyon bantları gözlenmiştir. Kompartman sendromu, kompresif nöropatiler ve nekroz gelişebilir. Nekrotik kas dokusunda sepsise yol açan sekonder enfeksiyon oluşabilir. Kaslarda yaygın hücre hasarı nedeniyle myoglobinüri gelişebilir (88). Ayrıca elektrik çarpmalarında akım boyunca derin dokularda da hasar olduğundan, crush sendromuna benzer şekilde, CPK, CK-MB ve laktat dehidrogenaz gibi çeşitli laboratuvar belirteçleri yükselmektedir. Doku hasarı sonucu artmış olan bu belirteçlerin hastanın prognozu ile ilişkisi araştırılmış ve doku hasarının takibinde kullanılabilir olduğu bildirilmiştir (33). Yapılan bir çalışmada da yüksek CK ve CK-MB değerlerinin hastanede kalış süresi ve amputasyon riskini arttırdığı bildirilmiştir (89). Cander ve ark. çalışmalarında hastaların CK-MB, lökosit ve yanık dereceleri ile yatış süreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu tespit etmişler (90).

2.3.2.3. Kemik ve Eklemler

Kaslardaki şiddetli kontraksiyonlara bağılı olarak kemik kırıkları ve eklemlerde çıkıklar oluşabilir. Isı etkisiyle kemiklerde fissürler gelişebilir. Sinir ve damar hasarına bağılı trofik değişiklikler görülebilir. Osteomyelit komplikasyonu gelişen olgular da bildirilmiştir (15, 24). Kemikler yüksek elektrik direnci nedeniyle elektrotermal hasara fazlaca maruz kalırlar. Bu yüzden periostal yanıklar, kemik matriks harabiyeti ve osteonekroz meydana gelebilir (91). Ayrıca fırlatılmaya ve yüksekte düşmeye bağılı olarak iskelet sisteminde kırıklar ve ciddi yaralanmalar oluşabilir (11).

2.3.2.4. Kardiyovasküler Sistem

Kan damarları yüksek sıvı içeriği nedeniyle iyi bir iletkendir. Damarlardaki elektrik hasarı direkt ya da indirekt etkiyle meydana gelir. Elektrik akımının farklı büyüklükteki damarlar üzerindeki etkisi değişkendir (22). Kan akışının fazla miktarda ve hızlı olması elektrik akımının oluşturduğu ısıyı dağıttığından büyük arterler akut olarak etkilenmezler. Ancak media nekrozu ile birlikte anevrizma oluşumuna ve rüptürüne yatkındırlar. İskelet kaslarının kasılmasına ve elektrik akımının sebep olduğu vazokonstriksiyona bağlı kan basıncı yükselmesi de anevrizma rüptürünü tetikleyebilir. Daha küçük damarlar koagülasyon nekrozuna bağlı akut olarak etkilenebilir ve tıkanabilirler. Elektrik akımı damarların intima ve mediasında hasar oluşturarak ani ya da gecikmiş tromboz ve buna bağlı iskemiye neden olabilmektedir (39). İskelet kasında mikrosirkuluar değişikliklerin incelenmesinde; venöz ve arteryal spazm, kapiller yatakta kan akımında durma saptanmıştır. 30 dakika içinde progresif vazokonstriksiyon geliştiği ve venöz endotelyumda nötrofil sayısında artış olduğu tespit edilmiştir. Bu değişikliklerin iskemi-reperfüzyon yaralanmasıyla benzer olduğu gösterilmiştir (92).

2.3.2.5. Kalp

Elektrik yaralanmalarına bağlı birçok sistemi ilgilendiren komplikasyonlar gelişebilir. En önemlilerinden biri kardiyak komplikasyonlardır. Elektrik yaralanmaları kalbi iki yolla etkiler. Birinci yol elektriğin direkt miyokardiyal nekroza neden olması, ikinci yol ise kardiyak aritmilere sebep olmasıdır (28, 93).

Miyokart hasarı elektriğin doğrudan etkisi ya da iskeminin uyarılması ile meydana gelebilmektedir. Hasar fokal ya da yaygın olabilir. Değişken hemorajilerle birlikte ileti sistemini, miyokardı ve koroner arterleri kapsayan kontraksiyon bantları ve fokal ya da yaygın nekrozlar izlenebilir (19, 39). Miyokardiyal hasar, akım tipi ve voltaja bağlıdır. Yüksek voltaj ile daha yaygın olma eğilimindedir (93).

Elektrik çarpmasına bağı olarak miyokardiyal infarkt, geçici hipertansiyon, sol ventrikül disfonksiyonu, kardiyak rüptür ve aritmi gibi kardiyak etkiler görülebilmektedir. Elektrik çarpmalarından sonra aritmi görülme oranı %10-36 olarak bildirilmiştir. Prematür ventriküler kontraksiyon, ventriküler taşikardi, ventriküler fibrilasyon, atriyal taşikardi, atriyal fibrilasyon, dal blokları ve atriyoventriküler bloklar sıklıkla görülen aritmilerdir. Elektrik akımının asıl etkisi ileti sistemi üzerine (özellikle sinüs nodu) ve direkt olarak miyokardiyal hücrelere olmaktadır. Miyokartta küçük nekrozlar oluşmakta ve oluşan bu nekroz alanları daha sonra fibroze uğrayarak aritmojenik odak olarak davranabilmektedir. Yine elektrik çarpması sonucu kalpte bulunan Na-K pompa aktivitesinin etkilenmesi ile birlikte hücresel düzeyde K konsantrasyonlarında artış olması da aritmileri tetiklemektedir (6).

Alternatif akımın tekrarlayan frekansları kardiyak siklusun rölatif refrakter periyodu sırasında, kalpten bu akımın geçme olasılığını artırır. Bu maruziyet R-on-T fenomenine benzer olarak, ventriküler fibrilasyonu (VF) tetikleyebilir (93). 110-220 V AC ile elektrik çarpmalarında ölüm, genellikle ventriküler fibrilasyon neticesinde oluşmaktadır (37). Elektrik akımına bağı olarak miyokart sinsitiumundaki iletim sistemi bozulmaktadır. Kardiyak aritmi ve buna bağı fibrilasyon meydana gelmektedir. Bu fibrilasyon da kardiyak arrest ile sonuçlanmaktadır (25). Elektrik çarpmasında asistoli ya da ventriküler fibrilasyon sebebiyle kalp durması sık görülen bir durumdur. Sinüs taşikardisi, geçici ST segment yükselmesi, prematür ventriküler kontraksiyonlar, atrial fibrilasyon, dal blokları gibi EKG bulguları da görülebilmektedir (46). Sinüs bradikardisi ve yüksek derecede atriyoventriküler (AV) blok da bildirilmiştir. AC ile oluşan elektrik çarpmalarının sinoatrial (SA) düğüm ve AV noda eğilimleri vardır (94). İskemi ile sonuçlanan koroner spazm, hipotansiyon ve koroner hipoperfüzyona sebep olan aritmiler tanımlanmıştır (95). Elektrik akımı yaralanmalarında kardiyak arrest nedenli ölümler eksternal kardiyak masaja çok iyi cevap verirler. Bu nedenle elektrik akımına bağı yaralanmalarda ısrarla resüsitasyon çalışmalarına devam edilmelidir (37).

Yapılan bir çalışmada elektrik çarpmasıyla başvuran hastaların %31'inde EKG değişiklikleri olduğu tespit edilmiştir. Ancak akut MI bulgularına daha nadir olarak rastlanmaktadır (96). Elektrik çarpması sonucu MI çoğunlukla koroner arter spazmı ve/veya direkt miyokardiyal hasar sonucu oluşmaktadır. Elektrik çarpmasına bağlı kardiyak etkilenimlerin diğer sebepleri ise koroner arterlerde elektrik akımına bağlı oluşan trombüs, hipotansiyonun tetiklediği iskemiye sekonder gelişen aritmi, koroner arterlerdeki vasküler hasar, kardiyopulmoner resüsitasyon sırasında koroner arterler üzerinde oluşan direkt zedelenmeye bağlı hasar, solunumsal arrest sonucu gelişen hipoksi olarak sıralanabilir (10).

2.3.2.6. Solunum Sistemi

Elektrik akımlarının solunum merkezine direkt etkisiyle ya da akımın göğüsten geçmesi durumunda solunum kaslarının tetanik kontraksiyonlarına sekonder solunum arresti oluşabilir. Akciğerlerde ödem ve peteşiyal kanamalar gibi nonspesifik bulgular görülebilir. Özellikle endüstriyel kazalarda solunum yollarında termal yanıklar oluşabilir (22, 24). Akım toraks duvarından geçerse plevral efüzyon, hemotoraks ve pnömoni oluşabilir (15).

Damarlarda oluşan trombüsler nedeniyle pulmoner emboli ve buna bağlı olarak akciğer enfarktları meydana gelebilir. Ayrıca trombositlerden salınan serotonin ve sürrenallerden salınan katekolaminler de akciğer damarlarında vazokonstrüksiyona yol açabilir. Kor pulmonale gelişebilir (24).

Elektrik çarpmalarında özellikle ıslak zeminde, elektrik çarpması süresinin uzunluğu ile ilişkili olarak iç organ hasarı oluşabilmektedir. Elektrik giriş ve çıkış yarası göğüste olmadığında bile plevral efüzyon, hemotoraks, pnömoni ve karaciğer kapsül yanığı görülebilir.

Yaşar ve ark. oto yıkarken elektrik çarpan ve su ile kaplı zemine düşerek yaklaşık 20-30 dk. akıma maruz kalan ve hastanede 4 gün tedavi gördükten sonra ölen bir olguyu incelemişler. Her iki el ile sol ayak derisinde yanıklar olup, göğüs ve batında herhangi bir elektrik temas izi bulunmayan şahsın yapılan otopsisinde;

karaciğer kapsülünde yanık, trakeada bronşlara kadar uzanan lümende yanık ve kanama odakları tespit edilmiş. Patolojik incelemede; her iki akciğerde pnömoni, karaciğerde sentrolobüler konjesyon ve fibröz doku artışı, trakeada iltihabi infiltrasyon bulunmuştur (30).

Elektrik çarpmalarına maruz kalan ve yoğun bakımda tedavi altına alınan hastalarda, yaralanma veya tedaviye bağlı olarak akut respiratuvar distress sendromu veya ventilatör ile ilişkili pnömoni gibi akciğer komplikasyonları gelişebilir. Akciğer yaralanması joule etkisi tarafından üretilen ısı ile oluşur, kimyasal inhalasyon yaralanması veya derin ısı yanıkları ile karıştırılabilir. Etkilenen alana lökosit akımı başlar, lokal ve sistemik enfeksiyonu başlatan sitokin üretimi ve serbestleşmesidir (30).

2.3.2.7. Batın İçi Organlar

Elektrik çarpmalarında cilt yanıklarıyla orantısız olarak ciddi iç organ yaralanmaları oluşabilmektedir. Bu voltajla ilişkili olabileceği gibi, daha çok akıma maruz kalma süresiyle ilgilidir. Klinik değerlendirmede ciltte yanık olmasa bile iç organ hasarı olabileceği düşünülmeli ve yoğun bakım ünitesine kabul edilen elektrik çarpmalarında voltaj ve süre sorgulanmalıdır (30).

Elektrik çarpmalarının safra kesesi, karaciğer, pankreas, mide, ince barsak, kolon, mesane gibi abdominal organ yaralanmalarına neden olduğu bildirilmiştir. Genellikle yaralanmalar elektrik giriş ve çıkış noktalarındadır, fakat her zaman direkt abdominal duvar yaralanmalarına sebep olmayabilir. Elektrik çarpmalarının neden olduğu abdominal organ yaralanmaları yüksek mortaliteye sahiptir. Bu yaralanmaların işaret ve semptomlarını erken tanımlamak da oldukça güçtür (97).

Böbrekler anoksik ve iskemik hasara çok duyarlıdır. Damar hasarı ve kas nekrozu ile aşırı myoglobin salınımı renal tübüler hasara ve böbrek yetmezliğine sebep olabilmektedir (46). Solid iç organ hasarı nadir görülmekle birlikte bildirilen pankreas ve karaciğer hasarı olguları da mevcuttur (98).

2.3.2.8. Sinir Sistemi

Vücuttaki bazı dokular normal işlevlerinde biyoelektrik sinyalleri kullandığından bu dokuların elektriğe daha duyarlı olduğu düşünülmektedir. Santral ve periferik sinir sistemi hücreleri, hızlı işlem yapabilmek ve bilgiyi iletebilmek amacıyla biyoelektrik enerji kullanmaktadır. Nöronlar; kalp hücrelerinin, solunumu sağlayan diyafragma kası hücrelerinin, hareketi kontrol eden iskelet kası hücrelerinin kasılmalarını düzenlemektedir (91). Elektrik çarpmalarında sinir sistemi hasarı sık görülen bir durum olsa da elektrik çarpmalarına spesifik herhangi bir histolojik ya da klinik bulgu bulunmamaktadır. Birçok olguda sinir sistemi hasarı, elektrik akımının doğrudan etkisine bağlı olmayıp dolaşım ve solunum gibi diğer sistem disfonksiyonları ve travma sonucu ortaya çıkmaktadır (22).

Elektrik akımının beyinden geçmesi durumunda ortaya çıkabilecek en önemli akut etki, solunum durmasına yol açan solunum kontrol merkezi hasarıdır. Ayrıca akut kraniyal sinir defisitleri ve nöbetler de oluşabilir. Bir elden diğer ele geçen akımlarda 4-8. servikal vertebra (C4-C8) arasında transseksiyonla birlikte spinal kord hasarı oluşabileceği gibi geç dönemde spinal atrofi de gelişebilir (22).

Elektrik akımı, baş bölgesinden geçtiğinde solunum ve kardiyak merkezlerin hasara uğraması sonucu kardiyopulmoner arrest gelişebilir. Bunun dışında hipoksik iskemik ensefalopati, intraserebral kanama, serebral infarkt, beyin ödemi, konvülsiyon, koma, görsel ve işitsel fonksiyon kayıpları, geçici hafıza kaybı, asendan paralizi, amiotrofik lateral skleroz, transvers miyelit gibi komplikasyonlar ortaya çıkabilir. Yüksek akımlarda özellikle akım yolu üzerindeki uzuvlarda geçici ya da kalıcı nöropati gelişebilir. Bu hasarların fizyopatolojisinde nöronal elektrik şoku, yanıklar ve şiddetli kas kasılmaları rol almaktadır (39, 46).

Damar spazmı ve elektrik şokunun indüklediği kan basıncı artışı, merkezi sinir sisteminde kanamalara yol açabilmektedir. Bazen 3. ve 4. ventrikül tabanı ile gri ve beyaz cevher sınırında beyin korteksinde masif düzeye ulaşabilen kanama ve venöz hiperemi görülebilir (60).

Elektrik çarpmalarında önemli ölüm nedenlerinden biri de santral sinir sistemi yaralanmalarıdır. Yüksek voltajlı yaralanmalarda yaklaşık %50 oranında nörolojik hasar oluşur. Bu bölgedeki yaralanmaların en önemlisi solunum merkezinin etkilenmesi ve buna bağlı solunum arresti gelişimidir. Vertebra fraktürü ve spinal kord hasarı açısından da dikkatli olmak gerekir. Spinal kord hasarına bağlı kalıcı nörolojik hasar olduğu halde MR bulguları normal olabilir. Periferik sinir yaralanmaları en sık elektrik kaynağına dokunmaya bağlı olarak ellerde gelişir. Parestezi hemen ve geçici olabilmekle birlikte geç başlayıp yaralanmadan sonra 2 yıl veya daha uzun süre de devam edebilir (99).

Histopatolojik incelemede; kardiyak kökenli ölümlerde bile beyinde değişiklikler saptanabilir. Fokal peteşiyal kanamalar, küçük kan damarları çevresinde boşluklar ve beyaz cevherde göz yaşı şeklinde tanımlanabilen hücrelerde ayrılmalar görülür. Perivasküler alandaki yarıklanmaların elektrolizise bağlı olduğu ifade edilmiştir. Bunların dışında ganglion hücrelerinde fokal dejenerasyon, nöronların aksonlarında demyelinizasyon ve parçalanma, perivasküler nekroz, reaktif gliosis gibi nonspesifik değişiklikler saptanmıştır. Endotel hasarı olduğu gösterilmiştir (24).

Elektrik çarpması olgularında medulla spinalis damarlarında vaskülit ve fokal demyelinizasyonla karakterize hasar meydana gelebilir. Periferik sinir yaralanmalarında schwann kılıfında parçalanma ve nükleuslarda birleşme bulgusu görülmektedir (15).

Klinik olarak birkaç saniye ile birkaç saat sürebilen bilinç kaybı sık görülür. Koma ve ölüm gelişebilir. Eğer kişi yaşarsa baş ağrısı, letarji, solunum ritminde bozukluk, bulantı, kusma, konvülsiyonlar gibi semptomlar ortaya çıkabilir. Retrograd amnezi, kısmi ya da tam bellek kaybı, kulak çınlaması ve sağırılık gelişebilir. Medulla spinalis damarlarında vaskülit ve fokal demyelinizasyon oluşan olgularda amiotrofik lateral skleroz veya transvers myelitten ayrımı güç olan klinik tablo meydana gelir. Geç myelopati de görülebilir. Elektrik çarpması sırasında meydana gelen düşmeler nedeniyle epidural, subdural, subaraknoidal, intraserebral ve intraventriküler kanamalar oluşabilir. Geç komplikasyonlar arasında psikiyatrik bozukluklar da önemli yer tutar (15, 49).

2.3.2.9. Ağız

Özellikle çocuklarda temas noktası sıklıkla ağızdır. Genellikle düşük voltajlı elektrik akımlarıyla meydana gelirler (15).

Ağız mukozasının direnci 100 ohm/cm² kadar çok düşük bir değerdedir. Bölgesel direnç düşük, periferik direncin yüksek olması durumunda ağızda yanıklar oluşur. Hem bölgesel direnç hem de periferik direncin düşük olduğu durumlarda ufak bir karıncalanma hissinden ölüme kadar değişen şiddette hasarlar meydana gelir. Dudaklar ve dudak komissürleri en sık yaralanan yerlerdir. Yaralanmadan sonra dudakların venöz ve lenfatik damarlarında trombüsler, geç kanamalar ve nekroz oluşabilir. Dudağın elektrik akımı ile yaralanmasında oluşan hasar birkaç günden sonra daha belirgin bir hal alır. Başlangıçta elektrik yanığı merkezi çökük, soluk, sarı-beyaz renkte, kenarları kalkık, ağrısız bir lezyondur. Çevre dokuda hafif iltihabi bir reaksiyon bulunur. Birkaç saat içinde ödem oluşur ve yara kenarları düzensizleşir. Dil etkilenmişse solunum güçlüğü görülebilir. 7-10. günlerde dudaklardaki ödem belirgin hale gelir. Birkaç hafta içinde lezyon alanı granülasyon dokusu ile iyileşmeye başlar (24).

2.3.2.10. Kulak

Akım yolunun kulaktan geçmesi morfolojik ve fonksiyonel değişikliklere neden olur. Oluşan lezyonların tipi ve şiddeti; akımın cinsi ve voltajı ile direkt ilişkili değildir. Kohlear disfonksiyon, vestibüler cihaz, orta kulak ve kulak zarında peteşiyal kanamalar görülebilir. Sekonder enfeksiyon, mastoidit, sinüs trombozu, menenjit ve beyin apsisi gibi komplikasyonlar bildirilmiştir (24).

2.3.2.11. Göz

Elektrik çarpmalarıyla ilgili göz lezyonları akımın elektrotermal ve ışık etkileriyle oluşmaktadır.

Elektrotermal yanıklar göz kapaklarını, kirpikleri, konjonktivayı ve korneayı etkileyebilir. Hemorajik kemozis oluşabilir. İntraoküler kanama, tromboz ve üveit gelişen olgular bildirilmiştir. Koroid atrofileri, koroid rüptürü, retina ve makulada ödem, kanama, santral ven trombozları, retina arterlerinde daralma, venlerde dilatasyon, görme alanında daralma, papillitis, optik diskte şişme saptanan olgular görülmüştür (100).

Elektrik arkıyla oluşan göz lezyonları kızıl ötesi, görünen ışın, ultraviyole ışınları içeren şiddetli ışığa maruz kalma sonucu da oluşur. Bu ışınlar dalga boylarına göre farklı derinliklere penetre olurlar. Enerjinin %20'si lens, %40'ı vitreus tarafından emilir. %12'si retinaya ulaşır. Fotopsi, göz kapaklarında ödem, konjonktivada konjesyon, blefarospazm gelişebilir. Mevcut lezyonlar birkaç gün içinde tamamen düzelir (24).

Elektrik akımının gözden veya baş bölgesinden geçtiği ve ölümle sonuçlanmadığı olgularda unilateral veya bilateral katarakt oluşabilir. Elektrik çarpmasında lentiküler değişikliklerin ortalama başlama zamanı 2-6 ay sonrasındır. Elektrik çarpmasına bağlı katarakt patogenezinde; lens kapsülünün permeabilite değişikliği, akımın lens fibrilleri üzerine direkt etkisi ve epitel hasarının rol oynadığı düşünülmektedir (101).

2.3.3. Elektrik Çarpmalarında Ölüm Mekanizması

Elektrik çarpmalarında ölüm; elektrik enerjisinin direkt etkisi ile görülebileceği gibi yanık ya da elektrik çarpması sonrası oluşan künt travmalara sekonder olarak da gelişebilir (38). İnsan vücudundan elektrik akımı geçmesi sonucunda birkaç mekanizma ile ölüm görülmektedir. Bu mekanizmalar şunlardır:

a-Ventriküler Fibrilasyon

Elektrik akımına bağlı ölümlerin büyük çoğunluğu doğrudan elektrik enerjisinin direkt kendi etkisi ile olmaktadır. 110-220 Volt alternatif akımla

gerçekleşen elektrik çarpmalarında ölüm çoğunlukla ventriküler fibrilasyon sonucunda meydana gelir. Elektrik akımı miyokardiyal sinsityuma, nodlara ve ileti sistemine etki ederek kardiyak aritmi, bunu takiben fibrilasyon ve sonunda da arreste neden olmaktadır.

Belirli amperdeki akımların kalpte fibrilasyon yapma özelliğinin daha fazla olduğu belirtilmektedir. 70 miliamperlik bir akımın 5 saniye süre kalp üzerinden geçmesinin fibrilasyona neden olabildiği bildirilmiştir. Deri direncinin tamamen ortadan kalktığı durumlarda çok daha az amperdeki akımlar da fibrilasyona yol açabilmektedir. Örneğin bir intrakardiak kateter uygulamasında 100 mikroamperlik bir akımın kateter üzerinden direkt kalpte etkili olması durumunda fibrilasyon görülebildiği bildirilmiştir. Bu açıdan hastanede kullanılan aletlerdeki elektrik devrelerinin periyodik kontrollerinin yapılması gerekmektedir (2).

Elektrik çarpmalarına bağlı en sık ölüm sebebi olan ventriküler fibrilasyon dışında; prematür ventriküler kontraksiyon, ventriküler taşikardi, atriyal taşikardi, atriyal fibrilasyon, dal blokları ve atriyoventriküler bloklar gibi aritmiler de sıklıkla görülmektedir (1, 6, 10, 25, 57). Elektrik çarpması sonrası akut myokard enfarktüsü gelişen olgular da bildirilmiştir (10, 102).

b- Solunum Kasları Spazmı

Daha çok yüksek voltajlı elektrik akımlarıyla ölümlerde meydana gelir. Aritmilerden daha az görülen bir mekanizmadır (25). Özellikle akımın göğüs ve batından geçtiği olgularda görülmektedir. Bu olgularda diyafragma ve interkostal kaslardaki spazm solunum felcine neden olur (66). Solunum hareketleri yapılamaz ve konjestif-hipoksik bir ölüm gerçekleşir. Bu ölümler için “asfiksik” terimi de kullanılmaktadır. Bu olgularda asfiksinin genel bulgularından olan yüzde, deride ve visseral organlarda aşırı konjesyon, plevra ve perikardiyumda peteşiyal kanamalar görülmektedir (2, 37).

c- Solunum ve Kardiyak Merkezlerin Felci

Elektrik çarpmalarında önemli ölüm nedenlerinden biri de santral sinir sistemi yaralanmalarıdır. Akım nadiren kafadan ve medulla spinalisten geçer. Beyin sapının etki altında kalması kardiyak ve solunum merkezlerindeki hücrelerin ölümüne yol açabilir (66).

Bu şekilde sadece solunum merkezinin felce uğradığı olgularda kalp çalışmaya devam edebilmektedir. Bu olgularda suni solunuma ısrarla devam edilmesi durumunda kişinin kurtulma şansı bulunmaktadır (2).

d- Termal Yanıklar

Özellikle yüksek voltajlı elektrik akımı ile yaralanmalarda yanığa bağlı olarak yaygın doku hasarı gelişebilir (47). Tıpkı yanık olgularında olduğu gibi etkilenen bölgeye göre ölümün oluştuğu görülmektedir. Ayrıca elektrik çarpması sonucu termal yanık gelişen olgularda hipovolemik şok, septik şok ve geç dönemde böbrek yetmezliği gibi komplikasyonlara bağlı ölümlerin de görüldüğü kaydedilmektedir (1, 2, 10).

e- Genel Beden Travması

Elektrik akımına kapılarak yüksekten düşme ya da savrulma sonucu meydana gelen travmalar da ölüme neden olmaktadır (1, 10). Elektrik çarpmasına bağlı yüksekten düşme veya sekonder travmaya bağlı kafa, göğüs, batin ve ekstremiteler yaralanmaları görülebilir. Oğuztürk ve ark. yaptıkları çalışmada, yüksekten düşme olgularının çoğunun elektrik direğinden düşme şeklinde olduğunu bildirmiştir (34).

Bazı elektrik çarpması olgularında ölüm mekanizması tam olarak bilinmemektedir. Kişinin bilinci birkaç dakika açık olabilir ve olayı atlatmış gibi görünebilir. Bu şekilde gerçekleşen ani ölümlere; kalp ve sinir dokusunda intrasellüler düzeyde oluşan hasarın neden olduğu düşünülmektedir (24).

2.3.4. Elektrik Akımına Bağlı Ölümelerde Orjin

Elektrik akımına bağlı ölümlerin büyük çoğunluğunun orijini kaza olup intihar ve cinayet olguları nadir olarak bildirilmiştir (11).

2.3.4.1. Kaza

Elektrik akımına bağlı ölüm olgularının büyük çoğunluğunun orijini kazadır. Elektrik çarpmaları, genellikle evlerde ve sanayide kullanılan elektrikli aletler ile meydana gelen kazalar şeklinde olmaktadır. Bu kazalarda çoğunlukla genç erkeklerin yaz aylarında elektrik ile yaralandığı görülmektedir. Bu kazaların en sık rastlanılan nedenleri arasında alet kullanılması ve bakımı konusunda ihmal, yeterli güvenlik önlemlerinin alınmaması, kötü yaşam koşulları ve uygun olmayan izolasyon sayılabilmektedir. Çalışma ortamının ıslak olması ve yapılan işe uygun giysilerin giyilmemiş olması kazaların meydana gelmesini kolaylaştıran faktörlerdendir. Sıklıkla kullanılan uzatma kablolarındaki izolasyon hataları, kırık fiş ve prizler, elektrik şebekesinin topraklanmasındaki problemler, amatörlerin tamiratları gibi dikkatsizlikler de kazalara sebep olabilmektedir (2).

Kazaya bağlı elektrik çarpması ölümleri Amerika Birleşik Devletlerinde iş kazası ölümleri arasında 5. sıradadır. Elektriğe bağlı bu tür ölümler, standartları optimal olmayan ve elektrik güvenlik önlemleri zorunlu olmayan ülkelerde daha fazladır (57).

Elektrik yaralanmaları genellikle iş kazası niteliğinde olmakla birlikte, kadınlarda ev kazaları ön plandadır (11). Çocukların kaza sonucu elektrik ile yaralanmaları sıklıkla ev ortamında olup, çocukların elektrikli cihazların içerdiği olası tehlikeleri öngörememesinden kaynaklanmaktadır (48). Ülkemizde yapılan bir çalışmada İstanbul'da otopsis yapılan 740 adet 0-18 yaş arasındaki çocukların 34'ünde (% 4.6) ölüm sebebinin elektrik akımı olduğu ve kazaya bağlı çocuk ölümlerinde 4. sıklıkta bulunduğu bildirilmiştir (103).

Banyolar; nemli atmosferi ve topraklamayı sağlayan musluk ve boruları ile ev içinde elektrik çarpması açısından en tehlikeli alanlar olarak kabul

edilmektedir. Vücudun çıplak ve ıslak olması nedeniyle deri direncinin düşmesi de ölümcül riskleri arttırmaktadır. Birçok Avrupa ülkesinde banyodaki elektrik sistemleri ile ilgili yasal düzenlemeler mevcuttur (25).

Otoerotik aktivasyon sağlamak amacıyla elektrik uygulamaları sırasında ölen ilginç ve nadir olgular da vardır (11). Elektrotların anüse sokulması veya penise tutturulması şeklinde seksüel nitelikli kazalar bildirilmiştir (104).

2.3.4.2. İntihar

Elektrikle intiharlar, şiddet içeren intihar yöntemleri olarak bilinen ateşli silahlar, ası, yüksekten atlama, boğazlama gibi yöntemler arasında sayılmakta ve nadir olarak karşımıza çıkmaktadır (105). Tüm intihar yöntemleri içinde % 1 oranında görülmesine rağmen ölümle sonuçlanma oranı yüksektir (19). Almanya’da yayınlanan serilerde, elektrikle intiharın kadınlarda, erkeklere oranla üç kat daha fazla görüldüğü, bu olguların büyük bir kısmının banyoda meydana geldiği bildirilmiştir (106). Son zamanlarda yapılan yayınlarda ve ülkemizde bildirilen olgularda ise daha çok elektrik kaynağı ile temas sağlanarak intihar edildiği görülmüştür. Bu olguların ise daha çok erkek olduğu bildirilmiştir. Elektrikle intiharın, elektrikle uğraşan meslek gruplarında daha yaygın olduğu belirtilmektedir (105). İngiltere’de yapılan bir çalışmada ise elektrikle intiharın daha çok yaşlılarda görüldüğü tespit edilmiştir (107).

Elektrik akımı ile intihar olgularında; çıplak elektrik kablolarının vücut bölgelerine sarılması, metal kaşıklar ile bağlantılar yapılması, elektrik tellerine tırmanma, yüksek voltajlı elektrik tellerini tutma gibi yöntemler kullanılmaktadır. Hipnotik ilaç alımı ile kombine edilen elektrikle intihar olguları da bildirilmiştir (24, 57).

Banyo küvetinin su ile doldurulması ve bir lambanın su içine yerleştirilmesi ile oluşan bir intihar olgusu bildirilmiştir. Bu şekilde elektrik çarpmalarında faz ucu suya temas ederse su iletken olmaktadır. Vücudun bir bölümünün musluk gibi bir cisimle topraklanmasıyla da akım geçişi olmaktadır. Bu olguda da akım tüm

vücut ile temas eden su yolu ile girmiş ve hiç bir lezyon oluşturmamıştır. Akım sırta dayalı metal musluk yolu ile topraklanmış ve çıkış yerinde bir yanık oluşturmuştur (2, 108).

Elektrik akımı intihar amacıyla çok değişik yöntemlerle kullanılmaktadır. Banyo içinde elektrik akımı ile intihar ettikten sonra banyo kapısını açacak kişiyi elektrik akımından korumak amacıyla kapının açılması ile akım devresinin kesilmesini sağlayan düzeneklerin kullanıldığı bir olgu bildirilmiştir (109). Yine intihar amacıyla çıplak elektrik tellerini özofagusuna kadar ilerleten ve tellere akım vererek özofagus darlığı oluşturan bir kokain kullanıcısı bildirilmiştir. Kişinin cerrahi tedavi ile düzeldiği belirtilmiştir (110).

Ülkemizde de nadir de olsa elektrik akımı ile intihar olguları bildirilmiştir. Özdemir ve ark. sundukları bir olguda; 27 yaşında bir erkeğin kaldığı otel odasında televizyon kablosunu keserek, bir ucunu duvardaki ucu açıkta olan duvar lambası bağlantı kablolarına, diğer ucunu da sol meme başı altına kemeri ile tespit ettiği ve elektrik anahtarını açarak intihar ettiğini tespit etmişler (105).

2.3.4.3. Cinayet

Elektrik akımı ile işlenen cinayetlere de rastlanılmaktadır. Eşleri tarafından elektrik ile öldürülen kadınlar dünya literatüründe bulunmaktadır. Fakat tüm dünyada elektrik ile cinayet ve cinayet girişimlerinin sayısının oldukça az olduğu konusunda fikir birliği bulunmaktadır. Cinayet şüphesi bulunan olgularda çok dikkatli bir keşif muayenesi yapılmalıdır. Bulgular ve delillerin fotoğraf ile belgelenmesine dikkat edilmelidir (2, 66).

Elektrik akımı ile cinayette en sık kullanılan yöntem; akımın kurban banyodayken küvete elektrikli aletler ya da kablo ile verilmesidir. Su ile geniş yüzeyli temas sebebiyle vücutta genellikle elektrik yanığı bulunmaz. Olay yeri toplanmış ve suç aleti ortadan kaldırılmış ise ölüm nedenini belirlemek çok güçtür. Elektrik çarpmasından şüphelenilen tüm olgularda kurbanın temas etme ihtimali olan tüm elektrikli aletlerin teknik incelenmesi gereklidir (24, 66).

Kullanılan diğer yöntemler arasında mağdurun geçeceği yola tel döşenmesi, kişinin muhtemelen tutacağı bir cismin elektrikleştirilmesi ve elektrik faz kablusunun çocuğun hatta erişkinin vücuduna dolandırılması sayılabilir. Literatürdeki olguların çoğunda, cinayeti işleyenler tarafından mağdurda bilinç kaybı oluşturulduktan sonra elektrik akımı verilerek kişinin öldürüldüğü görülmektedir (2, 66).

Elektrikle işkence olguları da görülebilmektedir. Genellikle 110 veya 220 volt elektrik akımı kullanılır. Özellikle erkeklerde penis veya skrotuma, kadınlarda ise meme başlarına uygulanır. Bir diğer yöntem de yüksek voltaja sahip çok düşük akım gönderen manyeto kullanılmasıdır. Bu yöntem çok ağrılı olup, deride lezyon oluşturmaz ve ölüme de neden olmaz (24).

2.3.4.4. Elektrik ile idam

Alternatif akım jeneratörüyle çalışan elektrikli sandalyeler idam için kullanılan yöntemler arasındadır (47).

2.3.4.5. İatrojenik

Kalbe yerleştirilmiş pace-maker elektrotlarında veya kateterlerdeki elektrotlarda kısa devre olması nedeniyle tıbbi işlemlerden kaynaklanan elektrikle yaralanma olguları bildirilmiştir (15).

2.3.5. Elektrik Çarpmalarında Olay Yeri İnceleme

Düşük voltajlı elektrik akımlarına bağlı ölümlerde cilt lezyonlarını tespit etmek kolay değildir. Eğer olayın şahitleri de yok ise kesin ölüm sebebini söyleyebilmek her zaman mümkün olmayabilir. Bunun yanında ilk anda elektrik çarpması olarak düşünülen, fakat gerçekte başka ölüm sebeplerinin bulunduğu olgular da olabilmektedir.

Herhangi bir elektrikli alet kullanırken veya tamir ederken meydana gelen ölümlerde, olayın görgü tanığının olmadığı olgularda elektrik çarpması olasılığı düşünülmeli ve cesedin dış muayenesinde elektrik akım giriş ve çıkış lezyonu dikkatle aranmalıdır. Kullanılan bir alet var ise bunun kontrolünün yapılması gerekmektedir. Bu elektrikli aletler genellikle taşınabilir özelliktedir ve kolaylıkla laboratuvara nakilleri mümkündür. Yüksek voltaj elektrik akımına bağlı yaralanmalar da ise elektrik kablosunun yarım metrelik uç kısmı kesilerek saklanabilir. Eğer kablonun alınması mümkün değilse en azından fotoğrafı çekilerek dosyada bulundurulmalıdır. Keşif bölgesindeki tüm detaylar keşif muayene tutanağına yazılmalı ve mümkünse çevrenin fotoğrafları çekilmelidir (2, 41).

Yüksek voltajlı akımlar ellerdeki eldivenlerden veya kauçuk çizmelerdeki ufak üretim hatalarından geçebilmektedir. Bu gibi hatalar gözle görülemeyebilir. Böyle bir durumla karşılaşıldığı zaman kişinin giysileri, çizmeleri, başındaki başlığı ve eldivenleri incelenmek üzere alıkonulmalıdır. Bu koruyucu donanım malzemeleri özel bir devre ile kontrol edilmektedir. Bu şekildeki bir inceleme hem ölüm mekanizmasının açıklanması hem de aynı aletin kullanılarak başka kazaların meydana gelmesini önlemesi açısından önemlidir (2, 111).

Havuzlarda aydınlatma ve diğer amaçlarla kullanılan elektrik devrelerinin arızalanması halinde elektrik akımı suya geçebilmektedir. Yüzme havuzu gibi yerlerde meydana gelen kazalarda gerçek ölüm sebebinin bulunması, başka ölümlerin önlenmesi için önemlidir. Havuz ve benzeri yerlerde genellikle 24 V gibi düşük voltajlar kullanılmaktadır. Su içerisinde meydana gelen elektrik çarpmalarında voltajın düşük olması ve deride oluşan ısınnın da suya kolaylıkla aktarılması nedeniyle yanıklar izlenmeyebilir. Bu olgularda ölüm nedeni elektrik çarpmasının yanında suda boğulma da olabilmektedir (112). Bu tür olgularda ölüm nedenini bulmak çok zor olup, elektrik çarpmasına bağlı suda boğulma olduğunu söyleyebilmek için diğer ölüme yol açabilecek nedenlerin araştırılması ve bunların ekarte edilmesi gerekmektedir. Eğer yüzmeyi iyi bilen biri havuzda ölür ise, bu yüzücünün yüzme kabiliyetini engelleyecek bir nedenin öncelikle araştırılması gerekir. Eğer otopside intoksikasyon, darp cebir izi veya doğal bir

hastalık sebebi bulunamamışsa havuzun elektrik sistemi incelenmelidir. Bu tür vakalarda elektrik yanıkları oluşmayabildiğinden elektrik çarpmasının tanısı ancak olay yerinin dikkatlice incelenmesi ile konulabilecektir (38).

Şüpheli aletler, kablolar ve fiş benzeri cisimler kontrol edilmeli, kısa devre, topraklama hataları veya yanlış kablo bağlantıları olup olmadığına bakılmalıdır. Bu işlemler her zaman bu konuda eğitim görmüş kişilere bırakılmalı ve gerekirse konu ile ilgili birimlerin bilirkişiliğine başvurulduktan sonra otopsi raporu düzenlenmelidir (38).

Sonuç olarak elektrik akımının neden olduğu ölüm olgularında incelemeyi yapan hekim;

a- Olay yeri incelemesine mutlaka katılarak, varsa ölüme neden olduğu iddia edilen düzeneğin hakkında görüş bildiren teknik bilirkişilerin tespitlerini dinlemeli, giysiler üzerinde ve vücutta saptanan lezyonların söz konusu düzeneğe meydana gelip gelemeyeceğini tespit etmelidir.

b- Giysiler ve ayakkabıları elektrik izleri açısından kontrol etmeli, özellikle ayakkabıların iç yüzü gibi gizli kalan yerlerdeki izleri atlamamalıdır.

c- Dikkatli bir ölü muayenesi yaparak elektrik akıma bağlı oluşabilecek giriş ve çıkış lezyonlarını aramalıdır.

d- Saptadığı lezyonların fotoğraflarının çekilmesini sağlamalı, lezyon çevresindeki kılları da incelemelidir.

e- Vücutta tespit edilen lezyonların elektrik akımına bağlı olup olmadığının saptanması amacıyla gerekli histopatolojik incelemelerin yapılabilmesi ve ölüme sebep olabilecek başka faktörlerin araştırılması açısından otopsi yapılması konusunda görüş bildirmelidir (105).

2.3.6. Otopsi Bulguları

-Dış muayene:

Kişinin elbiseleri, varsa eldiveni ve ayakkabıları incelenmeli ve özellikleri tarif edilmelidir. Tıbbi müdahale yapılmışsa resüsitasyona ait bulgular yazılmalıdır. Tüm ceset dikkatlice incelenmelidir. Bu inceleme ceset yıkanmadan ve yıkandıktan sonra tekrarlanmalıdır (2). Giriş ve çıkış lezyonlarının bulunması için dikkatli bir dış muayene şarttır. Şüpheli ani ölümlerde araştırmanın en önemli kısmı, elektrik taşıyan iletici ile temas sonucunda oluşan elektrik akımı giriş lezyonunun saptanmasıdır (1). Saçlı deri, avuçlarda deri kıvrımları, parmak araları, genital bölge, anüs, dil ve yanak mukozası da giriş lezyonu açısından incelenmelidir (25).

Banyo yaparken veya havuzda elektrik akımının su ile temas eden büyük bir yüzeyden vücuda girmesi ile vücutta hiçbir dış lezyon bulunmayabileceği akılda tutulmalıdır. Bazı olgularda ise dikkatsiz muayene ile genital bölgede ve ağız içinde bulunan lezyonlar dış muayenede atlanabilir. Aletin kavranması nedeniyle lezyonlar avuç içlerinde olabilmektedir. Ölü katılığı nedeniyle ellerin fleksiyonda kalması ile bu lezyonlar gözden kaçabilir. Otopsi yapılırken ellerin zorlanarak rigorun kırılması ve avuç içlerinin dikkatlice incelenmesi gerekmektedir. Gerekirse fleksör tendonlar el bileği seviyesinde kesilip eller serbestleştirilmeli ve inceleme yapılmalıdır (25). Baş bölgesinde saçlı deride elektrik akımı lezyonunu görebilmek için saçların traş edilmesi gerekebilir (2). Özellikle çocuklarda elektrik kablolarını ağza alma eğilimleri nedeniyle orofasiyal yaralanmalar oluşabileceğinden ağız içi muayenesi de dikkatli bir şekilde yapılmalıdır (15).

Kimi olgularda, elektrik akım kaynağının şeklini deri üzerinde görebilmek mümkün olmaktadır. Özellikle görgü tanığının bulunmadığı ölüm olgularında olayın ne şekilde meydana geldiğini ortaya çıkarmak açısından faydalı bilgiler verebilmektedir (2).

Elektrik akımının çıkış yerinde de yanık lezyonu oluşur. Bazen bu bölgedeki deri parçalanabilir ve laserasyon veya delici alet yarası gibi yanlıştır bir tanıya götürebilir (2). Elektrik akımının topraklandığı bölgede her zaman bir çıkış

lezyonu oluşmayabilir. Ancak yine de karşı elde ve ayaklarda elektrik akımı çıkış lezyonu var mı diye bakılmalıdır (25).

Şüpheli bir elektrik akımı lezyonu tespit edildiğinde elektrik akımına bağlı olup olmadığının belirlenebilmesi için bu alan histopatolojik inceleme için muhakkak örneklenmelidir (1).

Ayrıca elektrik akımı lezyonlarının makroskopik ve mikroskopik bulgularının olmadığı olgularda, elektrik akımı lezyonu olabilecek bölgelerden karbon stub ile materyaller alınarak, elektrik akımının geçişi sırasında iletkenin cilt üzerinde bıraktığı partiküller taramalı elektron mikroskopisi (SEM-EDS) ile tespit edilebilir (45).

Elektrik çarpması olgularında ölüm zamanını değerlendirirken, rigor mortisin ortaya çıkış ve kaybolma sürelerinin azaldığı dikkate alınmalıdır. Hayvanlar üzerinde yapılan bir deneyin sonuçlarına göre kontrol grubunda 3 saat olan ölü sertliğinin ortaya çıkış süresinin elektrik çarpması olgularında 1 saate, ölü sertliğinin bulunma süresinin ise 8 saatten 3 saate indiği bildirilmiştir. Elektrik çarpmasında kaslarda meydana gelen kasılmalar, kas içindeki enerji kaynaklarını kullandığı için kas içi ATP oranı düştüğünden ölü sertliği erken dönemde gelişecektir. Postmortem elektrik çarpmalarında ise deri direncinin yüksek olması nedeniyle dokulara aktarılan akım az olacağından ölü sertliğinin erken gelişiminin dikkat çekici olmadığı da ifade edilmiştir (113).

-İç muayene:

Elektrik çarpmalarında klasik otopsi işlemi uygulanır. Bazı olgularda makroskopik iç organ bulguları görülememektedir. Visseral organlar çok fazla miktarda su ve elektrolitler içermektedir. Bu nedenle akım yolu, termal yara oluşamayacak kadar geniş olmaktadır. Termal yaralar olmamasına rağmen özellikle kalp kası ve sinir sisteminde fizyolojik anormallikler meydana gelebilmektedir. İnterkostal kaslar ve diyafragmada spazm veya paralizisi sonucu meydana gelen ölümlerde akciğerlerde ve yüzde siyanoz ve konjesyon çok belirgindir. Plevrada peteşiler bulunabilir. Fakat bunlar da anlamlı olamayacak

kadar nonspesifiktir. Otopside, konjestif ölümlerin bulgusu olan koyu kırmızı - mavi postmortem hipostaz izlenebilir (2).

Elektrik akımı kan damarlarını izleyerek kalbe ulaşabilir. Kalbin sağ kısmında genişleme, epikart ve endokart altında kanamalar bulunabilir. Myokartta çizgi şeklinde enfarktüs alanları, kanamalar ve ödem görülebilir. Birkaç hafta yaşamış kişilerde elektrik akımının direkt etkisine bağlı beyinde koagülasyon nekrozu bulunabilir. Beyin ödemi, 3. ve 4. ventriküllerde kanama odakları ve meningeal trombüsler görülebilir (24).

Yüksek voltajlı akımlar ana arterlerde yırtıklara neden olabilmektedir (41). Ayrıca kemik dokusunun da erimesine sebep olabilmekte ve erimiş kemik dokusu inci şeklinde görülebilmektedir. Bunlar bezelye büyüklüğünde, yuvarlak, gri ve beyaz renkte kemik yüzeyinde izlenen oluşumlardır (66).

Kaslardaki şiddetli kontraksiyonlara bağlı otopside kemik kırıkları ve eklemlerde çıkık saptanabilir (24). Aynı zamanda elektrik yaralanmasına bağlı yüksekten düşme veya sekonder travma nedeniyle kafa, göğüs, abdomen veya ekstremit travmaları da görülebilir (34).

Sonuçta elektrik çarpmalarında otopside izlenen iç organ bulguları spesifik olmadığından, deri lezyonunun görülmesi ve bu alandan alınan dokunun histopatolojik incelemesi tanıyı koyduracaktır (1).

-Toksikolojik inceleme:

Elektrik çarpması sonucu ölüm olgularında mümkün olduğu kadar geniş toksikolojik inceleme yapılması gerekmektedir. Özellikle de kullanımının yaygınlığı nedeniyle kan alkol düzeyinin tespiti oldukça önemlidir. Alkolün etkisi ile bir kaza olup olmadığı sorusunun cevaplanması için bu inceleme şarttır (2).

2.3.7. Elektrik Çarpmalarının Adli Tıp Açısından Önemi

Elektrik çarpması sonucu ölüm doğal bir ölüm olmayıp adli olgu niteliği taşımaktadır (10). Elektrik akımına bağlı yaralanmaların büyük çoğunluğunu

evlerde ve iş yerlerinde meydana gelen kazalar oluşturmaktadır. Bu tip yaralanmalarda gerçek tanının konulabilmesi; başka kişilerin de yaralanmaması, koruyucu önlemlerin alınması ve tazminat ödenmesi açısından önemlidir. Böyle bir olguda tanının konulması iş yerlerinde, hastanelerde ve evlerde ek güvenlik önlemleri alınmasını sağlayacaktır (2, 11). Aynı zamanda iş kazası sebebiyle meydana gelen ölümlerde hak kaybının da önüne geçecektir (45). Nadiren de olsa elektrik akımı, intihar ve cinayet amaçlı da kullanılmaktadır. Bu tür olgularda olayın aydınlatılabilmesi açısından otopsinin yanı sıra ayrıntılı olay yeri incelemesi gerekmektedir (11).

2.4. Yıldırım Çarpması

Yıldırım yer ile bulut arasında meydana gelen şiddetli ve ani elektrik boşalmaları olup; zig zaglı bir yol takip ederek kollar halinde yere doğru iner (114, 115). Yıldırım bir doğru akım formudur (24). Bir fırtına bulutunun tabanı ile yeryüzü arasında bir devre tamamlandığında oluşur (115). Yıldırımlarda 1 milyon kilovattan, 1 milyar kilovata kadar elektrik akımı söz konusudur. Hatta bazı yıldırımların gücünün 1 trilyon kilovata bulabildiği bildirilmiştir. Eğer iki bulut farklı yükte iseler, yani birinin pozitif, öbürünün negatif elektriği varsa, ikisi arasında bir akım geçişi oluşur. Bu olaya "şimşek" adı verilir (116). Şimşek çok büyük ölçüde statik elektriktir (114, 115). Sağanak yağış ile birlikte gök gürültüsü ve şimşek olaylarının bir arada görülmesine "oraj" denilmektedir. Oraj aktivitelerinin bir çoğu şiddetli şimşek ve yıldırım üretir. Oraj aktivitelerinin bir veya iki günlük tahminleri günümüzde çok daha fazla güvenilir durumda olmasına rağmen, şimşegin nerede olabileceğini saptamak henüz mümkün değildir (115).

Tek bir şimşek çakmasındaki elektrik akımı miktarı yaklaşık 200,000 amperdir. Bu akım bir milisaniye veya daha az bir sürede şimşek kanalını güneşin sıcaklığından daha fazla olan 28,000 °C'a kadar ısıtabilir. Hava bu kadar hızlı olarak yüksek derecelere kadar ısıtıldığında hızlı bir genleşme ve patlama oluşur. Hızla hareket eden hava, etrafındaki türbülans ile gök gürlemesi olarak işitilir. Işık ve ses hızı arasındaki farklılıktan dolayı, yıldırım paketi ile kişinin bulunduğu yer

arasındaki uzaklık hesaplanabilir. Şimşek çakması ile gök gürlemesini duyuş arasındaki süre (saniye) saptanıp 5'e bölünerek mil cinsinden uzaklık hesaplanabilir (115).

Dünyada saniyede 100'den fazla, günde 8 milyondan fazla yıldırım olayı gerçekleşmektedir (117). Teller, metaller, nemli toprak, ağaç kökleri gibi insan da iyi bir iletkenidir. Yıldırım çarpması ile yaralananların %20-30'u ölmekte, yaşayanlarda ise uzun dönemde periferik nöropati, bilişsel işlevlerde bozukluk gibi çeşitli sekeller meydana gelmektedir (114, 116). Yaşayanlarda uzun dönemde sekel kalma oranının %76 olduğu bildirilmektedir. Yıldırım çarpması hava kaynaklı doğa olaylarına bağılı ölüm nedenleri arasında sellerden sonra ikinci sıklıkta yer almaktadır (117).

Yıldırım çarpması ile elektrik çarpması aynı şey değildir. Elektrik çarpmasında en yüksek voltaj değerleri 20.000 volt ile en fazla 63.000 volt arasında değişir. Yıldırım çarpmasında ise voltaj 300.000 volt ve üzerindedir (116). Yıldırımın elektrodinamik, basınç, ses, elektrokimyasal, ışık ve termik etkileri vardır (114, 116).

Yıldırım çarpmasına bağılı yaralanmalar genel olarak 6 şekilde meydana gelmektedir:

- 1) Doğrudan yaralanma (%3–5); yıldırımın tüm elektrik yükü kişinin üzerinde toplandığı için sıklıkla ölümle sonuçlanmaktadır.
- 2) Temas yaralanmaları (%15–25); yıldırımın düştüğü iletken bir cisimle temas halinde olan kişilerde meydana gelen yaralanmalardır.
- 3) Diğer cisimlerden sıçrama/sekme yaralanmaları (%20-30); yakında bulunan veya kişinin üzerinde bulunduğı cisimden akım sıçraması sonucunda meydana gelir.
- 4) Toprak akımı yaralanmaları (%40–50); kişinin yakınına düşen yıldırım akımının zemin aracılığıyla iletilmesi sonucunda oluşur. Akım topraktan iletilirken, dağılırarak enerjisi azaldığı için canlılar açısından daha az tehlike oluşturur.

5) Yükselen akım yaralanmaları (%20–25); kişi ile yıldırım akımı arasında bağlantı olmaksızın, kişinin pozisyonel olarak yukarıda kalan vücut kısmı ile akım arasındaki boşluğun yıldırım akımı ile tamamlanması sonucu meydana gelir.

6) Künt yaralanmalar; hızla soğuyan aşırı ısınmış havanın meydana getirdiği fiziksel etki sonucu meydana gelir. Yıldırımın oluşturduğu aşırı basınç nedeniyle timpanik membran rüptürü veya kişinin düşmesi nedeniyle çeşitli yaralanmalar meydana gelebilmektedir (117, 118). Yıldırımın oluşturduğu blast etki nedeniyle kafatasında, kostalarda, ekstremiteler ve vertebralarda nadir de olsa kırıklar görülebilmektedir (117).

Yıldırım çarpmasına bağlı yaralanma ve ölüm riski bölgesel ve mevsimsel özelliklere bağlı değişiklikler göstermektedir. ABD’de yıldırımlara bağlı ölüm oranı yıllık 0,2–1,7 ölüm/milyon’dur (119). Güney Afrika’nın Highveld bölgesinde ise, 1997–2000 yılları arasında yıldırımlara bağlı ölüm oranı yıllık 6,3 ölüm/milyon olarak bildirilmiştir (120). Ülkemizde ise yıldırım çarpmalarına bağlı ölümlerle ilgili sağlıklı veriler mevcut değildir. Diyarbakır’da yapılan bir çalışmada 1996-1998 yılları arasında Diyarbakır Adli Tıp Şube Müdürlüğü’nce ölü muayene ve otopsi yapılan 1441 olgudan 10’unun (% 0.7) yıldırım çarpması neticesinde öldüğü bildirilmiştir (121).

Yıldırım çarpmaları özellikle bahar ve yaz dönemlerinde, öğleden sonraki yağmurlarda görülmektedir (116). En sık yıldırım çarpması mağdurları özellikle kampçılar, yürüyüşçüler, çiftçiler, yapı işçileri, golfçüler ve avcılar gibi dışarıda çalışan veya aktivite gösteren insanlardır. Ev içindeki mağdurlar ise özellikle telefon veya diğer ev aletlerini kullananlardır (115). Blanco-Pampin ve ark. (122) evde yatağında yıldırım çarpması sonucu ölen 55 yaşında bir erkek olgu bildirmişlerdir.

Yıldırım çarpmaları kaza neticesinde meydana gelirler ve genel olarak bir adli tıp uzmanı için ölüm orijininin saptanması açısından problem oluşturmazlar. Bazen açık arazide bulunan bir cesette ölümü ile ilgili hiçbir bulgu bulunmayabilir ve ölüm nedeni tespit edilemeyebilir, ancak genellikle o bölgede yıldırım düşmesi ile ilgili kayıtlar, yırtılmış ve yanmış elbiseler, ceplerde bulunan metal nesnelerin

mıknatıslanması olayı açıklamada yardımcı olabilir (115). Yıldırım akımının vücut yüzeyinden ilerlemesi sırasında genellikle vücutta yanık oluşturmaması veya oluşan yanıkların hafif derecede olmasının nedeni, yıldırım temas süresinin çok kısa (10–100 msn.) olmasıdır (117).

Yıldırım çarpması olgularında elbiselerde geniş yanıklar bulunabilir, elbiseler yırtılmış, hatta tamamen vücuttan çıkmış olabilir, giysi üzerinde veya içinde bulunan metalden yapılmış cisimler (düğmeler, fermuar, kemer kopçaları, hatta ceplerdeki paralar) aşırı ısıya maruz kalmaya bağlı eriyebilir, metalik cisimlerde birbiri ile birleşme ve mıknatıs özelliği kazanma durumu görülebilir. Akım ayaklar yolu ile çıkarsa, çıkış noktasında deri ve ayakkabılar yırtılabilir. Yanan giysiler, ısı ile eriyen sentetik maddeler veya vücuttaki kemer tokası ve düğme gibi metalik cisimler deride yanıklara neden olabilirler (115).

Yıldırım çarpmasına bağlı ölümlerde yıldırımın ciltte bıraktığı izler ölüm nedeninin tespitinde değerlidir. Bunlar, vücutta karakteristik olarak kraniyokaudal yönde, yüzeysel, kuş teleği şeklinde, dallı budaklı, eğrelti otuna benzeyen Lichtenberg Figürleri olarak da ifade edilen keranografik şekillerdir (116). Pembeden kahverengiye kadar değişik renklerde görülebilirler. Bu lezyonlar cilt altı dokulardaki kanın ekstrevasyonu nedeniyle oluşur (117). Kitaplarda anlatıldıklarına oranla çok daha nadir görülürler. Ama görüldüklerinde patognomoniktir (20, 116). Vücutta oluştuktan sonra yaklaşık 24 saat içinde kaybolurlar (117).



Şekil 2.9. Lichtenberg Figürleri (123).

Deride farklı şekillerde yanıklar oluşabilir. Saç, kıl ve tüylerde kavrulma, alazlanma, ütülenme tarzında yanıklar olabileceği gibi kişinin vücudundaki aşırı ısınan metallere bağlı ya da üzerindeki giysilerin tutuşması sonucu meydana gelen termal yanıklar olabilir. Merkezi sinir sisteminde; beyin ödemi, kafa içine kanamalar, beyin ve omurilikte ısıya bağlı lezyonlar oluşabilir. Beyinde dağınık bölgesel peteşiyal kanamalar, şişme, yumuşama, sıvı hale gelme, piramidal hücrelerde kromatoliz, hasara uğramış hücrelerde büzüşme, uniform olarak boyanmış eksantrik yerleşimli nüveler izlenebilir. Damarlarda ve iç organlarda kopma ve yırtılmalar meydana gelebilir. İç organlarda, sıvı birikimi ve peteşiyal kanamalara rastlanabilir. Ayrıca; kulak zarı delinmesi, korneal ödem ve yırtıklar,

retinada dekolman, gebede uterus yırtılmasına bağlı fetus kaybı görülebılır (114, 116).

Yıldırım arpmasına bağlı ölümlerin otopsilerinde iç organlarda saptanan bulgular, tek başlarına tanı koydurucu özellikte değildir. Bu nedenle yıldırım çarpması sonucu ölüm olaylarında kişilerin kıyafetlerinin ve olay yeri incelemesinin tanıdaki değeri büyüktür (114).



3. GEREÇ VE YÖNTEMLER

T.C. Adalet Bakanlığı Adli Tıp Kurumu'ndan alınan izin ile Adli Tıp Kurumu Antalya Grup Başkanlığı Morg İhtisas Dairesi'nde 01.01.2006 - 31.12.2015 tarihleri arasındaki 10 yıllık süreçte yapılan 6212 otopsi vakası incelenmiş olup elektrik çarpması sonucu ölen 109 olgu tespit edilmiştir. Yıldırım çarpması olguları çalışmaya dahil edilmemiştir. Olgular; yaş, cinsiyet, meslek, uyruk, ölümün meydana geldiği yıl, mevsim ve ay, ölümün orjini, ölüm nedeni, olayın meydana geldiği yer, vücuttaki elektrik lezyonlarının yeri ve özellikleri, otopsi bulguları, toksikolojik analiz sonuçları, yüksekten düşme veya başka travmatik bulgu varlığı, hastane yatışı olup olmadığı, varsa süresi, maruz kalınan akımın türü ve voltajı yönlerinden değerlendirilmiştir.

Olgulara ait veriler Microsoft Office Software Excel dosyasına kaydedilmiştir. Veriler sayısal olarak kodlanarak istatistiksel analiz için SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versiyon 20.0 programına aktarılmıştır. İstatistiksel analizde Chi-Square Testi kullanılmış ve alfa anlamlılık değerinin 0,05'den küçük olması 'istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

4. BULGULAR

Adli Tıp Kurumu Antalya Grup Başkanlığı Morg İhtisas Dairesi'nde 01.01.2006- 31.12.2015 tarihleri arasındaki 10 yıllık süreçte yapılan toplam 6212 adet otopsinin 109 (%1.7)'unu elektrik çarpması sonucu ölümler oluşturmaktadır. Ölümlerin otopsinin yapıldığı yıllara göre dağılımları Çizelge 4.1'de belirtilmiştir.

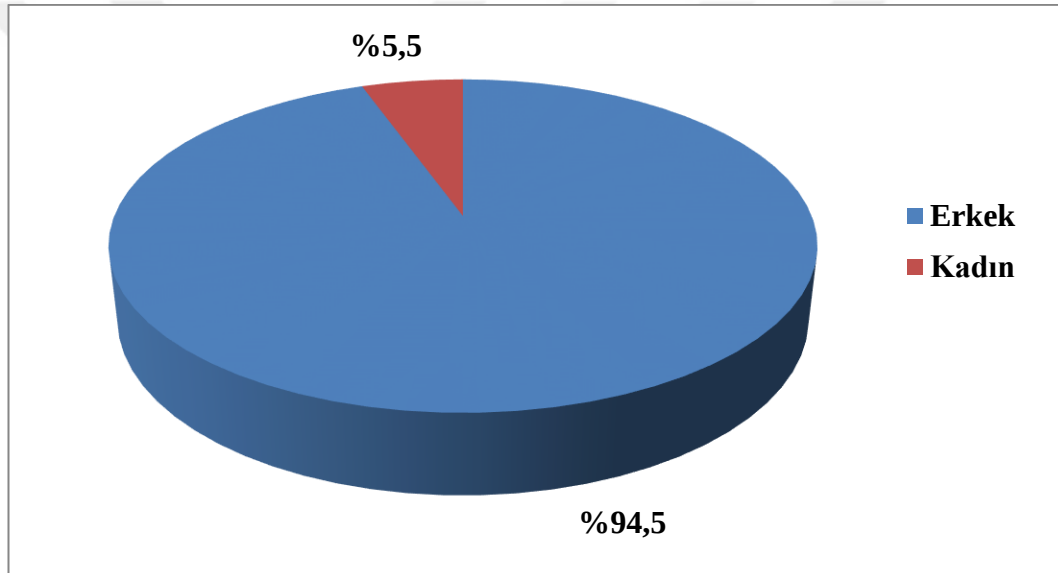
Çizelge 4.1. Ölümlerin otopsinin yapıldığı yıllara göre dağılımları

Yıllar	Toplam Otopsi Sayısı	Elektrik Çarpması		
		Sayı	Yüzde(%)*	Yüzde Toplamı (%) ∞
2006	443	12	2.7	11
2007	469	12	2.5	11
2008	553	14	2.5	13
2009	498	6	1.2	5.5
2010	622	9	1.4	8.2
2011	661	13	1.9	12
2012	697	16	2.2	14.6
2013	695	12	1.7	11
2014	772	6	0.7	5.5
2015	802	9	1.1	8.2
Toplam	6.212	109	1.7	100

*Otopsinin yapıldığı yıl içindeki yüzdesi; ∞Toplam elektrik çarpması olgusuna göre yüzdesi.

2011 yılında otopsi yapılan olgulardan bir tanesinin ölüm tarihi 31.12.2010 olup otopsi 01.01.2011 tarihinde yapılmıştı. Buna göre 2010 yılında yapılan 622 otopsi olgusundan 9'unun ölüm nedeni elektrik çarpması iken; 2010 yılında elektrik çarpmasından ölen olgu sayısı aslında 10'dur. Aynı nedenle 2011 yılında yapılan 661 otopsi olgusundan 13'ünün ölüm nedeni elektrik çarpması iken; aslında 2011 yılında 12 adet elektrik çarpmasına bağlı ölüm meydana gelmiştir.

109 olgunun 103 (%94.5)'ü erkek, 6 (%5.5)'sı kadındı (Şekil 4.1).

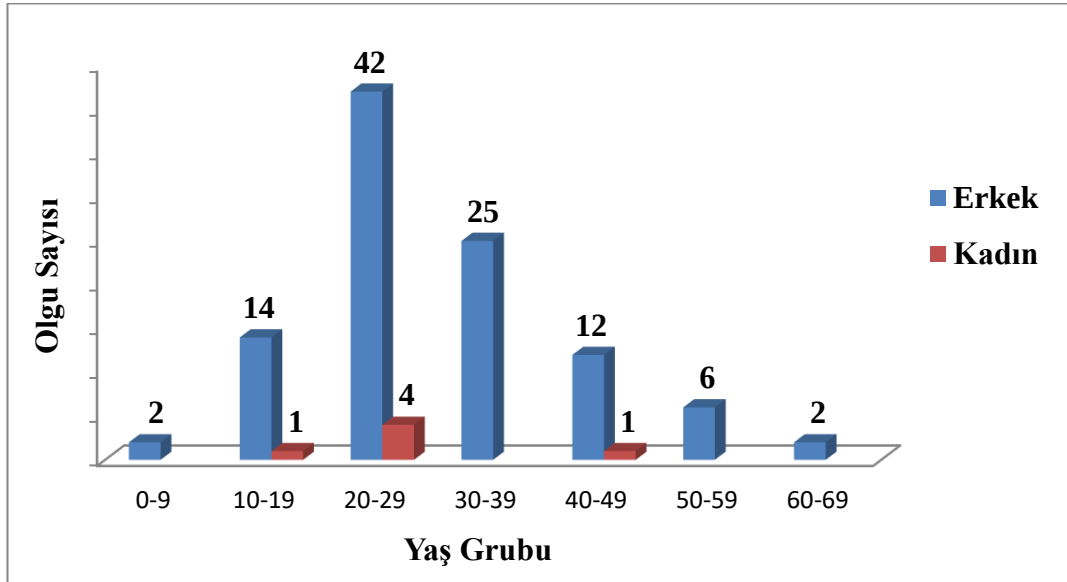


Şekil 4.1. Olguların cinsiyete göre dağılımı

Olguların yaş ortalaması 29.7 (en küçük 2, en büyük 69) olarak bulundu. Erkeklerin yaş ortalaması 29.9, kadınların yaş ortalaması ise 26.3'tür. Elektrik çarpması sonucu ölen olguların 46 (%42.2) olguya en çok 20-29 yaş grubunda olduğu görüldü. 6 kadın olgunun 4'ü 20-29 yaş grubunda, 1'i 10-19 yaş grubunda, 1'inin de 40-49 yaş grubunda yer aldığı tespit edildi. Erkeklerde de olgular en sık 20-29 yaş grubunda yer alırken bunu sırasıyla 30-39 ve 10-19 yaş grupları takip ediyordu. Yaş gruplarına göre olguların dağılımı Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

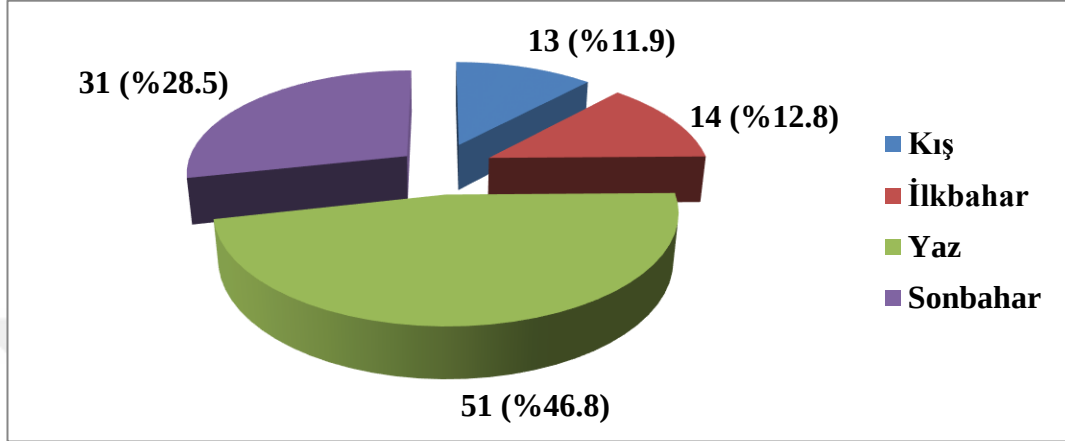
Çizelge 4.2. Yaş gruplarına göre olguların dağılımı

Yaş Grubu	Cinsiyet				Toplam	
	Erkek		Kadın			
	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde
0-9	2	%1.9	0	0	2	%1.8
10-19	14	%13.6	1	%16.7	15	%13.8
20-29	42	%40.8	4	%66.6	46	%42.2
30-39	25	%24.3	0	0	25	%23
40-49	12	%11.7	1	%16.7	13	%11.9
50-59	6	%5.8	0	0	6	%5.5
60-69	2	%1.9	0	0	2	%1.8
Toplam	103	%100	6	%100	109	%100



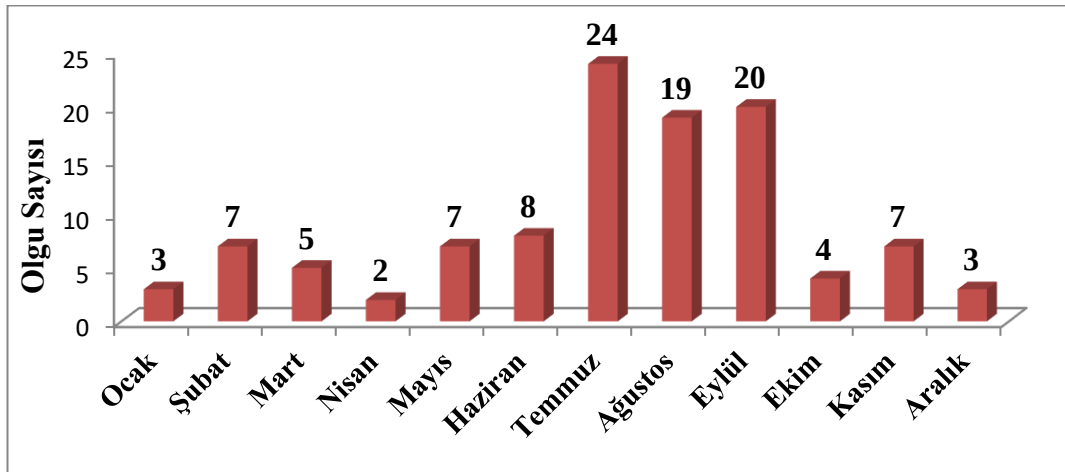
Şekil 4.2. Elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölüm olgularının yaş grubu ve cinsiyete göre dağılımları

Elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölümlerin 51 (%46.8) olgu ile en sık yaz mevsiminde görüldüğü, bunu 31 (%28.5) olguyla sonbaharın takip ettiği tespit edildi. Olguların mevsimlere göre dağılımları Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



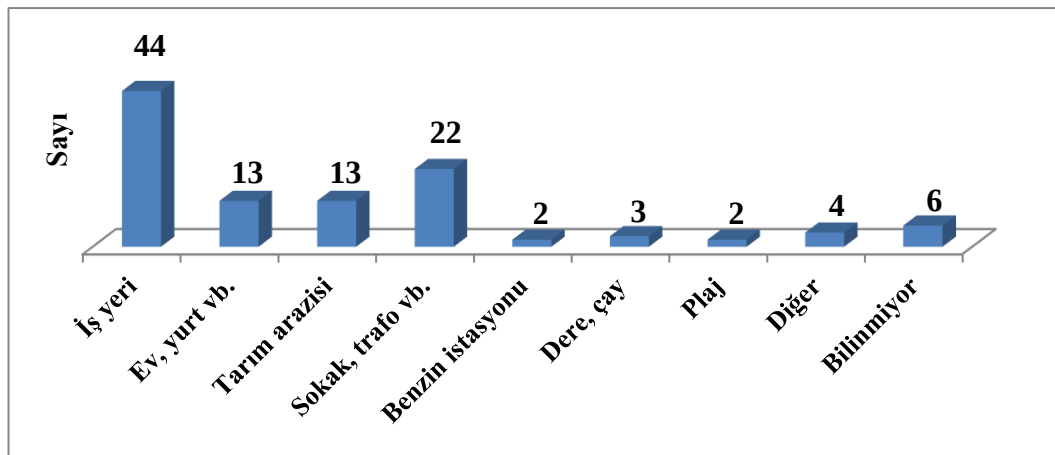
Şekil 4.3. Elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölümlerin mevsimlere göre dağılımı

Elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölümlerin en çok 24 (%22) olguyla Temmuz, 20 (%18.3) olgu ile Eylül, 19 (%17.4) olgu ile Ağustos aylarında olduğu görüldü. Olguların aylara göre dağılımları Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölümlerin aylara göre dağılımı

Elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölümlerin olduğu yerler; iş yeri (inşaat, fabrika, çalıştığı otel vb.), ev (kaldığı yurt, otel vb.), arazi (tarla, sera), sokak (yol kenarı, elektrik direği, trafo vb.), benzin istasyonu, dere veya çay kenarı, plaj, diğer ve bilinmeyenler şeklinde sınıflandırılmıştır. En sık olay yeri 44 (%40.4) olgu ile iş yeri idi. Olay yeri; 22 (%20.2) olguda sokak (yol kenarı, trafo, elektrik direği vb.), 13 (%11.9) olguda tarım arazisi, 13 (%11.9) olguda ise evdi. 3 (%2.8) olguda olay yeri dere veya çay kenarı olup bunlardan 2'sini derede elektrik akımı ile balık tutmaya çalışırken, diğerini ise oltasıyla balık tutmak isterken oltasının ucunun yüksek gerilim hattına temas etmesi neticesinde elektrik çarpmıştı. 2 (%1.8) olgu benzin istasyonunda araçlarını yıkamak için ellerine su tabancasını aldıklarında elektrik akımına kapılmıştı. Olay yeri plaj olan 2 (%1.8) olgumuzdan birini kabinde duş alırken, diğerini ise denizden çıktıktan sonra plajdaki branda gerilmiş alanda kurulu televizyon antenini ayarladığı sırada elektrik çarpmıştı. Diğer olarak sınıflandırılan 4 (%3.7) olgudan birinin kamyonetin kasasında yolculuk yaparken yüksek gerilime kapıldığı, diğerinin teknesinde iken tekne direğinin elektrik tellerine teması sonrası akıma kapıldığı, bir diğerini futbol sahasında projektörün tamiratını yaparken, sonuncusunu ise barda kendisine içecek almak için tezgaha yöneldiği sırada elektrik çarptığı tespit edilmişti. Olay yeri bilinmeyen 6 (%5,5) olguda ise elimizde yeterli adli tahkikat bilgisi yoktu. Olguların olay yerlerine göre dağılımı Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



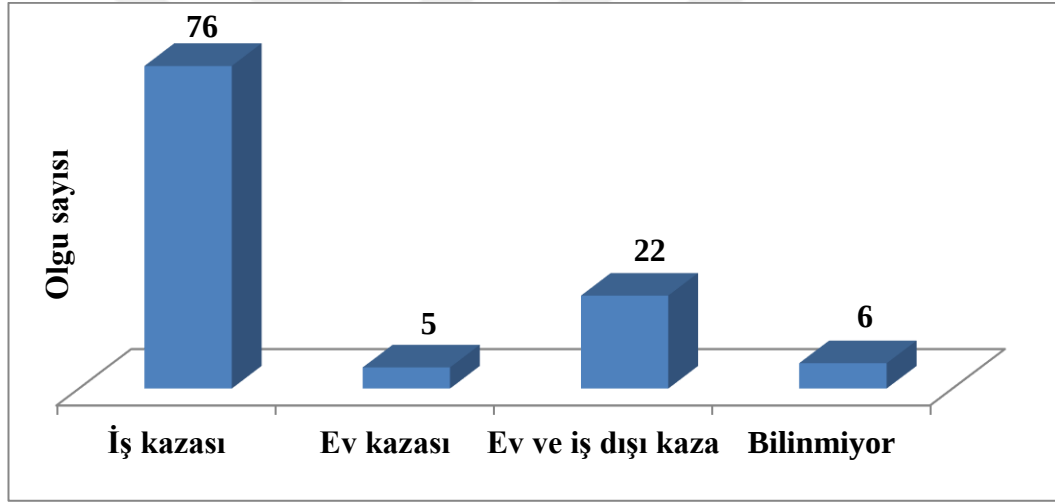
Şekil 4.5. Elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölümlerin olay yerlerine göre dağılımları

Elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölümlerin cinsiyete göre olay yeri dağılımları incelendiğinde; 103 erkek olgunun 44 (%42.7)'ünün elektrik akımına maruz kaldığı yer iş yeri, 21 (%20.4)'inin sokak, yol kenarı, trafo veya elektrik direği idi. 103 erkek olgunun sadece 8 (%7.8)'inde olay yeri evdi. 6 kadın olgumuzda ise 5 (%83.3)'inin olay yeri evdi. Cinsiyete göre elektrik çarpmalarının olay yerleri; ev ve ev dışında olanlar şeklinde kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur (p=0,000). Elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölümlerin kadınlarda daha çok ev ortamında erkeklerde ise ev dışı ortamlarda (n=95, %92.2), özellikle de iş yerlerinde (n=44, %42.7) görüldüğü tespit edilmiştir. Olguların cinsiyete göre olay yeri dağılımları Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölüm olgularının cinsiyete göre olay yeri dağılımları

Olay Yeri	Cinsiyet				Toplam	
	Erkek		Kadın			
	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde
İş yeri	44	%42.7	0	0	44	%40.4
Ev, yurt, otel	8	%7.8	5	%83.3	13	%11.9
Tarım arazisi	13	%12.7	0	0	13	%11.9
Sokak (trafo, elektrik direği)	21	%20.4	1	%16.7	22	%20.2
Dere veya çay kenarı	3	%2.9	0	0	3	%2.8
Plaj	2	%1.9	0	0	2	%1.8
Benzin istasyonu	2	%1.9	0	0	2	%1.8
Diğer	4	%3.9	0	0	4	%3.7
Bilinmiyor	6	%5.8	0	0	6	%5.5
Toplam	103	%100	6	%100	109	%100

Elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölümler orjine göre değerlendirildiğinde; 109 olgunun 103 (%94.5)'ü kaza orjinliydi. 6 (%5.5) olguda orjin belirlenemedi. Olgularımız arasında cinayet veya intihara rastlanmadı. Kaza orjinli 103 olgu; iş kazası, ev kazası ile ev ve iş dışı kaza olarak sınıflandırıldı. Olguların 76 (%69.7)'sı iş kazası, 5 (%4.6)'i ev kazası, 22 (%20.2)'si ev ve iş dışı kazaydı. Orjini belirlenemeyen 6 olgunun 5'inde elimizde yeterli adli tahkikat yoktu. Diğer olguda ise; 19 yaşında erkek şahsın kaldığı pansiyonun 3. katındaki odasında, oda arkadaşlarının da bulunduğu esnada elindeki şarj aletini odanın penceresine yakın geçen elektrik tellerine atması ile elektrik çarptığı anlaşılmış olup, bunu intihar amaçlı mı yaptığı yoksa kaza mı olduğu anlaşılamamıştır. Olguların orjine göre dağılımı Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölümlerin orjine göre dağılımı

Elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölümlerin cinsiyete göre orjin dağılımları incelendiğinde; 103 erkek olgunun 76 (%73.8)'sı iş kazası, 21 (%20.4)'i ev ve iş dışı kaza olup, sadece 1 (%1) tanesi ev kazasıydı. 6 kadın olguda ise; 4 (%66.6)'ü ev kazası, 1 (%16.7)'i ev ve iş dışı kaza olup, 1 (%16.7) tanesinin ise orjini belirlenememiştir. Cinsiyete göre elektrik çarpması orjini; iş kazası ve iş kazası dışındaki kazalar olarak karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ($p=0,001$). Erkek olguların 76 (%73.8)'sında elektrik

çarpmasının orjini iş kazası iken; kadın olguların hiçbirinde elektrik çarpması iş kazası niteliğinde değildi. Olguların cinsiyete göre orjin dağılımları Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

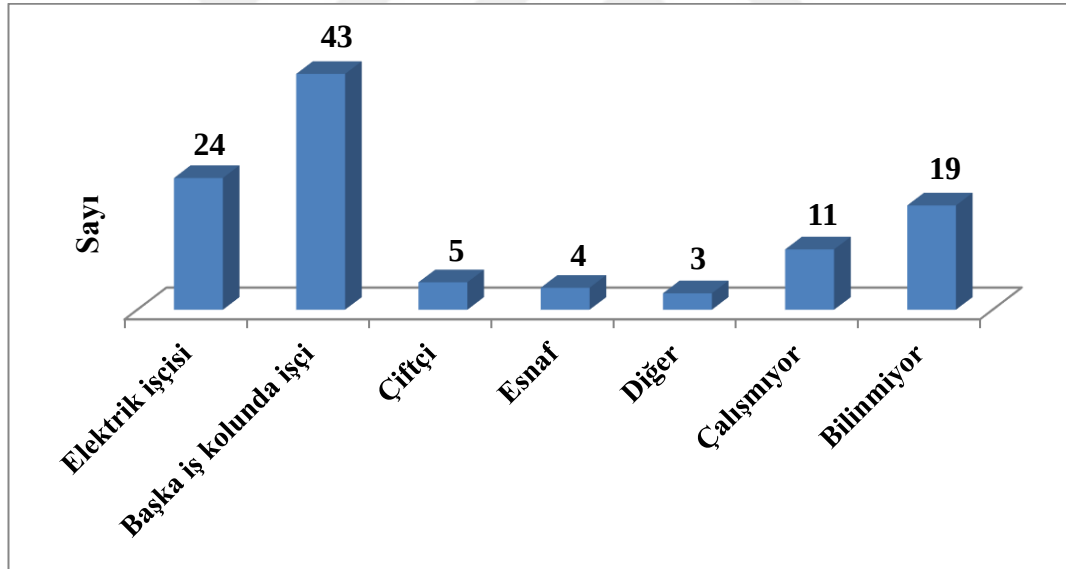
Çizelge 4.4. Elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölüm olgularının cinsiyete göre orjin dağılımları

Orjin	Cinsiyet				Toplam	
	Erkek		Kadın			
	Sayı	%	Sayı	%	Sayı	%
İş Kazası	76	%73.8	0	0	76	%69.7
Ev Kazası	1	%1	4	%66.6	5	%4.6
İş ve Ev Dışı Kaza	21	%20.4	1	%16.7	22	%20.2
Cinayet	0	0	0	0	0	0
İntihar	0	0	0	0	0	0
Bilinmiyor	5	%4.8	1	%16.7	6	%5.5
Toplam	103	%100	6	%100	109	%100

Çalışmamızda; 18 yaş ve altında 14 (%12.8) olgu tespit edilmiştir. Olgularımızın 13'ü erkek, sadece biri kızdı. Söz konusu 14 olguda elektrik çarpmasının orjini; 7 (%50)'sinde iş kazası, 1 (%7.1)'inde ev kazası, 5 (%35.8)'inde ise ev ve iş dışı kazaydı. 1 (%7.1) olguda ise yeterli adli tahkikat bulunmadığından orjin hakkında yorum yapılamadı. 18 yaş ve altındaki 14 olgumuz olay yerleri açısından değerlendirildiğinde; olay yeri 4 (%28.6) olguda iş yeri, 4 (%28.6) olguda ev (kaldığı yurt, otel vs.), 2 (%14.3) olguda sokak (elektrik

direği, trafo vs.), 2 (%14.3) olguda plajdı. 2 (%14.3) olguda ise ölü muayene tutanaklarında olay yerleri belirtilmemişti.

Elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölüm olguları mesleklerine göre; elektrik işçisi, diğer iş kollarında işçi (inşaat işçisi, sucu, kaynakçı vb.), çiftçi, esnaf, çalışmayan (ev hanımı, öğrenci, çocuk vb.), diğer ve bilinmeyenler olarak sınıflandırılmıştır. Çalışmamızdaki olguların 43 (%39.4)'ünün elektrik dışı iş kollarında işçi olduğu, 24 (%22)'ünün elektrik işçisi olduğu, 19 (%17.4)'ünün mesleğinin bilinmediği, 11 (%10.1) olgunun çalışmadığı (ev hanımı, öğrenci, çocuk vb.) tespit edilmiştir. 6 kadın olgumuzun 4'ü ev hanımı, 1'i 14 yaşında öğrenci olup, 1'inin ise adli tahkikatında mesleğinden bahsedilmemişti. Diğer olarak sınıflandırılan 3 (%2.8) olgudan biri animatör, diğeri şoför, bir diğeri ise balıkçıydı. Olguların mesleklere göre dağılımı Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

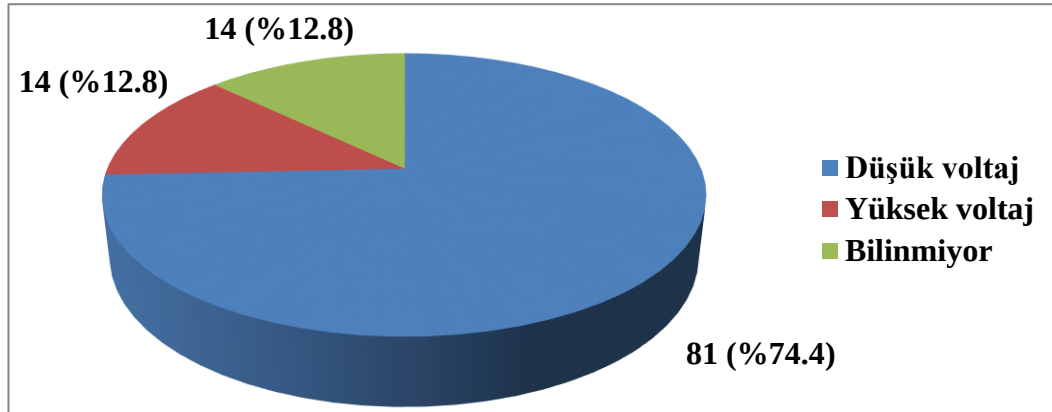


Şekil 4.7. Elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölüm olgularının meslek dağılımları

Antalya turistik bir şehir olduğu için olguların uyrukları ve olayın oluş şekli de incelenmiştir. 109 olgunun 104 (%95.4)'ü Türkiye Cumhuriyeti vatandaşı, 5 (%4.6)'i yabancı uyruklu idi. Kayıtlara göre; olgularımızdan Ukrayna uyruklu olanı, turistik amaçla Antalya'ya gelmiş ve sokakta telefon kulübesinde görüşme

yaptığı esnada, kulübedeki kaçaktan elektrik akımına maruz kalmıştı. 2 İsrail vatandaşının kaldıkları otel havuzunun kenarında elektrik akımına maruz kaldığı, 1 Kazakistan uyruklu kişinin hırsızlık amacıyla trafo binasına girdiği ve kablo çalmak isterken yüksek gerilime kapıldığı tespit edilmiştir. Gürcistan uyruklu bir olguyu ise bir dükkana jeneratörden elektrik çekerken elektrik çarpmıştır.

Çalışmamızdaki olgular; maruz kaldıkları elektrik akımı tipine ve voltajına göre de incelenmiştir. Olgularımızın 101 (%92.7)'i alternatif akıma maruz kalmıştı. 8 (%7.3)'ünün akım tipi bilinmiyordu. Doğru akım ile gerçekleşmiş ölüm olgusu saptanmamıştır. Çalışmamızda 1000 voltun altındaki gerilim değerleri düşük voltaj, üstündeki gerilim değerleri ise yüksek voltaj olarak kabul edilmiştir. Olgularımızın 81 (%74.4)'inin düşük voltaja, 14 (%12.8)'ünün yüksek voltaja maruz kaldığı, 14 (%12.8) olguda ise adli tahkikatta voltaj hakkında bilgi verilmediği anlaşılmıştır. 6 kadın olgunun düşük voltaja maruz kaldığı, yüksek voltaja maruz kalan 14 olgunun da erkek olduğu tespit edilmiştir. Olguların maruz kaldıkları voltaja göre dağılımı Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



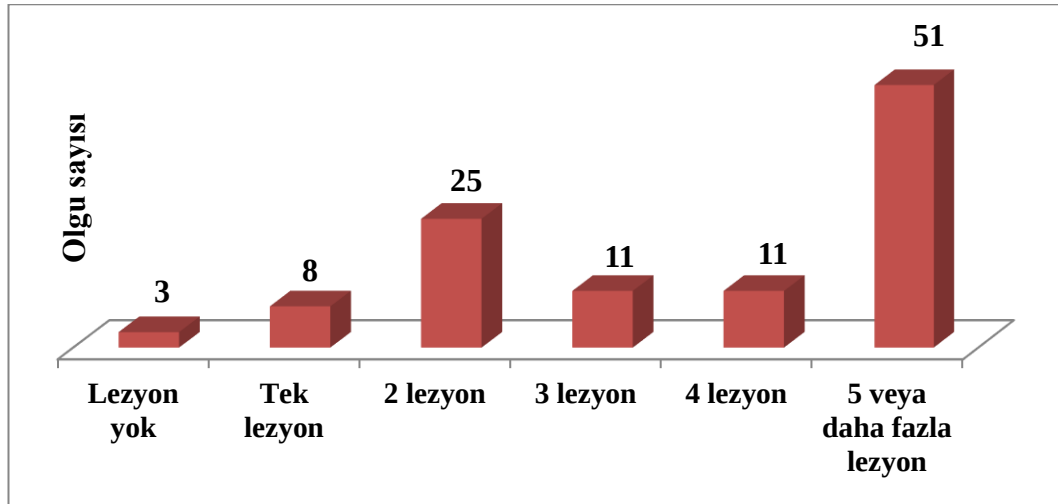
Şekil 4.8. Olguların maruz kaldıkları voltaja göre dağılımı

Olgularımızın 90 (%82.6)'ına tıbbi müdahale uygulanmış, 19 (%17.4)'una herhangi bir tıbbi müdahalede bulunulmamıştı. Olgularımızın 101 (%92.7)'i elektrik çarpmasının olduğu gün hayatını kaybetmişti. 8 (%7.3)'i ise hastaneye yatırılarak tedavi altına alınmış ve elektrik çarpmasının olduğu günden sonraki

günlerde ölmüşlerdi. Bunlardan biri elektrik çarpmasından 2 gün sonra, 3'ü elektrik çarpmasından 3 gün sonra, 2'si 4 gün sonra, diğer 2'si de 5 gün sonra hastanede tedavi altındayken hayatını kaybetmişti.

Otopsilerde 109 olgunun 106 (%97.2)'sında elektrik akımı ile oluşabilecek nitelikte cilt lezyonu saptanmış olup bunların 103 (%94.5)'ünden histopatolojik inceleme için örnek alınmıştı. Örneklerin histopatolojik incelemesinde; intraepidermal veya dermoepidermal ayrışma, epidermal hücre çekirdeklerinde uzama, hiperkromazi ve dermiste homojenizasyon gibi elektrik veya ısı etkisiyle oluşabilecek nitelikte histomorfolojik bulgular saptanmıştı. 3 (%2.8) olguda ciltte lezyon bulunmasına rağmen histopatolojik inceleme için örnek alınmamıştı. Diğer 3 (%2.8) olguda ise deride herhangi bir lezyon bulunmadığı görüldü.

Çalışmamızdaki 109 olgunun 51 (%46.8)'inin vücutlarında 5 veya daha fazla elektrik akımı lezyonu bulundu. Olguların 25 (%22.9)'inde 2 lezyon, 11 (%10.1)'inde 3 lezyon, 11 (%10.1)'inde 4 lezyon, 8 (%7.3)'inde ise tek lezyon mevcuttu. Olgularımızda bulunan elektrik akımı lezyonu sayıları Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



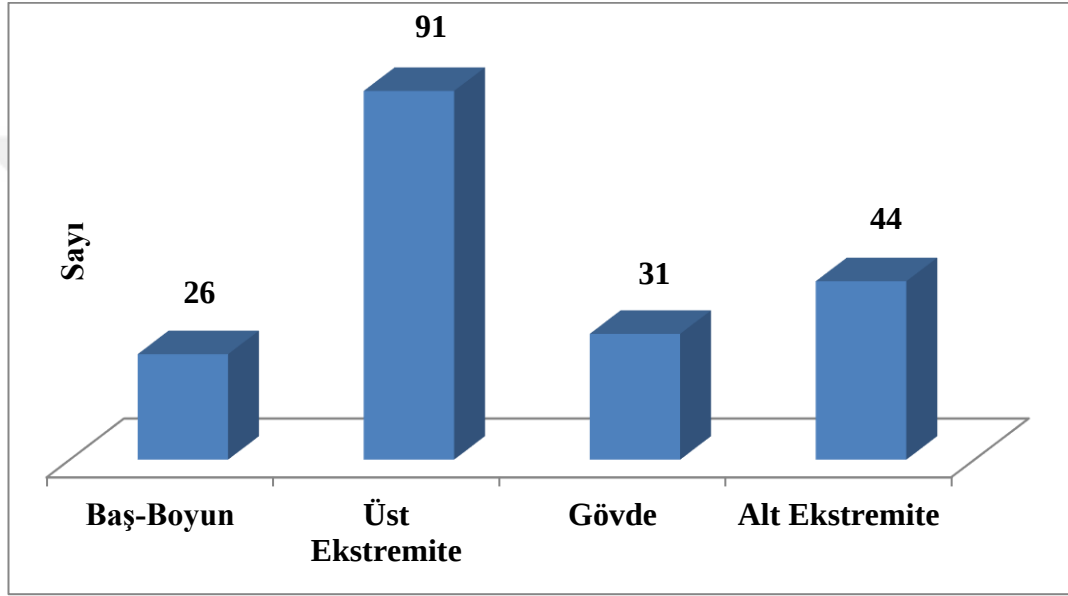
Şekil 4.9. Olgularda saptanan elektrik akımı lezyonu sayıları

Yüksek voltajlı elektrikle yaralanma sonucu ölen olgularımızın vücutlarındaki lezyon sayısı daha fazlaydı. Çalışmamızdaki yüksek voltaja maruz kalan 14 olgunun tamamının vücudunda 5 veya daha fazla lezyon bulunmaktaydı. Voltajı bilinmeyen 14 olgu hariç tutulduğunda; yüksek ve düşük voltaj ile vücudunda 5 veya daha fazla lezyon bulunan ve 5’den daha az lezyon bulunan olgular kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur (p=0,000). Voltaja göre vücuttaki lezyon sayıları Çizelge 4.5’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Maruz kalınan voltaja göre lezyon sayıları

Lezyon Sayısı	Voltaj						Toplam	
	Düşük Voltaj		Yüksek Voltaj		Bilinmiyor			
	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde
Lezyon yok	3	%3.7	0	0	0	0	3	%2.8
Tek lezyon	8	%9.9	0	0	0	0	8	%7.3
2 lezyon	24	%29.6	0	0	1	%7.1	25	%22.9
3 lezyon	11	%13.6	0	0	0	0	11	%10.1
4 lezyon	10	%12.3	0	0	1	%7.1	11	%10.1
5 veya daha fazla	25	%30.9	14	%100	12	%85.8	51	%46.8
Toplam	81	%100	14	%100	14	%100	109	%100

Elektrik akımı lezyonları 91 (%83.5) olguyla en sık üst ekstremitelerde yer alıyordu. Olgularımızın 44 (%40.4)'ünde alt ekstremitelerde, 31 (%28.4)'inde gövdede, 26 (%23.9)'sında baş-boyun bölgesinde elektrik akımı lezyonu mevcuttu. Olgularımızdaki elektrik akımı lezyonlarının vücut bölgelerindeki görülme sıklığı Şekil 4.10'da gösterilmiştir. (Birden fazla vücut bölgesinde yaralanma mümkündür).



Şekil 4.10. Olgulardaki lezyonların vücut bölgelerinde görülme sıklığı

Çalışmamızda 39 (%35.8) olguyla en sık sadece üst ekstremitelerde lezyon vardı. Bunu 16 (%14.7) olguyla üst ekstremiteler + alt ekstremiteler, 10 (%9.1) olguyla üst ekstremiteler + gövde takip ediyordu. 9 (%8.2) olguda ise vücudun tüm bölgelerinde elektrik akımı lezyonu mevcuttu. Olgularımızdaki elektrik akımı lezyonlarının vücuttaki dağılımları Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Elektrik akımı lezyonlarının vücuttaki dağılımları

Lezyonların Bulunduğu Vücut Bölgesi	Sayı	Yüzde
Sadece üst ekstremité	39	%35.8
Üst ekstremité + Alt ekstremité	16	%14.7
Üst ekstremité + Gövde	10	%9.1
Baş-boyun + Üst ekstremité + Gövde + Alt ekstremité	9	%8.2
Baş-boyun + Üst ekstremité	7	%6.4
Sadece alt ekstremité	6	%5.5
Üst ekstremité + Gövde + Alt ekstremité	4	%3.6
Baş-boyun + Üst ekstremité + Gövde	3	%2.8
Baş-boyun + Üst ekstremité + Alt ekstremité	3	%2.8
Baş-boyun + Alt ekstremité	3	%2.8
Sadece gövde	3	%2.8
Gövde + Alt ekstremité	2	%1.8
Sadece baş-boyun	1	%0.9
Lezyon yok	3	%2.8
Toplam	109	%100

Çalışmamızdaki olguların elektrik akımı lezyonları; temas lezyonu, ark yanığı ve dendritik yanıklar olarak sınıflandırılmıştır. Vücudunda elektrik akımı lezyonu bulunan 106 olgumuzun 96 (%88.1)'sında lezyonlar temas lezyonu şeklindeydi. 9 (%8.2) olguda temas lezyonu ve ark yanığı birlikte görüldü. 1 (%0.9) olguda ise sadece ark yanığı mevcuttu. Olgularımızda dendritik yanığa rastlanmadı. Yüksek ve düşük voltajlı elektrik akımına kapılan olgular ile vücudunda ark yanığı şeklinde lezyon olan ve olmayan olgular karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulundu ($p=0,000$). Yüksek voltajlı elektrik çarpması sonucu ölen olguların 8 (%57.1)'inde ark yanığı mevcuttu. Düşük voltajlı elektrik akımına maruz kalan olgularımızın hiçbirinde ark yanığı

bulunmuyordu. Olgularımızın kapıldıkları elektrik akımı voltajına göre lezyon tipleri Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Elektrik akımının voltajına göre oluşan lezyon tipi

Lezyon Tipi	Voltaj						Toplam	
	Düşük voltaj		Yüksek voltaj		Bilinmiyor			
	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde
Temas lezyonu	78	%96.3	6	%42.9	12	%85.7	96	%88.1
Ark yanığı	0	0	1	%7.1	0	0	1	%0.9
Temas lezyonu+Ark yanığı	0	0	7	%50	2	%14.3	9	%8.2
Lezyon yok	3	%3.7	0	0	0	0	3	%2.8
Toplam	81	%100	14	%100	14	%100	109	%100

Çalışmamızdaki elektrik çarpması olgularının ölüm mekanizmaları incelendiğinde; 87 (%79.9) olguyla ölüme en çok solunum ve dolaşım yetmezliği (aritmi, solunum kasları spazmı, akciğer ödemi vs.) sebep olmuştu. 8 (%7.4) olguda ölümün, yüksekten düşmeye bağlı genel vücut travması ile solunum ve dolaşım yetmezliğinin müşterek etkisi neticesinde gerçekleştiği kayıtlıydı. 6 (%5.5) olguda ise santral sinir sistemi komplikasyonu (beyin ödemi, herniasyon vs.) ile solunum ve dolaşım yetmezliğinin müşterek etkisi ölüm mekanizmasında rol oynuyordu. 1 (%0.9) olguda myokart enfarktüsü ölümde etkili olurken, 1 (%0.9) olguda ise myokart enfarktüsüne santral sinir sistemi komplikasyonu eşlik ediyordu. Olgularımızın elektrik çarpmasına bağlı ölüm mekanizmaları Çizelge 4.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Olgulardaki elektrik çarpmasına bağlı ölüm mekanizmaları

Ölüm Mekanizması	Sayı	Yüzde
Solunum – dolaşım yetmezliği (aritmi, solunum kasları spazmı, akciğer ödemi vs.)	87	%79.9
Solunum – dolaşım yetmezliği + Yüksekten düşmeye bağlı genel vücut travması	8	%7.4
Santral sinir sistemi komplikasyonu (beyin ödemi, herniasyon, solunum ve dolaşım merkezi felci vs.)	1	%0.9
Solunum – dolaşım yetmezliği + Santral sinir sistemi komplikasyonu	6	%5.5
Yanık	1	%0.9
Yanık + Böbrek yetmezliği	1	%0.9
Yanık + Solunum – dolaşım yetmezliği	2	%1.8
Yüksekten düşmeye bağlı genel vücut travması	1	%0.9
Myokart enfarktüsü	1	%0.9
Myokart enfarktüsü + Santral sinir sistemi komplikasyonu	1	%0.9
Toplam	109	%100

Olgularımıza yapılan otopsilerde; elektrik çarpmalarına spesifik deri bulgularının yanı sıra nonspesifik bulgular da saptanmıştır. Makroskopik olarak; 99 olguda peteşiyal kanama alanları (saçlı deri altı, subplevral, subperikardiyal), 23 olguda tıbbi müdahaleye sekonder olduğu düşünülen kosta ve/veya sternum kırıkları, 9 olguda travmaya sekonder iskelet sisteminde kırık veya çıkık, 12 olguda iç organlarda harabiyet, 5 olguda batın içinde kanama tespit edilmiştir. Histopatolojik olarak ise; 59 olguda akciğerlerde intraalveoler taze kanama, 4 olguda akciğerlerde yağ embolisi saptanmıştır. Olgularımızdaki elektrik çarpmasına nonspesifik otopsi bulguları Çizelge 4.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Olgularda saptanan nonspesifik otopsi bulguları

Otopsi Bulguları	Sayı	Yüzde
Peteşiyal kanama (saçlı derialtı, subplevral, subperikardiyal)	99	%90.8
İskelet sisteminde tıbbi müdahaleye bağlı kırık	23	%21.1
İskelet sisteminde travmaya sekonder kırık veya çıkık	9	%8.2
İç organlarda harabiyet	12	%11
Batın içinde kanama	5	%4.5
Mide ve barsak mukozasında kanama	2	%1.8
Akciğerlerde intraalveoler taze kanama	59	%54.1
Akciğerlerde yağ embolisi	4	%3.6

Olgularımızın 20 (%18.3)'sinin elektrik akımına kapılarak yüksek bir yerden düştüğü kayıtlıdır. Bunlardan 6'sının elektrik direğinden, 4'ünün merdivenden, 3'ünün serada kaynak işi yaparken demirlerin üzerinden, ağaç kesim işi yapan birinin ise elektrik akımına kapılarak ağaçtan düştüğü belirlenmiştir.

Olgularımız vücutlarındaki travmatik bulgu varlığına göre değerlendirildiğinde; 22 (%20.1) olguda yüksekte düşme ve savrulma gibi nedenlere bağlı travmatik bulgular, 26 (%23.8) olguda tıbbi müdahale ile oluşabilecek nitelikte travmatik lezyon, 8 (%7.3) olguda ise her iki tipte travmatik bulgu saptanmıştır.

Çalışmamızdaki 109 olgunun 107'sinden alkol, uyutucu ve uyuşturucu madde analizi için örnekler alınarak toksikolojik inceleme yapılmıştır. 102 (%93.7) olguda kanda etil alkol – metil alkol tespit edilmemiştir. 2 (%1.8) olguda 1-49 mg/dl değerleri arasında, 1 (%0.9) olguda 50-99 mg/dl değerleri arasında, 2

(%1.8) olguda ise 150-199 mg/dl değerleri arasında etil alkol tespit edilmişti. Olgularımızın kan etil alkol düzeyleri  izelge 4.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Olgulardaki kan etil alkol düzeyleri

Etil Alkol Değeri (mg/dl)	Sayı	Yüzde (%)
Alkol saptanmayan	102	%93.7
1-49 mg/dl	2	%1.8
50-99 mg/dl	1	%0.9
100-149 mg/dl	0	0
150-199 mg/dl	2	%1.8
Bakılmamış	2	%1.8
Toplam	109	%100

Olgularımızda yapılan uyutucu – uyuşturucu madde analizinde 2 (%1.8) olguda uyutucu – uyuşturucu maddeye rastlanmış, 105 (%96.4) olguda herhangi bir uyutucu – uyuşturucu madde saptanmamış, 2 (%1.8) olguda ise toksikolojik analiz için örnek alınmamıştı. Uyutucu – uyuşturucu madde saptanan 2 olgudan birinin kanında 319 ng/ml morphine, 18.6 ng/ml codeine, 47 ng/ml benzoylecgonine, 12 ng/ml methylecgonine, idrarında opiat grubuna ait morphine ve codeine ile benzoylecgonine tespit edilmişti. Bu olgunun hırsızlık amacıyla trafo binasının kapısını zorlayarak girdiği ve kablo çalarken yüksek gerilime kapılarak öldüğü belirtilmişti. Diğer olguda ise kanda uyutucu – uyuşturucu maddeye rastlanmamış olup, idrarda esrar etken maddesi tetrahydrocannabinol saptanmıştı.

Olgularımızın 37 (%33.9)’sinde olay yerinde teknik bilirkişi görüşü alınmış olup rapor düzenlenmesi talep edilmiştir. Bunlardan 23 (%21.1)’ünde teknik bilirkişi raporu tarafımıza iletilmiş olup, 14 (%12.8)’ünün raporu tarafımıza gönderilmemiştir. Kalan 72 (%66.1) olguda ise teknik bilirkişi raporu ya düzenlenmemiş ya da talep edildiyse bile  l  muayene tutanaklarında bundan bahsedilmemiştir. Tarafımıza iletilen 23 teknik bilirkişi raporu incelendiğinde;

olguların 12 (%52)'sinde elektrik kaçağı bulunmuş, bunların elektrikli alet ve makinelerde kaçak, elektrik kablolarında izolasyon eksikliği, kırık fiş ve prizlerden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Kalan 11 (%48) olguda ise elektrik çarpması; dikkatsizlik, ihmalkarlık ve tedbirsizlik gibi kişisel faktörlere bağlanmıştır.



5. TARTIŞMA

Elektrik yaşamımız için gerekli olmakla birlikte, elektrik çarpması yüksek morbidite ve mortalite ile seyreden, tüm yaş gruplarının risk altında olduğu bir travmadır (36). Yapay elektrik enerjisinin icadından bu yana elektriğin kullanım alanı giderek genişlemekte, neden olduğu yaralanma ve ölümlerde de artış görülmektedir (1).

Elektrikle yaralanmaların acil servislere başvuru sıklığı ile ilgili ülkemiz için yeterli veri bulunmamaktadır (34). Ancak ülkemizdeki elektrik yaralanmalarının dünya ortalamasından belirgin şekilde yüksek olduğu belirtilmektedir (33). ABD’de yanık merkezlerine başvuruların %3-6’sının elektrikle yaralanma olduğu bildirilmiştir (34). Ülkemizde ise bu oran %10-14.5 dolaylarındadır (35).

Ülkemizde ve yurt dışında elektrik çarpmaları ile ilgili yapılan çalışmalarda farklı ölüm oranları bildirilmiştir. Hindistan’da Manipur’da yapılan bir çalışmada elektrik akımına bağlı ölümlerin tüm adli vakalar içerisindeki oranı %1,02 olarak tespit edilmiştir (124). Bu oran Tahran’daki bir çalışmada ise %0,6 olarak bulunmuştur (125). Bursa’da 1996-2003 yılları arasındaki elektrik çarpmasına bağlı ölümlerin tüm otopsilere oranı %1.49 iken (11), Sivas’ta yapılan bir çalışmada 1990-1995 yılları arasında ölü muayenesi ve otopsisi yapılan tüm adli ölüm olguları içinde elektrik ve yıldırım çarpmalarının oranı %1.6 (126), Aydın’da 2000-2003 yılları arasında yapılan bir çalışmada bu oran %2.3 (127), Ankara’da 2002-2006 yılları arasında yapılan bir çalışmada ise elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölümlerin tüm adli otopsilere oranının %0.86 olduğu görülmüştür (45). Antalya’da daha önce yapılan bir çalışmada 1987-1993 yılları arasında elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölüm olgularının tüm adli otopsilere oranı %0.68 olarak bulunmuştur (128). Çalışmamızda ise 2006-2015 yılları arasında yapılan 6212 adet otopsinin 109’u elektrik çarpması olup; elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölüm olgularının tüm otopsilere oranı %1.7 olarak bulunmuştur. Bu oran diğer illerdeki oranlarla uyumlu olup, Antalya’da yapılan daha önceki çalışmaya göre oranda artış tespit edilmiştir. Orandaki bu

artışın aradan geçen süre zarfında Antalya ilinde artan nüfus, yapılaşma ve gelişen turizm ile buna bağlı olarak elektrik kullanımının artmasından kaynaklanabileceği düşünülmüştür.

Yurtiçinde ve yurtdışında yapılan birçok çalışmada elektrik çarpmalarının özellikle erkeklerde görüldüğü tespit edilmiştir (2, 11, 33, 34, 45). Almanya’da yapılan bir çalışmada 37 elektrik çarpmasına bağlı ölüm olgusunun 30 (%81)’u erkek, 7 (%19)’sinin kadın olduğu bildirilmiştir (129). Malatya’da yapılan bir araştırmada elektrik çarpması olgularının 28 (%73.7)’i erkek, 10 (%26.3)’ünün kadın olduğu (34), Şanlıurfa’da yapılan bir çalışmada olguların 138 (%90.8)’i erkek, 14 (%9.2)’ünün kadın olduğu (33), Bursa’da yapılan bir çalışmada olguların 59 (%93.7)’u erkek, 4 (%6.3)’ünün kadın olduğu (11), Ankara’da yapılan bir çalışmada ise olguların 36 (%93.3)’sı erkek, 3 (%7.7)’ünün kadın olduğu tespit edilmiştir (45). Çalışmamızda da literatür verileriyle uyumlu olarak elektrik çarpmalarının belirgin şekilde erkeklerde daha fazla görüldüğü tespit edilmiştir. Çalışmamızdaki 109 olgunun 103 (%94.5)’ü erkek, 6 (%5.5)’sı kadındı. Elektrik çarpmalarının erkeklerde kadınlara göre daha fazla görülmesi, özellikle elektrikle uğraşılacak iş kollarında erkeklerin daha yoğun çalışıyor olmasına bağlanmıştır.

Çalışmamızdaki olguların yaş ortalaması 29.7 (en küçük 2, en büyük 69) olarak bulundu. Erkeklerin yaş ortalaması 29.9, kadınların yaş ortalaması ise 26.3’tü. Cinsiyetlere göre yaş ortalamaları arasında anlamlı farklılık saptanmadı. Çalışmamızdakine benzer şekilde Ankara’da (45) yapılan bir çalışmada yaş ortalaması 28.7, Bursa’da (11) yapılan bir çalışmada 32.5, Almanya’da (129) yapılan bir çalışmada ise yaş ortalaması 33’tü.

Olgular yaş gruplarına göre incelendiğinde; 46 (%42.2) olguyla en fazla olgunun 20-29 yaş grubunda olduğu tespit edildi. Bizim çalışmamıza benzer şekilde, Malatya’da yapılan bir çalışmada elektrik yaralanmasına en çok maruz kalan yaş grubu, olguların %39.5’ini oluşturan 17-29 yaş aralığıydı (34). Gaziantep’te yapılan çalışmada olguların %40.8’i 21-30 yaş grubunda yer alıyordu (130). İstanbul’da yapılan bir çalışmada olguların %34.5’inin 3. dekatta, %27.4’ünün 2. dekatta olduğu bildirilmiştir (131). Bursa’da yapılan bir çalışmada

ise olguların en çok %28.6 ile 4. dekatta bulunduğu belirtilmiştir (11). Çalışmamızdaki olguların yaş ortalaması ve yaş grupları; Bursa'daki çalışma dışında, literatür verileri ile uyumlu olup elektrik çarpması olgularının çoğunluğunu genç erkeklerin oluşturduğu görülmüştür. Bunun da, toplumumuzda daha çok erkeklerin iş hayatında olmasına, genç yaş grubunda çalışan kişi sayısının fazla olmasına ve deneyimsiz kişilerin kaza yapma eğilimine bağlı olabileceği düşünülmüştür.

Elektrik çarpmaları özellikle yaz mevsiminde daha sık görülmektedir (2, 11, 33, 45, 132). Avustralya'da yapılan bir çalışmada elektrik çarpmasına bağlı ölüm olgularının %62.7'sinin yaz aylarında görüldüğü bildirilmiştir (132). Bursa'da elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölümlerin incelendiği bir çalışmada olguların %53.9'luk bir oranla en sık yaz aylarında görüldüğü, ikinci sıklıkla ise %25.4'lük oranla sonbaharda görüldüğü tespit edilmiştir (11). Ankara'da yapılan bir çalışmada elektrik akımına bağlı ölümlerin %53.8'i yaz mevsiminde görülmüştür (45). Şanlıurfa'da yapılan bir çalışmada elektrik çarpması nedeni ile acil servise başvuran hastalar değerlendirilmiş olup, %46.1 oranı ile en sık yaz mevsiminde yaralanma olduğu görülmüştür. Son çalışmada yaz mevsiminde olguların fazla olması, sulama amacıyla kaçak elektrik kullanımının bu mevsimde artmasına bağlanmıştır (33). Sivas'ta yapılan bir çalışmada ise elektrik akımı nedeniyle hayatını kaybeden ve yaralanan olgular incelenmiş ve elektrik kazalarının yaz aylarında daha fazla görüldüğü belirlenmiştir. Söz konusu kaynakta bunun nedeni ise inşaat sektörünün canlılık kazanması ile birlikte vücudun terlemesi sonucu direncin azalmasına bağlanmıştır (133). Bizim çalışmamızda ise elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölümlerin 51 (%46.8) olgu ile en sık yaz mevsiminde görüldüğü, 31 (%28.5) olgu ile de ikinci sıklıkta sonbaharda görüldüğü tespit edilmiştir. Çalışmamızda elektrik çarpmalarının en sık yaz aylarında görülmesi, Antalya'da yaz aylarında artan turizm ve otelcilik faaliyetleri ile inşaat ve yapı sektörünün canlanmasına bağlanmıştır.

Ankara'da 2002-2006 yılları arasında otopsi yapılmış elektrik akımına bağlı ölüm olgularının değerlendirildiği bir çalışmada; olguların olay yerleri %51.2'sinde iş yeri, %33.3'ünde ev, %15.3'ünde açık arazi olarak belirtilmiştir

(45). İstanbul'da yapılan bir çalışmada ise 113 olgunun 35'inin iş yerinde, 18'inin evde elektrik akımına maruz kaldığı bildirilmiştir (131). Bizim çalışmamızda da yukarıdaki çalışmalara benzer şekilde en sık olay yerinin 44 (%40.4) olgu ile iş yeri olduğu görülmüştür. Olay yeri; 22 (%20.2) olguda sokak (yol kenarı, trafo, elektrik direği vb.), 13 (%11.9) olguda tarım arazisi, 13 (%11.9) olguda ise evdi. Diyarbakır'da 2007-2014 yılları arasında yapılan bir çalışmada çalışmamızdakinden farklı olarak elektrik çarpmasına bağlı ölümlerin 76 (%46.6) olgu ile en sık evde meydana geldiği bildirilmiştir. Bunun nedeni olarak ise evlerde sıklıkla kullanılan elektrikli su ısıtıcılarının gösterilebileceği belirtilmiştir (38). Çalışmamızdaki 103 erkek olgunun 44 (%42.7)'ünün elektrik akımına maruz kaldığı yer iş yeri, 21 (%20.4)'inin sokak, yol kenarı, trafo veya elektrik direği idi. 103 erkek olgunun sadece 8 (%7.8)'inde olay yerinin ev olduğu görüldü. 6 kadın olgumuzda ise 5 (%83.3)'inin olay yerinin ev olması istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş ve elektrik akımına bağlı ölüm olgularının erkeklerde iş yerinde ve dış mekanlarda, kadınlarda ise evde daha sık görüldüğü tespit edilmiştir.

Elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölümlerin büyük çoğunluğu kaza orijinli olup, intihar ve cinayet olguları nadir olarak bildirilmiştir (1, 2, 10, 11, 134). Elektrik kazaları genellikle dikkatsizlik, tedbirsizlik, umursamazlık, bilgisizlik, acelecilik, alkol alımı, genel vücut rahatsızlığı gibi kişiyle ilgili faktörlere veya izolasyonun yetersiz olması, koruyucu topraklamanın eksikliği, yanlış topraklama, kısa devre, ışıklandırmanın yetersiz oluşu, bozuk aletler gibi kullanılan elektrikli alete ve uygunsuz ortam koşullarına bağlı olarak meydana gelmektedir (11, 135). Elektrik çarpmaları genellikle iş kazası niteliğinde olup, kadınlarda ise ev kazaları ön plandadır (11, 131). Türkmen ve ark. Bursa'da yaptıkları çalışmada elektrik akımına bağlı hayatını kaybeden 63 olgu tespit etmiş ve tümünün kaza orijinli olduğunu saptamışlardır. Olguların 40 (%63.5)'i iş kazası, 10 (%11.9)'unun ev kazası şeklinde olduğu bildirilmiştir (11). Ankara'da yapılan bir çalışmada ise, bir intihar vakası dışında olguların tamamı kaza orijinlidir (45). Hindistan'da Batı Maharashtra'da yapılan bir çalışmada olguların tamamının kaza orijinli olduğu bildirilmiştir (136). Almanya'da Münster'de yapılan bir çalışmada ise diğer literatür verilerinden biraz farklı şekilde, elektrik çarpması nedeni ile hayatını kaybeden 37 olgunun 25 (%67.6)'i kaza orijinli olup,

10 (%27)'u intihar, 2 (%5.4)'sinin de cinayet orjinli olduğu bildirilmiştir (129). Bizim alışmamızda ise tespit edilen 109 olgunun 103 (%94.5)'ü kaza orjinli olup, Almanya'da yapılan çalışma dışındaki araştırma sonuçları ile uyumlu olduğu görüldü. Kalan 6 (%5.5) olguda ise elimizde yeterli adli tahkikat bulunmadığından orjin hakkında yorum yapılamadı. Olgularımız arasında cinayet veya intihara rastlanmadı. Kaza orjinli 103 olgu; iş kazası, ev kazası ile ev ve iş dışı kaza olarak sınıflandırıldı. Olguların 76 (%69.7)'sı iş kazası, 5 (%4.6)'i ev kazası, 22 (%20.2)'si ev ve iş dışı kazaydı. Elektrik arpması olgularının cinsiyete göre orjin dağılımlarını incelediğimizde; 103 erkek olgunun 76 (%73.8)'sı iş kazası, 21 (%20.4)'i ev ve iş dışı kaza olup, sadece 1 (%1) tanesi ev kazasıydı. 6 kadın olguda ise 4 (%66.6)' ev kazası, 1 (%16.7)'i ev ve iş dışı kaza, 1 (%16.7) tanesinin ise orjini belirlenememişti. 76 iş kazası olgusunun tümünün erkek olması, 6 kadın olgunun 4 (%66.6)' ev kazası olup hiç iş kazası bulunmaması istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p=0,001$). Bu da erkeklerin özellikle de elektrikle uğraşılan inşaat ve yapı sektörü gibi alanlarda kadınlara oranla daha çok yer almasına bağlanmıştır.

Çocukluk ağı adli ölüm olgularının incelendiği çalışmalarda; Adana'da 18 yaş altı ocuk ölümleri arasında elektrik çarpmasına bağlı ölümlerin oranının %0.8 olduğu (137), Konya'da yapılan bir çalışmada elektrik akımına bağlı ölümlerin 0-18 yaş grubu ölümleri arasında %0.3'lk bir orana sahip olduğu bildirilmiştir (138). Ankara'da yapılan bir çalışmada 0-18 yaş grubundaki elektrik çarpmasına bağlı ölümlerin, tüm elektrik çarpmasına bağlı ölümlerin %30.8'ini oluşturduğu ve bunlardan biri dışında geri kalanının kaza orjinli olduğu tespit edilmiştir (45). Bursa'da yapılan bir çalışmada 5-19 yaş grubundaki elektrik çarpması olgularının, tüm elektrik çarpması vakalarının %17.5'ini oluşturduğu ve tümünün kaza orjinli olduğu bildirilmiştir (11). Çalışmamızda ise 18 yaş ve altında 14 (%12.8) olgu tespit edilmiştir. Olgularımızın 13' erkek, sadece biri kızdı. Söz konusu 14 olguda elektrik çarpmasının orjini incelendiğinde; 7 (%50) olguda iş kazası, 1 (%7.1) olguda ev kazası, 5 (%35.8) olguda ev ve iş dışı kazaydı. 1 (%7.1) olguda ise yeterli adli tahkikat bulunmadığından orjin hakkında yorum yapılamadı. Olay yeri 4 (%28.6) olguda iş yeri, 4 (%28.6) olguda ev (kaldığı yurt, otel vs.), 2 (%14.3) olguda sokak (elektrik direği, trafo vs.), 2

(%14.3) olguda plajdı. 2 (%14.3) olguda ise ölü muayene tutanaklarında olay yerleri belirtilmemişti. Diğer çalışmalarda olduğu gibi bizim çalışmamızda da çocukluk çağı elektrik çarpmalarının neredeyse tamamının kaza orjinli olması, aynı zamanda 14 olgumuzun 7 (%50)'sinin iş kazası olması göz önüne alındığında; 18 yaş altı çocukların çalıştırılması hususunda yeni yasal düzenlemelere ve denetimlerin arttırılmasına ihtiyaç olduğu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca çocukların elektrik çarpmalarına karşı alınacak önlemler konusunda bilgilendirilmesi gerektiği kanaatine varılmıştır.

Açıklık ve ark. GATA Haydarpaşa Eğitim Hastanesi Yanık Ünitesine yüksek voltajlı elektrik yaralanması sonrası müracaat eden 27 olguyu incelemiş ve olguların mesleklere göre dağılımına bakıldığında; 4'ü elektrik teknisyeni, 7'si inşaat işçisi, 3'ü boyacı, 2'si su tesisatçısı, 4'ü emekli memur, 4'ü öğrenci ve 3 hastanın da işsiz olduğu tespit edilmiştir. Hastaların %15'inin elektrikçi, %44'ünün ise inşaatla ilgili işlerde çalışan işçiler olduğu saptanmıştır (35). Malatya'da yapılan bir çalışmada ise yüksek voltajlı elektrikle yaralanan hastaların tamamının inşaatla veya yüksek gerilim hatlarında çalıştığı saptanmıştır (34). Bizim çalışmamızda ise olguların 24 (%22)'ü elektrik işçisi, 43 (%39.4)'ü elektrik dışı iş kollarında işçi, 5 (%4.6)'i çiftçi, 4 (3.7)'ü esnaf olup, 11 (%10.1) olgunun çalışmadığı (ev hanımı, öğrenci, çocuk vb.), 19 (%17.4)'ünün ise mesleğinin bilinmediği saptanmıştır. Diğer olarak sınıflandırılan 3 (%2.8) olgudan biri animatör, biri şoför, diğeri ise balıkçıydı. Çalışmamızdaki elektrik çarpması olgularının birçoğu literatür verileriyle uyumlu olarak elektrik dışı iş kollarında işçi (özellikle inşaat ve yapı sektörü) veya elektrik işçisiydi. Bulgularımız elektrik işçisi ve elektrik dışı iş kollarında işçi olarak çalışan kişilerin elektrik çarpmaları açısından potansiyel risk altında olduklarını destekler niteliktedir. Mevcut kazaların bir çoğunun bilgisizlik, tecrübesizlik, dikkatsizlik ve yeterli güvenlik önlemlerinin alınmamasından kaynaklandığı göz önüne alınarak bu kişilere özel eğitim verilmesi gereklidir.

Elektrik akımı gerilimine göre 1000 voltun altı düşük voltaj, üstü yüksek voltaj olarak ifade edilir (33, 34). Adli tıpta elektrik akımı ile ölüm genellikle, evlerde ve endüstride kullanılan voltaj aralığı olan 110-380 volt arasında

görülmektedir (1, 32, 125, 137, 139, 140). İzmir’de 2010-2012 yılları arasında elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölümlerin değerlendirildiği bir çalışmada olguların %74,7’si düşük voltajlı akımlara, %25,3’ünün ise yüksek voltajlı akımlara maruz kaldığı belirtilmiştir (4). Malatya’da yapılan bir çalışmada ise 2008-2010 yılları arasında İnönü Üniversitesi Acil Servisine müracaat eden elektrik çarpması olguları incelenmiş ve olguların %78,9’u düşük voltaj, %21,1’inin ise yüksek voltajlı elektrik akımı ile yaralandığı tespit edilmiştir (34). Güney Afrika’da Gauteng’de yapılan bir çalışmada elektrik çarpması nedeniyle öldüğü bildirilen olguların 91 (%72)’inin düşük voltajlı, 35 (%28)’inin ise yüksek voltajlı elektrik akımına kapıldığı görülmüştür (141). Almanya’da yapılan bir çalışmada ise literatür verilerinin aksine 37 olgunun 24 (%65)’ü yüksek voltajlı, 12 (%32)’sinin düşük voltajlı elektrik akımına bağlı hayatını kaybettiği, 1 (%3) vakada ise voltajın bilinmediği bildirilmiştir (129). Bizim çalışmamızda da 1000 voltun altındaki gerilim değerleri düşük voltaj, üstündeki gerilim değerleri ise yüksek voltaj olarak kabul edilmiştir. Olgularımızın 81 (%74,4)’inin düşük voltaja, 14 (%12,8)’ünün yüksek voltaja maruz kaldığı, 14 (%12,8) olguda ise adli tahkikatta voltaj hakkında bilgi verilmediği görülmüştür. Almanya’da yapılan çalışma dışındaki literatür verileriyle uyumlu olarak olgularımızın büyük çoğunluğu düşük voltaja maruz kalmıştı. Bu da ülkemizde evlerde ve iş yerlerinde çoğunlukla 110-380 volt arasındaki (genellikle 220 V, 50 Hz) elektrik gerilimlerinin kullanılmasına bağlanmıştır. 6 kadın olgunun tamamının düşük voltaja maruz kaldığı, yüksek voltaja maruz kalan 14 olgunun da erkek olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun, özellikle yüksek voltajla çalışılan işlerde çoğunlukla erkeklerin çalışmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Elektrik akımına dirençli dokulardan biri olan deride eğer amper yeterli ise daima lezyon izlenir (1). Ancak elektrik giriş ve çıkış lezyonları her zaman kolayca saptanmayabilir. Saçlı deride, avuçlarda deri kıvrımları ve parmak aralarında, ağız ve dudakların iç yüzünde, özellikle çocuklarda dil üzerinde elektrik giriş ve çıkış yaralarının belirlenmesi zordur. Bu nedenle bütün vücut bölgelerinin dikkatlice incelenmesi gerekmektedir (11). Ayrıca banyo veya yüzme havuzu gibi elektrik akımının geniş bir yüzeyden vücuda girdiği ve derinin ıslaklığı nedeniyle direncinin düştüğü durumlarda deride herhangi bir lezyon

bulunamayabilir (1, 45). Bizim çalışmamızda da 109 olgunun 106 (%97.2)'sında elektrik akımı lezyonu bulunmuşken, 3 (%2.8)'ünde herhangi bir lezyon tespit edilememiştir. Lezyon saptanmayan 3 olgumuzun da düşük voltajlı elektrik akımına maruz kaldığı kayıtlıdır. Bunların ikisinde olay yeri ıslak olup, birinde ise adli tahkikatta olay yeri özellikleri hakkında yeterli bilgi yoktur. Diyarbakır'da 1996-2002 yılları arasında yapılan bir çalışmada elektrik çarpması nedeniyle öldüğü tespit edilen 123 olgunun 14 (%11.4)'ünde elektrik akımı lezyonu saptanmadığı bildirilmiştir (140). Ankara'da yapılan bir çalışmada elektrik akımı lezyonlarının olguların %35.9'unda spesifik olarak tanımlanamadığı belirtilmiştir (45). Hindistan'da yapılan bir çalışmada olguların %9.4'ünde (136), Tahran'da yapılan bir çalışmada ise olguların %5.4'ünde ciltte elektrik akımı lezyonu tespit edilmediği bildirilmiştir (125).

Elektrik çarpmalarında vücutta herhangi bir lezyon saptanmayabileceği gibi, birden fazla lezyon da bulunabilir. Ankara'da yapılan bir çalışmada elektrik çarpmasına bağlı ölüm olgularının lezyon sayıları incelenmiş olup, %25.6'sında tek lezyon, %25.6'sında iki lezyon, %30.8'inde 3 ve üzeri sayıda lezyon, %18'inde ise vücutta yaygın bir şekilde elektrik akımı lezyonu saptandığı bildirilmiştir (45). Bizim çalışmamızda ise 109 olgunun 51 (%46.8)'inin vücutlarında 5 veya daha fazla elektrik akımı lezyonu mevcuttu. Olguların 25 (%22.9)'inde 2 lezyon, 11 (%10.1)'inde 3 lezyon, 11 (%10.1)'inde 4 lezyon, 8 (%7.3)'inde ise tek lezyon olduğu görüldü. Yüksek voltajlı yaralanmalarda geniş bir termal yanık alanı ve çok sayıda ark yanıkları bir arada bulunabilmektedir (2). Çalışmamızdaki 14 yüksek voltajlı elektrik akımı yaralanmasının tümünde lezyon sayısı 5 ve üzerindeydi. Voltajı bilinmeyen olgular hariç tutulduğunda, voltaj ile lezyon sayısı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu saptanmıştır ($p=0,000$). Olgularımızdaki lezyon sayılarının fazlalığı, adli tahkikat yetersizliği, elektrik akımı giriş ve çıkış lezyonlarının tipik özelliklerinin birçok lezyonda bulunmaması nedenleriyle çalışmamızdaki elektrik akımı lezyonları giriş veya çıkış lezyonu olarak ayrı ayrı sınıflandırılmamıştır.

Elektriğin yaralanma veya ölüme neden olması için akımın bir noktadan diğer noktaya geçerken vücudu kat etmesi yani vücudun tamamlanan elektrik

devresinin bir parçası olması gerekir. Akım genellikle bir elden girer (elektrikli aleti tutan elden) ve bir çıkış noktasından vücudu terk eder. Akımın en sık girdiği bölgeler eller ve baş, vücudu en sık terk ettiği yerler ayaklar, bacaklar ve ellerdir (1). Çalışmamızdaki olguların çoğunda elektrik akımı lezyonu birden çok sayıda ve vücudun değişik bölgelerinde yer alıyordu. Olgularımızın 91 (%83.5)'inde üst ekstremitelerde elektrik akımı lezyonu mevcuttu. 44 (%40.4)'ünde alt ekstremitelerde, 31 (%28.4)'inde gövdede, 26 (%23.9)'sında baş-boyun bölgesinde elektrik akımı lezyonu bulunuyordu. Olgularımızda en sık üst ekstremitelerde, ikinci sıklıkla da alt ekstremitelerde lezyon görülmesi literatür verileriyle uyumluydu. Çalışmamızda en sık, 39 (%35.8) olguyla sadece üst ekstremitelerde lezyon mevcuttu. Bunu 16 (%14.7) olguyla üst ekstremit + alt ekstremit + 10 (%9.1) olguyla üst ekstremit + gövde takip ediyordu. 9 (%8.2) olguda ise vücudun tüm bölgelerinde elektrik akımı lezyonu vardı. Hindistan'da yapılan bir çalışmada elektrik akımı lezyonlarının olguların %75.4'ünde üst ekstremitelerde, %13.2'sinde alt ekstremitelerde, %5.6'sında baş-boyun bölgesinde, %5.6'sında da gövdede yer aldığı kayıtlıydı (136). Adana'da 1999 - 2004 yılları arasında elektrik çarpması sonucu ölen 18 yaş altındaki çocukları inceleyen bir çalışmada tespit edilen 37 olgunun 27 (%72.9)'sinde üst ekstremitelerde, 6 (%16.2)'sında alt ekstremitelerde, 4 (%10.8)'ünde baş – boyun bölgesinde, 1 (%2.7)'inde batında, 1 (%2.7)'inde de genital bölgede lezyon bulunduğu, 4 (%10.8) olguda ise elektrik akımı lezyonu tespit edilmediği bildirilmiştir (137).

Kaynaklara göre; elektrik çarpmalarında mortalite %3-15 dolaylarındadır (30). Elektrik akımına bağlı yaralanmalarda ani ölüm görülebileceği gibi yaralanmadan belirli zaman sonra da ölüm gerçekleşebilmektedir. Elektrik akımı yaralanması, en sık ventriküler fibrilasyona neden olarak ölüme yol açar. Bunun dışında; solunum kaslarının spazmı, beyin sapında solunum ve dolaşım merkezlerinin felci, termal yanığın neden olduğu hipovolemik şok, septik şok, geç dönemde böbrek yetmezliği gibi komplikasyonlar ve elektrik akımına kapılarak yüksekten düşme ya da savrulma sonucu meydana gelen travmalar da ölüme neden olmaktadır (1, 10, 25). Elektriksel travmanın mekanik travma ile birlikte bulunduğu durumlarda ani olarak meydana gelen ölümün nedenini saptamak zor

olup bazen ayrımı yapılamamaktadır. Bursa’da yapılan bir çalışmada elektrik çarpması olgularının %85.7’sinin solunum – dolaşım durması sonucu, %12.7’sinin genel beden travması, birinin (%1.6) ise suda boğulma nedeniyle öldüğü bildirilmiştir (11). İstanbul’da yapılan bir çalışmada ölüm nedeninin olguların %86.7’sinde solunum – dolaşım durması, %5.3’ünde genel beden travması, %3.6’sında yanık, %1.8’inde komplikasyonlar, %3.6’sında diğer nedenler olduğu belirtilmiştir (131). Gaziantep’te yapılan çalışmada elektrik çarpması olgularının %83.7’sinin solunum – dolaşım durması, %16.3’ünün genel beden travması nedeniyle öldüğü bildirilmiştir (130). Bizim çalışmamızda da literatür verileriyle uyumlu olarak, 87 (%79.9) olguyla ölüme en çok solunum ve dolaşım yetmezliğinin (aritmî, solunum kasları spazmı, akciğer ödemi vs.) sebep olduğu görülmüştür. 8 (%7.4) olguda ölümün, yüksekten düşmeye bağlı genel vücut travması ile solunum ve dolaşım yetmezliğinin müşterek etkisi neticesinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. 6 (%5.5) olguda ise santral sinir sistemi komplikasyonu (beyin ödemi, herniasyon vs.) ile solunum ve dolaşım yetmezliğinin müşterek etkisinin ölüm mekanizmasında rol oynadığı kayıtlı iken, 1 (%0.9) olguda santral sinir sistemi komplikasyonu tek başına ölüm sebebidir. 4 (%3.6) olguda yanık ölüme etkili iken bunların birinde böbrek yetmezliğinin, ikisinde solunum – dolaşım yetmezliğinin yanı sıra eşlik ettiği kayıtlıdır. 1 (%0.9) olguda yüksekten düşmeye bağlı genel beden travması tek başına ölüm sebebi olarak verilmiştir. 1 (%0.9) olguda myokart enfarktüsü ölüme etkili olurken, 1 (%0.9) olguda ise myokart enfarktüsüne santral sinir sistemi komplikasyonunun eşlik ettiği belirtilmiştir.

Elektrik hatlarında çalışırken çarpılan kişi yüksekten düşebilir, savrulabilir veya kırıklara ya da ciddi yaralanmalara yol açabilen kas spazmlarına uğrayabilir. Bu durum özellikle yüksek voltajlı elektrik yaralanmalarında düşük voltajlı elektrik yaralanmalarından daha fazla görülmektedir (11). Olgularımızın 20 (%18.3)’sinin elektrik akımına kapılarak yüksek bir yerden düştüğü tespit edilmiştir. Bunlardan 6’sının elektrik direğinden, 4’ünün merdivenden, 3’ünün serada kaynak işi yaparken demirlerin üzerinden, ağaç kesim işi yapan birinin ise elektrik akımına kapılarak ağaçtan düştüğü anlaşılmıştır. Oğuztürk ve ark. elektrik akımı ile yaralanan 38 hastayı inceledikleri çalışmada 4 vakada yüksekten düşme

nedeniyle ortopedik problem geliştiği, ikisinin ameliyat edildiği bildirilmiş, yüksekten düşen olguların elektrik direğinden düşme şeklinde olduğu saptanmıştır (34). Şanlıurfa'da elektrik çarpması nedeniyle acil servise başvuran 152 hastanın 48 (%31.5)'inin yüksekten düştüğü, bunlardan 8 (%5.2)'inin de yaşamını yitirdiği bildirilmiş olup yüksekten düşme ile mortalite arasında ilişki bulunmuştur (33). Bizim çalışmamızda da 9 (%8.2) olguda yüksekten düşmeye bağlı genel beden travması ölüme rol oynuyordu. Adana'da yapılan bir çalışmada olguların 8 (%21.6)'inde künt travma lezyonları mevcut olup, bunlardan birinde yüksekten düşme nedeniyle torakal vertebra kırığı ve subdural kanama geliştiği bildirilmiştir (137). Güney Afrika'da yapılan bir çalışmada yüksek voltajlı elektrik akımı ile yaralanan 35 olgunun 6 (%17.1)'sında uzun kemik kırığı, 5 (%14.2)'inde uzuv amputasyonu olduğu bildirilmiştir (141). Bizim çalışmamızda da 56 (%51.3) olguda elektrik akımı lezyonu dışında travmatik lezyon saptandığı, bunların 22 (%20.1)'sinin künt travmaya sekonder olduğu, 26 (%23.8)'sının tıbbi müdahaleye bağlı olduğu, 8 (%7.3)'inde ise hem künt travmaya hem de tıbbi müdahaleye bağlı travmatik lezyon bulunduğu tespit edilmiştir. Künt travmaların 20 (%18.3)'si yüksekten düşme sonucu oluşmuştur. 9 (%8.2) olguda travmaya sekonder iskelet sisteminde kırık veya çıkık, 12 (%11) olguda iç organlarda harabiyet, 5 (%4.5) olguda ise batın içinde kanama mevcuttur.

Elektrik akımlarına bağlı ölüm olgularında, otopside izlenen iç organ bulguları spesifik olmayıp; makroskopik incelemede şüpheli olarak tanımlanan deri lezyonlarından örnek alınması ve mikroskopik inceleme yapılması temel kuraldır (2, 45). Elektrik lezyonlarının histopatolojik incelemesinde ısı lezyonları ile uyumlu bulgular tespit edilmektedir (84). Mikroskopik incelemede; epidermiste koagülasyon nekrozu, epidermal hücre çekirdeklerinde uzama, piknoz, paralel demetler halinde dizilme, dermal homojenizasyon gibi morfolojik değişiklikler görülmektedir (1, 45). Çalışmamızdaki 109 olgunun 106'sında makroskopik olarak elektrik akımı lezyonu olabilecek alanlar tespit edilmiş ve bunların 103'ünden histopatolojik inceleme için örnek alınmıştır. 3 olguda lezyon olmasına rağmen örnek alınmamış olup 3 olguda ise makroskopik olarak herhangi bir lezyon saptanmamıştır. Olgularımızdan alınan örneklerin histopatolojik incelemesinde; intraepidermal veya dermoepidermal ayrışma, epidermal hücre

çekirdeklerinde uzama, hiperkromazi ve dermiste homojenizasyon gibi elektrik veya ısı etkisiyle oluşabilecek nitelikte morfolojik bulgular saptanmıştır.

Elektrik akımı lezyonlarının makroskopik ve mikroskopik bulgularının olmadığı olgularda, giriş lezyonu olabilecek bölgelerden karbon stub ile materyaller alınarak, elektrik akımının geçişi sırasında iletkenin cilt üzerinde bıraktığı partiküllerin taramalı elektron mikroskopisi (SEM-EDS) ile tespit edilebildiği bildirilmektedir (45). Çalışma merkezimizde böyle bir olanak bulunmadığından bu tür bir araştırma uygulanmamıştır.

Elektrik akımı etkisi ile ölüm olgularında mümkün olduğu kadar geniş toksikolojik inceleme yapılması gerekmektedir (2). Genellikle iş kazası niteliğinde olan elektrikle yaralanma ve ölüm olgularında ileride hukuki sorunlar olmaması açısından mutlaka kan alkol düzeyine bakılmalıdır (11). Alkolün etkisi ile bir kaza olup olmadığı sorusunun cevaplanması için bu inceleme şarttır (2). Bursa’da yapılan bir çalışmada olguların 7 (%11.1)’sinin kanında 70-216 mg/dl düzeylerinde alkol saptanmıştır. Yapılan toksikolojik analizde olgularda başka herhangi bir toksik maddeye rastlanmamıştır (11). Ankara’da yapılan bir çalışmada 26 (%66.7) olgunun kanında alkol bulunmadığı; 9 (%23.1) olgunun kanında 1-50 mg/dl, 4 (%10.3) olgunun kanında 51-100 mg/dl düzeylerinde etanol olduğu tespit edilmiş, kan, idrar ve iç organ parçalarında aranan diğer toksik maddelerin ise saptanmadığı belirtilmiştir (45). Bizim çalışmamızda ise 109 olgunun 107’sinden alkol, uyutucu ve uyuşturucu madde analizi için örnekler alınarak toksikolojik inceleme yapılmıştır. 102 (%93.7) olguda kanda etil alkol – metil alkol tespit edilmemiştir. 2 (%1.8) olguda 1-49 mg/dl değerleri arasında, 1 (%0.9) olguda 50-99 mg/dl değerleri arasında, 2 (%1.8) olguda ise 150-199 mg/dl değerleri arasında etil alkol tespit edilmiştir. Yapılan uyutucu – uyuşturucu madde analizinde 105 (%96.4) olguda herhangi bir uyutucu – uyuşturucu madde saptanmadığı, 2 (%1.8) olguda uyutucu – uyuşturucu maddeye rastlandığı, 2 (%1.8) olguda ise toksikolojik analiz için örnek alınmadığı yazılıdır. Uyutucu – uyuşturucu madde saptanan 2 olgudan birinin kanında 319 ng/ml morphine, 18.6 ng/ml codeine, 47 ng/ml benzoylecgonine, 12 ng/ml methylecgonine, idrarında opiat grubuna ait morphine ve codeine ile benzoylecgonine tespit edilmiştir. Diğer

olguda ise kanda uyutucu – uyuşturucu maddeye rastlanmamış olup, idrarda esrar etken maddesi tetrahydrocannabinol saptanmıştır.



6. SONUÇ

Elektrik çarpmasından şüphelenilen ölüm olgularında dikkatli ve ayrıntılı bir olay yeri incelemesi yapılmalıdır. Olay yerinde elektrik çarpmasına sebebiyet verebilecek tüm elektrikli aletler teknik bilirkişiler tarafından incelenmelidir. Aynı zamanda maktul üzerindeki giysiler, ayakkabılar ve eldiven gibi koruyucu malzemeler de incelenmeye alınmalıdır. Olay yerindeki bu incelemeler özellikle de vücutta elektrik akım izi bulunmayan elektrik çarpması olgularında tanının konulması ve aynı elektrikli alet veya koruyucu malzemeleri kullanan başka kişilerin de elektrik akımına maruz kalmalarını önlemek açısından önem arz etmektedir. Çalışmamızdaki olguların 37 (%33.9)'sinde olay yerinde teknik bilirkişi görüşü alınmış olup rapor düzenlenmesi talep edilmiştir. Bunlardan 23 (%21.1)'ünde teknik bilirkişi raporu tarafımıza iletilmiş olup, olguların 12'sinde elektrik kaçağı bulunduğu, bunların elektrikli alet ve makinelerde kaçak, elektrik kablolarında izolasyon eksikliği, kırık fiş ve prizlerden kaynaklandığı, 11 olguda ise elektrik çarpmasının; dikkatsizlik, ihmalkarlık ve tedbirsizlik gibi kişisel faktörlerden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Kalan 72 (%66.1) olguda ise teknik bilirkişi raporunun ya düzenlenmediği ya da talep edildiyse bile ölü muayene tutanaklarında bundan bahsedilmediği anlaşılmıştır. Çalışmamızda elektrik çarpmalarında olay yerleri ve elektrikli düzenekler açısından teknik bilirkişi görüşünün bazı olgularda alınmadığı ya da görüş alındıysa bile elde edilen verilerin otopsi ekibiyle zamanında paylaşılmadığı ortaya çıkmaktadır. Ölenin bulunuş şekli, olay yeri bilgileri ve görüntülerini içeren belgelerle birlikte, teknik bilirkişi görüşlerinin otopsi öncesinde otopsi ekibine ulaştırılması tanı açısından son derece önemlidir.

Dikkatli bir ölü muayenesi yapılarak elektrik akımı giriş ve çıkış lezyonları aranmalı, bulguların gözden kaçabileceği bölgeler olan eller ve ayakların parmak araları, ağız içi, kulak kepçelerinin arkaları, genital bölge de kontrol edilerek kayıtlar ayrıntılı tutulmalı ve tüm bu bölgeler de fotoğraflanmalıdır. Vücutta tespit edilen lezyonların elektrik akımına bağlı olup olmadığının saptanması amacıyla

gerekli histopatolojik incelemelerin yapılabilmesi ve ölüme neden olabilecek başka faktörlerin araştırılması açısından mutlaka otopsi kararı alınmalıdır. Otopsiyi yapan hekim elektrik akımı ile oluşabilecek nitelikteki tüm şüpheli lezyonların fotoğraflarının çekilmesini sağlamalı ve mutlaka gerçek tanının konulabilmesi adına histopatolojik inceleme için bu alanlardan örnek almalıdır. Her elektrik lezyonu görülen kişinin mutlak suretle elektrik akımına maruz kalarak öldüğü şeklindeki ön yargıdan arınılmalı ve ölüme sebep olabilecek başka nedenler olup olmadığı da araştırılmalıdır. Elektrik çarpmalarının çoğunun iş kazası niteliğinde olduğu göz önüne alındığında, ileride hukuki sorunlar olmaması adına, elektrik çarpmasının alkol veya uyutucu – uyuşturucu madde etkisi altındayken gerçekleşip gerçekleşmediğinin tespiti için mutlaka toksikolojik analiz yapılmalıdır.

Çalışmamızda elektrik çarpması sonucu meydana gelen 109 ölüm olgusunun 6 (%5.5)'sında orjin belirlenememiş olup, kalan 103 (%94.5) olgunun tamamında elektrik çarpması orjininin önlenabilir nitelikte kaza olması dikkat çekicidir. Ayrıca literatür verileriyle uyumlu olarak olgularımızın çoğunu genç erkeklerin oluşturduğu tespit edilmiştir. Mevcut kazaları en aza indirebilmek için devlet ve sivil toplum kuruluşlarının iş birliğiyle, risk grupları başta olmak üzere toplumun elektrik çarpmalarına karşı bilinçlendirilmesi, alt yapı sorunlarının çözümlenmesi, elektrik dağıtım hatlarının yere ve yakınlardaki binalara mesafelerinin standartlara uygun olmasının sağlanması, özellikle işçilerin çalışma ortamlarının daha sıkı denetlenmesi ve iş kazalarına karşı daha etkin güvenlik önlemlerinin alınması gerekmektedir.

7. ÖZET

ANTALYA'DA 2006-2015 YILLARI ARASINDA ELEKTRİK ÇARPMASI SONRASI MEYDANA GELEN ÖLÜMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Elektrik enerjisi geçen yüzyılın ortalarından itibaren hızla artan oranda kullanılmakta olup buna bağlı olarak elektrik çarpması sonucu yaralanma ve ölümler de görülmeye başlamıştır. Elektrik çarpması; uzun dönemde sosyoekonomik etkileri, gelişen komplikasyonlar, yüksek mortalite ve morbidite oranlarıyla özellikle de gerekli güvenlik önlemlerinin alınmadığı gelişmekte olan ülkelerde önemli bir sorundur.

Bu çalışmada elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölümlerle ilgili veri elde etmek, daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırmak, adli tıp uzmanları açısından üzerinde durulması gereken noktalara ve elektrik çarpmalarından korunma yollarına dikkat çekmek amaçlanmıştır.

Çalışmamızda Adli Tıp Kurumu Antalya Grup Başkanlığı Morg İhtisas Dairesi'nde 01.01.2006 - 31.12.2015 tarihleri arasındaki 10 yıllık sürede yapılan 6212 otopsi incelenmiş ve elektrik çarpması sonucu öldüğü tespit edilen 109 olgu; yaş, cinsiyet, meslek, uyruk, ölümün meydana geldiği yıl, mevsim ve ay, ölümün orijini, ölüm nedeni, olay yeri, vücuttaki elektrik lezyonlarının yeri ve özellikleri, otopsi bulguları, toksikolojik analiz sonuçları, yüksekten düşme veya başka travmatik bulgu varlığı, hastane yatışı olup olmadığı, maruz kalınan akımın türü ve voltajı yönlerinden değerlendirilmiştir.

Elektrik çarpması sonucu ölen 109 olgunun 103 (%94.5)'ü erkek, 6 (%5.5)'sı kadındı. En küçük olgu 2 yaşında, en büyüğü ise 69 yaşında olup, ortalama yaş 29.7 olarak bulundu. 0-18 yaş arası 14 (%12.8) olgu saptandı. Olgular; 46 (%42.2) olgu ile en çok 20-29 yaş aralığında yer alıyordu. Çalışmamızda, elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölümlerin en sık Temmuz (n=24, %22) ayında olduğu, bunu sırasıyla Eylül (n=20, %18.3) ve Ağustos (n=19, %17.4) aylarının takip ettiği görüldü. Olguların 103 (%94.5)'ünde elektrik

çarpmasının orjini kazaydı. 6 (%5.5) olguda orjin belirlenemedi. Olgularımız arasında cinayet veya intihara rastlanmadı. Elektrik çarpması sonucu meydana gelen ölümlerin 76 (%69.7)'sında elektrik çarpmasının orjini iş kazasıdır. Kadınların 4 (%66.6)'ünde ise orjin ev kazası olup, hiç iş kazası tespit edilmemiştir. Olguların 24 (%22)'ünün elektrik işçisi, 43 (%39.4)'ünün elektrik dışı iş kollarında işçi olduğu saptanmıştır. Elektrik çarpması sonucu ölen olguların 81 (%74.4)'i düşük voltaja, 14 (%12.8)'ü yüksek voltaja maruz kalmıştı, 14 (%12.8)'ünün ise adli tahkikatında voltaj hakkında herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Çalışmamızdaki elektrik çarpması olgularının 106 (%97.2)'sında elektrik akımı ile oluşabilecek nitelikte cilt lezyonu saptanmıştır. 3 (%2.8)'ünde ise deride herhangi bir lezyon bulunamamıştı. Olguların 51 (%46.8)'inde ciltte 5 veya daha fazla sayıda elektrik akımı lezyonu mevcuttur. Elektrik akımı lezyonları 91 (%83.5) olguyla en sık üst ekstremitelerde yer almaktadır. Ölüm mekanizmaları incelendiğinde; 87 (%79.9) olguyla ölüme en çok solunum ve dolaşım yetmezliği (aritmi, solunum kasları spazmı, akciğer ödemi vs.) sebep olmuştur. Olguların 102 (%93.7)'sinde kanda etil alkol saptanmadığı, 5 (%4.5) olguda kan etil alkol düzeyinin pozitif olduğu, bunlardan 2'sinde kan etil alkol düzeyinin 150-199 mg/dl arasında bulunduğu görülmüştür. Olgularımızın 107 (%98.1)'sinde uyutucu – uyuşturucu madde analizi yapılmış olup sadece 2 (%1.8)'sinde uyutucu – uyuşturucu madde tespit edilmiştir. Olguların 37 (%33.9)'sinde olay yerinde teknik bilirkişi görüşü alınmış ve rapor düzenlenmesi talep edilmiş olup, bunlardan 23 (%21.1)'ünde teknik bilirkişi raporu tarafımıza iletilmiştir. Tarafımıza iletilen 23 teknik bilirkişi raporu incelendiğinde; olguların 12 (%52)'sinde elektrik kaçağı bulunmuş, bunların elektrikli alet ve makinelerde kaçak, elektrik kablolarında izolasyon eksikliği, kırık fiş ve prizlerden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Kalan 11 (%48) olguda ise elektrik çarpması; dikkatsizlik, ihmalkarlık ve tedbirsizlik gibi kişisel faktörlere bağlanmıştır.

Elektrik çarpmasından şüphelenilen ölüm olgularında dikkatli ve ayrıntılı bir olay yeri incelemesi yapılmalı ve teknik bilirkişi görüşü istenmelidir. Dikkatli bir ölü muayenesi yapılarak elektrik akımı giriş ve çıkış lezyonları aranmalıdır. Tüm ölüm olguları otopsiye sevk edilmeli ve şüpheli bulunan tüm lezyonlar

histopatolojik inceleme için alınmalıdır. Elektrik çarpmalarının büyük çoğunluğunu önlenebilir nitelikte kazalar oluşturmaktadır. Bu nedenle risk grupları başta olmak üzere toplum elektrik çarpmaları konusunda bilinçlendirilmeli, elektrik enerjisinin dağıtımı, kullanımı ve iş güvenliği konularında modern standartların yakalanması adına gerekli denetimler yapılmalıdır.

Anahtar Sözcükler: Elektrik çarpması, otopsi, adli tıp.



8. ABSTRACT

EVALUATION OF DEATHS THAT OCCUR AFTER ELECTROCUTION BETWEEN 2006-2015 YEARS IN ANTALYA

The electric energy is used in a rapidly increasing proportion from the middle of last century. As a result, injuries and deaths due to electrocution are also observed. Especially in developing countries where necessary safety precautions are not taken, electrocution is a significant problem because of socioeconomic impacts, developing complications, high mortality and morbidity rates.

In this study, it is aimed to obtain data about the deaths from the electrocution, to compare with previous studies, to draw the attention to important issues in the forensic medical aspects and methods of protection from electrocution.

In our study, consecutive 6212 cases which were autopsied in the Mortuary Department of Antalya Branch of the Forensic Medicine Council between January 1, 2006 and December 31, 2015 were examined. We detected 109 cases who died after an electrocution. Demographic features were analyzed such as age, sex, job, nationality and also year, season, month, manner and mechanism of death, crime scene, location and properties of electrical lesions on the body, autopsy findings, toxicological analysis results, presence of falling from high or other traumatic symptoms, whether hospitalized or not, type and voltage of the exposed current were analyzed.

There were 109 cases; 103 (94.5%) of the cases were male while 6 (5.5%) were female. The youngest of the cases was 2 years old and the eldest was 69 and the mean age was 29.7. Fourteen (12.8%) cases were in the age range of 0-18 years. The cases (n=46, 42.2%) were mostly in the age range of 20-29 years. In our study the deaths due to electrocution were observed mostly in July (n=24, %22), followed by September (n=20, %18.3) and August (n=19, %17.4) respectively. The manner of death was accident in 103 (%94.5) of the cases. In 6

(%5.5) cases the manner of death could not be determined. There were no murders or suicides in our cases. In 76 (69.7%) of our cases, the manner of the electrocution was the work accident. In 4 (66.6%) of the female cases, it was found that the manner of death was home accident. There was no work accident in female cases. It was determined that 24 (22%) of the cases were electrical workers and 43 (39.4%) were workers in non-electrical business lines. Eighty-one (74.4%) of our cases were exposed to low voltage electrical current while 14 (12.8%) were exposed to high voltage. In 14 (12.8%) of our cases, there was no information about the voltage in the judicial investigation. In our study, 106 (97.2%) of the electrocution cases had a skin lesion that could be formed by electric current. Three (2.8%) of our cases didn't have any lesions on the skin. In 51 (46.8%) of the cases, there were 5 or more lesions of electric current on the skin. Electrical current lesions were mostly common on the upper extremities in 91 (83.5%) cases. When the mechanisms of death are examined; 87 (79.9%) deaths were most likely caused by respiratory and circulatory failure (arrhythmia, respiratory muscle spasms, pulmonary edema etc.) Ethanol was not detected in the blood of 102 (93.7%) cases. In 5 (%4.5) cases, blood ethyl alcohol test was positive, in 2 of these cases, blood ethyl alcohol level was found between 150-199 mg/dl. In 107 (%98.1) of our cases, hypnotic – sedative drug analysis was performed. Hypnotic – sedative drugs were detected in only 2 (%1.8) of them. For 37 (33.9%) of the cases technical expert opinion about the scene were received and a report was requested by public attorney. Only 23 (21.1%) of the technical expert reports have been sent to the autopsy team. According to these 23 technical expert reports; in 12 (52%) of the cases, electrocution results from electrical leakage. It has been determined that these caused by leak electrical appliances and machines, lack of insulation in electrical cables, broken plugs and sockets. In the remaining 11 (48%) cases, electrocution was related with personal factors such as carelessness, negligence and imprudence.

A careful and detailed investigation of the incident should be carried out in all cases of death in suspected electrocution. Technical expert opinion should be requested. Attention should be paid to the lesions of the electric current entry and exit marks by performing a detailed postmortem examination. All of electrocution

deaths should be autopsied. All suspicious lesions should be taken for histopathologic examination. The majority of electrocution cases are preventable events. For this reason, it is necessary to raise the awareness of the community especially the risk groups about dangers of electricity and official inspections should be made in order to meet modern standards on the distribution and use of electric energy and occupational safety.

Key Words: Electrocution, autopsy, forensic medicine.



9. KAYNAKLAR

1. Akyıldız EÜ. Elektrik akımı lezyonlarında histopatolojik bulgular. Türkiye Klinikleri J Foren Med 2007; 4:68-73.
2. Aksoy ME. Elektrik akımlarının neden olduğu yaralanmalar. Adli Tıp Bülteni 1997; 2(1): 25-34.
3. Aşırdizer M, Yavuz MS, Zeyfeoğlu Y. Celal Bayar Üniversitesi Adli Tıp Stajı Ders Notları. Manisa: Celal Bayar Üniversitesi Yayınları; 2005.s.190-191.
4. Kahraman İY, Aşırdizer M, Uluçay T, Zeyfeoğlu Y, Dalgıç M, Köker M et al. The comparative and comprehensive analysis of Electrocution-Related Deaths in İzmir (2010-2012). Türkiye Klinikleri J Foren Med 2014; 11(1):7-17.
5. Fish RM. Electrical Injuries. Tintinalli JE, Kelen GD, Stapczynski JS; eds. Emergency Medicine: A Comprehensive Study Guide. 6th ed. 2004; 1231-5.
6. Uzkeser M, Aksakal E, Aköz A, Aslan Ş, Emet M, Çakır Z. Elektrik çarpmasına bağlı atriyal fibrilasyon. JAEM 2009; 8(2):38-40.
7. Bailey B, Forget S, Gaudreault P. Prevalence of potential risk factors in victims of electrocution. Forensic Sci Int 2001; 123(1):58-62.
8. Laupland KB, Kortbeek JB, Findlay C, Kirkpatrick AW, Hameed SM. Population-based study of severe trauma due to electrocution in the Calgary Health Region, 1996-2002. Can J Surg 2005; 48(4):289-92.
9. Mashreky SR, Rahman A, Khan TF, Svanström L, Rahman F. Epidemiology of childhood electrocution in Bangladesh: findings of national injury survey. Burns 2010; 36(7):1092-5.

10. Karapirli M, Keten A, Akçan R, Alkurt Alkan H, Türkkan D. Elektrik çarpmasına ikincil miyokard infarktüsü: bir çocuk olgu sunumu. Gaziantep Med J 2012; 18(2):127-130.
11. Türkmen N, Eren B, Fedakar R, Durak D. Bursa ilinde elektrik akımı ile yaralanma sonucu ölümler. Ulus Travma Acil Cerrahi Derg 2008; 14(1):65-69.
12. Toprak AH. Modern Avrupa fiziğinin Osmanlı Devleti'ne geçişi: Başhoca İshak Efendi'nin Mecmua-i Ulum-i Riyaziye'sinde ısı ve elektrik bahisleri. Yüksek Lisans Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Medeniyet Araştırmaları ABD, İstanbul, 2014.
13. Esenduran M. İstanbul'da elektrik üretiminin başlangıcı ve tarihi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı İktisat Tarihi Bilim Dalı, İstanbul, 2010.
14. Mason FS. Bilimler Tarihi. Ankara: Başbakanlık Basımevi; 2001.s.419-20, 436-46.
15. Kurtuluş A. Sıçanlarda elektrik akımına bağlı hipokampal hasarın stereolojik yöntemlerle değerlendirilmesi. Uzmanlık Tezi, Pamukkale Üniversitesi Tıp Fakültesi, Adli Tıp Anabilim Dalı, Denizli, 2005.
16. Hughes TP. Networks of Power: Electrification in Western Society (1880-1930), 1nd ed. London: The Johns Hopkins University Press; 1983, s.456.
17. Özülkü H. Türkiye'de elektriğin tarihsel gelişimine özet bakış. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi 10. Enerji Kongresi, Kasım 2006, İstanbul, s.1.
18. Mileaf H. Electricity One-Seven. Revised 2nd ed. New Jersey: Hayden Book Company; 1976.
19. Asil H. Vücuttan elektrik akımı geçirilen ratlarda serum kalp tipi yağ asidi bağlayıcı protein ve troponin I düzeyleri ile kalp histopatolojisinin tanısı

değerinin araştırılması. Uzmanlık Tezi, Erciyes Üniversitesi, Adli Tıp Anabilim Dalı, Kayseri, 2011.

20. Knight B. Forensic Pathology. 2nd ed. London: Arnold; 1996. p.318-31.
21. Nabours RE. An Introduction to Basic Electrical Systems. In: Nabours RE, Fish RM, Hill PF, editors. Electrical Injuries: Engineering, Medical and Legal Aspects. 2nd ed. Tucson: Lawyers & Judges Publishing Company; 2004.
22. Koumbourlis CA. Electrical injuries. Crit Care Med 2002 Nov; 30(11):p.424-30.
23. Bishop O. Electronics: A First Course. 2nd ed. Oxford: Elsevier Science & Technology; 2006.
24. Soysal Z, Çakalır C. Adli Tıp. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Basımevi; 1999. s.607-767.
25. Knight B, Saukko PJ. Knight's forensic pathology. 3rd ed. London: Arnold; 2004.
26. Casini V: Overview of electrical hazards. In: Worker Deaths by Electrocution: A Summary of NIOSH Surveillance and Investigative Findings. Washington, DC, Department of Health and Human Services (NIOSH), May1998, pp 5–8. Publication No. 98-131.
27. Gök Ş, Soysal Z. Elektrik akımlarının canlı organizmada meydana getirdiği lezyonlar ve bu lezyonların adli tıp açısından değerlendirilmesi. İstanbul: İ.Ü.Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Yayınları; 1983. s. 6-28.
28. Gümüş A. Elektrik çarpması vakalarının demografik verileri ve yoğun bakım bulgularının incelenmesi. Uzmanlık Tezi, Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi, Anestezi ve Reanimasyon Anabilim Dalı, Diyarbakır, 2014.

29. Nursal TZ, Yıldırım S, Tarım A, Çalışkan K, Ezer A, Noyan T. Burns in southern Turkey: electrical burns remain a major problem. *J Burn Care Rehabil* 2003;24:309-14.
30. Yaşar MA, Yaşar D, Ödeş R, Bolat E, Göksu H. Yüksek voltaj elektrik çarpmasına bağlı akciğer ve karaciğer parankim yanığı. *Fırat Tıp Dergisi* 2006; 11(2):142-43.
31. Rutan RL. Physiologic response to cutaneous burn injury. In: Carrougner GJ, editor. *Burn care and therapy*. St Louis: Mosby; 1998.p.1-33.
32. Kumar S, Verma AK, Singh US. Electrocution-related mortality in northern India – A 5-year retrospective study. *Egyptian Journal of Forensic Sciences* 2014; 4:1–6.
33. Kaya H, Gökdemir MT, Söğüt Ö, Sayhan MB. Erişkinlerde yüksek gerilime bağlı elektrik yaralanmalarında mortaliteye etki eden faktörler. *Düzce Tıp Dergisi* 2013; 15(1):22-26.
34. Oğuztürk H, Turtay MG, Ertan C, Akgün FS, Tekin YK. Elektrik yaralanmaları: Demografik ve klinik özellikler. *Haseki Tıp Bülteni* 2010; 48:139-41.
35. Açikel C, Eren F, Kale B, Çeliköz B. Yüksek voltajlı elektrik yaralanmalarında hasta profili ve primer tedavi. *Cerrahpaşa J Med* 2002; 33(2):104-9.
36. Smith MA, Muehlberger T, Dellon AL. Peripheral nerve compression associated with low-voltage electrical injury without associated significant cutaneous burn. *Plast Reconstr Surg* 2002; 109:137-44.
37. Knight B. *The Coroner's Autopsy. A Guide to Non-criminal Autopsies for the General Pathologist*. 1st ed. New York: Churchill Livingstone; 1983.p.269-278.
38. Korkmaz M. Diyarbakır'da 2007-2014 yılları arasında otopsi yapılmış elektrik akımına bağlı ölüm olgularının değerlendirilmesi. *Uzmanlık Tezi*,

Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi, Adli Tıp Anabilim Dalı, Diyarbakır, 2015.

39. Shkrum MJ, Ramsay DA. Forensic pathology of trauma: common problems for the pathologist. Totowa New Jersey: Humana Press; 2007.
40. Türedi S, Gündüz A, Tatlı Ö, Daşdibi B, Kalkan A, Hoş G. KTÜ Farabi Hastanesi Acil Servisine elektrik yaralanmaları ile başvuran hastaların değerlendirilmesi. Akademik Acil Tıp Dergisi 2007; 6:25-9.
41. Wright RK, Ganther GE. Electrical injuries and lightning. In: Froede R, editor. Handbook of forensic pathology. College of American Pathologist U.S.A.; 1990.p.150-7.
42. Polson JP, Gee DJ. The essentials of forensic medicine. Third ed. New York: Pergamon Press; 1973.p.284-330.
43. Peng Z., Shikui C. Study on electrocution death by low-voltage. For Sci Int 1995; 76:115-9.
44. Eraslan N. Teknik elektrik. 2.Basım. İstanbul: Birsen Kitabevi Yayınları; 1984.s.1-30.
45. Cantürk N, Alkurt Alkan H, Cantürk G. Ankara'da 2002-2006 yılları arasında otopsi yapılmış elektrik akımına bağlı ölüm olgularının değerlendirilmesi. Adli Tıp Dergisi 2008; 22(2):1-7.
46. Price TG, Cooper MA. Electrical and lightning injuries. In: Marx JA, Hockberger RS, Walls RM, et al (eds). Rosen's emergency medicine: Concepts and clinical practice. 7th ed. China: Mosby; 2010.p.1893-1902.
47. Akyıldız EÜ. Elektrik akım lezyonu, alev yanığı ve künt travmalara bağlı deri lezyonlarının histolojik ayırımında bilgisayarlı görüntü analizi tekniği. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Adli Tıp Anabilim Dalı, İstanbul, 2007.

48. Marc B. Electric shocks and electrocution, clinical effects and pathology. Encyclopedia of Forensic and Legal Medicine. Boston: Elsevier Academic Press; 2005.p.259-63.
49. Duff K, McCaffrey RJ. Electrical injury and lightning injury: a review of their mechanisms and neuropsychological, psychiatric and neurological sequelae. Neuropsychology review. 2001; 11:101-16.
50. Christensen JA, Sherman RT, Balis GA, Wuamett JD. Delayed neurologic injury secondary to high-voltage current, with recovery. J Trauma 1980; 20:166-8.
51. Hunt JL, Mason AD Jr, Masterson TS, Pruitt BA Jr. The pathophysiology of acute electric injuries. J Trauma 1976; 16:335–340.
52. Fish R. Electric shock, Part 1: Physics and pathophysiology. J Emerg Med 1993; 11:309-12.
53. Dega S, Gnaneswar SG, Rao PR, Ramani P, Krishna DM. Electrical burn injuries. Some unusual clinic and management. Burns 2007; 33(5):653-65.
54. Dzhokic G, Jovchevska J, Dika A. Electrical Injuries: Etiology, pathophysiology and mechanism of injury. Maced J Med Sci 2008; 1(2):54-8.
55. Dawson TW, Caputa K, Stuchly MA, Kavet R. Electric fields in the human body resulting from 60-Hz contact currents. IEEE Trans Biomed Eng 2001; 48(9):1020-6.
56. Tarao H, Hayashi N, Isaka K. Heart current in an anatomically realistic human model due to contact with a low-frequency energized source. IEEE Trans 2009; 4:306-8.
57. Wick R, Byard RW. Electrocution and the autopsy. In: Tsokos M. editor. Forensic pathology reviews. USA: Humana Press; 2008; 5:p.53-66.
58. Janssen W. Forensic Histopathology. Berlin: Springer Verlag; 1984.

59. Ikeda N, Harada A, Suzuki T. Homocidal manuel strangulation and multiple stud-gun injuries. *Am J Forensic Med Pathol* 1992; 13(4):320-3.
60. Oehmichen M, Auer RN, König HG. Forensic neuropathology and neurology. Berlin Heidelberg: Springer Verlag; 2006.
61. Tunalı İ. Adli Tıp Ders Kitabı. Yarı-Açık Cezaevi Matbaası Ankara, 1988:113.
62. Soysal Z, Eke SM, Çağdır AS. Adli Otopsi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Yayınları; 1999.p.823-6.
63. Moar JJ, Hunt JB. Death from electrical flash burns. *SAMJ* 1987; 71(7): 181-182.
64. Lifschultz BD, Donoghue ER. Deaths caused by lightning. *J Forensic Sci* 1993; 38(2):353-358.
65. DiMaio VJ, DiMaio D. Forensic pathology. 2nd ed. New York: CRC Press; 2001.
66. Al-Alousi LM. Homicide by electrocution. *Med Sci Law* 1990; 30(3):239-246.
67. Lee RC, Astumian RD. The physicochemical basis for thermal and non-thermal 'burn' injuries. *Burns* 1996; 22:509-19.
68. Lee RC. Cell injury by electric forces. *Ann NY Acad Sci* 2005; 1066: 85-91.
69. Bhatt DL, Gaylor DC, Lee RC. Rhabdomyolysis due to pulsed electric fields. *Plast Reconstr Surg* 1990; 86:1-11.
70. Kalkan T, Demir M, Ahmed AS, Yazar S, Dervişoğlu S, Uner HB ve ark. A dynamic study of the thermal components in electrical injury mechanism for better understanding and management of electric trauma: an animal model. *Burns* 2004; 30:334-340.

71. Zelt RG, Daniel K, Ballard PA, Brissette Y, Heroux P. High-voltage electrical injury: Chronic wound evolution. *Plast Reconstr Surg* 1988; 83:1027-1039.
72. Robson MC, Murphy RC, Heggers JP. A new explanation for the progressive tissue loss in electrical injuries. *Plast Reconstr Surg* 1984; 73:431-437.
73. Lee RC, Kolodney MS. Electrical injury mechanisms: dynamics of the thermal response. *Plast Reconstr Surg* 1987; 80:663-671.
74. Heggers JP, Robson MC. Prostaglandins and thromboxanes. In: Ninneman editor. *Traumatic injury-infection and other immunologic sequelae*. Baltimore: University Park Press; 1983.p.79-102.
75. Elliot JA. Electrosurgery. *Arch Dermatol* 1966; 94:340-450.
76. Blankenship ML. Physical modalities. Electrosurgery, electrocautery and electrolysis. *Int J Dermatol* 1979; 8:443-452.
77. Lever WF, Lever GS. *Histopathology of the Skin*. 7th ed. Philadelphia: JB Lippincott Company; 1990.p.245.
78. Takamiya M, Saigusa K, Nakayashiki N, Aoki Y. A histological study on the mechanism of epidermal nuclear elongation in electrical and burn injuries. *Int J Legal Med* 2001; 115:152-7.
79. Xu X, Xu H, Zhu J, Deng P. A preliminary study of skin electrical injury with computerized image analysis. *Forensic Sci Int* 1995; 73:197-202.
80. Werner J. *Forensic Histopathology*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag; 1984.p.261-274.
81. Aksoy ME: Termal ve Elektrik Akımlarının Meydana Getirdiği Lezyonlarının Ayırıcı Tanısı. Uzmanlık tezi. İstanbul 1996: 57-63.

82. Üzün İ, Akyıldız B, İnancı MA. Histopathological differentiation of skin lesions caused by electrocution, flame burns and abrasion. *Forensic Sci Int* 2008; 178:157-61.
83. Chandrasiri N. Electrocution by Dielectric Breakdown (Arching) From Overhead High Tension Cables. *Med Sci Law* 1988; 28(3):327-340.
84. Özaslan A, Çakır İ, Şen H, Cengiz S, Koç S. Yüksek gerilime bağlı bir ölüm olgusunda metallerin tespiti. *Yıllık Adli Tıp Toplantıları*, 2002, Antalya, s.370-374.
85. Thomsen HK, Danielsen L, Nielsen O, Aalund O, Nielsen KG, Karlsmark T et al. Early epidermal changes in heat and electrically injured pig skin. II. An electron microscopic study. *Forensic Sci Int* 1981; 17:145-152.
86. Nagao S, Stroud JD, Hamada T, Pinkus H, Birmingham DJ. The effect of sodium hydroxide and hydrochloric acid on human epidermis. An electronmicroscopic study. *Acta Derm Venereol* 1972; 52:11-23.
87. Torre C, Varetto L. Dermal surface in electric and thermal injuries. Observations by scanning electron microscopy. *Am J Forensic Med Pathol* 1986; 77:151-158.
88. Koop J, Loos B, Spilker G, Horch RE. Corelation between serum creatinine kinase levels and extent of muscle damage in electrical burns. *Burns* 2004 Nov; 30(7):680-3.
89. Ahrenholz DH, Schubert W, Solem LD. Creatine kinase as a prognostic indicator in electrical injury. *Surgery* 1988; 104:741-74.
90. Cander B, Dur A, Koyuncu F, Gül M, Girişgin AS. Elektrik yaralanmalarının demografik özellikleri ve yatış süresi üzerine etkili faktörler. *Akademik Acil Tıp Dergisi* 2010; 93:1165-68.
91. Jain S, Bandi V. Electrical and lightning injuries. *Crit Care Clin* 1999; 15:319-31.

92. Hussman J, Zamboni WA, Russell RC, Roth AC, Kucan JO, Suchy H et al. A model for recording the microcirculatory changes associated with standardized electrical injury of skeletal muscle. *J Surg Res* 1995 Dec; 59(6):725-32.
93. Bailey B, Gaudreault P, Thivierge RL. Cardiac monitoring of high - risk patients after an electrical injury: a prospective multi centre study. *Emerg Med J* 2007; 24(5):348-52.
94. Spies C, Trohman RG. Narrative review: Electrocution and life-threatening electrical injuries. *Ann Intern Med* 2006; 145:531-7.
95. Ku CS, Lin SL, Hsu TL, Wang SP, Chang MS. Myocardial damage associated with electrical injury. *Am Heart J* 1989; 118:621-4.
96. Housinger TA, Green L, Shahangian S, Saffle JR, Warden GD. A prospective study of myocardial damage in electrical injuries. *J Trauma* 1985; 25(2):122-4.
97. Honda T, Yamamoto Y, Mizuno M, et al. Successful treatment of a case of electrical burn with visceral injury and full-thickness loss of the abdominal wall. *Burns* 2000; 26:587-592.
98. Newsome TW, Curreri PW, Eurenus K. Visceral injuries: An unusual complication of an electrical burn. *Arch Surg* 1972; 105:494-7.
99. Bozdemir MN. Elektrik ve yıldırım çarpmaları. *Türkiye Klinikleri J Cardiol - Special Topics* 2012; 5(1):110-3.
100. Miller BK, Goldstein MH, Monshizadeh R, Tabandeh H, Bhatti MT. Ocular manifestations of electrical injury: a case report and review of the literature. *CLAO J* 2002 Oct; 28(4):224-7.
101. Chaudhuri Z, Pandey PK, Bhatia A. Electrical cataract: a case study. *Ophthalmic Surg Lasers* 2002; 33(2):166-8.

102. Başar E, Çetin S, Apak AS, Köker AH. Elektrik çarpmasına bağlı akut miyokard infarktüsü. Turk J Cardiol 1992; 5:291-2.
103. Aksoy E, Polat O, İnancı MA, Çolak B. Evaluation of childhood autopsies in Istanbul, Turkey. American Academy of Forensic Sciences, 48th. Annual Meeting, 13-15 Feb. 1995, Seattle USA.
104. Klintschar M, Grabuschnigg P, Beham A. Death from electrocution during autoerotic practice: case report and review of the literature. Am J Forensic Med Pathol 1998; 19(2):190-3.
105. Özdemir Ç, Demirel B, Akar T, Balseven Odabaşı A, Dinç AH. Elektrik akımı ile intihar: olgu sunumu. Gazi Tıp Dergisi 2007; 18(2):89-91.
106. Risse M, Weiler G, Kaiser H. Rare suicidal death by electrocution using a timer and vital reaction. Arch Kriminol 1996; 197(5-6):149-54.
107. Marc B, Baudry F, Douceron H, Ghaith A, Wepierre JL, Garnier M. Suicide by electrocution with low-voltage current. J Forensic Sci 2000; 45:216-22.
108. Lawrence RD, Spitz WU, Taff ML. Suicidal electrocution in a bathtub. Am J Forensic Med Pathol 1985; 6(3):276-8.
109. Cameron JM. Heat, cold and electricity. In: Camps FE, editor. Gradwohl's Legal Medicine. Third ed. Bristol: John Wright and Sons Ltd; 1976:p.361-6.
110. Flisak ME, Berman S. Electrical injury in the esophagus. AJR 1988; 150:103-4.
111. International Electrotechnical Commission: Specification for Gloves and Mitts of Insulating Material for Live Working. First Ed. Geneve: 1988.
112. Goodson ME. Electrically induced deaths involving water immersion. Am J Forensic Med Pathol 1993; 14(4):330-33.

113. Krompecher T, Bergerioux C. Experimental evaluation of rigor mortis. VII. effect of ante and post mortem electrocution on the evolution of rigor mortis. *For Sci Int* 1988; 38:27-35.
114. Bütün C, Beyaztaş FC, Yılmaz R. Yıldırım çarpmasına bağlı ölüm. *Türk Ped Arş* 2012; 47:60-3.
115. Doğan KH, Demirci Ş, Günaydın G. Yıldırım çarpmasına bağlı ölümler: Üç olgu sunumu. *Genel Tıp Derg* 2007; 17(4):217-222.
116. Yılmaz R, Bulut E, Özer E, Balkay M, Özdemir N, Gürpınar S. Yıldırım çarpmasına bağlı ölümlerin değerlendirilmesi. *Adli Tıp Bülteni* 2007; 12(3):112-7.
117. Özsoy S, Tuğcu H, Toygar M, Safalı M. Yıldırım çarpmasına bağlı kafatası kırığı; bir ölüm olgusu. *Adli Tıp Dergisi* 2011; 25(3):216-222.
118. Amber ER, Melinda JM, John GMM, David JB, Leopoldo CC. Lightning injury: A review; *Burns* 2008; 34:585–594.
119. Wetli CV. Keraunopathology. An analysis of 45 fatalities. *Am J Forensic Med Pathol* 1996; 17(2):89–98.
120. Blumenthal R. Lightning fatalities on the South African Highveld. A retrospective descriptive study for the period 1997 to 2000. *Am J Forensic Med Pathol* 2005; 26:66–69.
121. Tıraşçı Y, Gören S. Diyarbakır’da 1996-98 yılları arasında saptanan medikolegal ölümlerin tanımlanması. *Dicle Tıp Derg* 2005; 32:1-5.
122. Blanco-Pampin JM, Penaranda JM, Boquete RR, Carro LC. An unusual case of death by lightning. *Forensic Sci* 1997; 42:942-4.
123. Atılgan M, Karagöz YM, Sarıkçıoğlu SM, Demirçin S. Yıldırım çarpmasına bağlı bir ölüm olgusunda Lichtenberg Figürleri. 13. Ulusal Adli Tıp Günleri, Antalya, 8-12 Kasım 2006.

124. Ragui S, Meera T, Singh KP, Devi PM, Devi AS. A study of electrocution deaths in Manipur. *J Med Soc* 2013; 27:124-6.
125. Sheikhezadi A, Kiani M, Ghadyani MH. Electrocution-related mortality: A survey of 295 deaths in Tehran, Iran between 2002 and 2006. *Am J Forensic Med Pathol* 2010; 31:42-5.
126. Katkıcı U. Sivas'ta adli otopsiler (1990-1995): Demografik veriler ve otopsiyi yapan hekimin özellikleri. *Adli Tıp Bülteni* 1997; 2(1):3-7.
127. Erel Ö, Katkıcı U, Pınarbaşı RD, Özkök MS, Dirlik M. Aydın'da 2000-2003 yılları arasında yapılan adli ölü muayene ve otopsilerin değerlendirilmesi. *Türkiye Klinikleri Adli Tıp Dergisi* 2005; 2:44-7.
128. Karagöz YM, Atılğan M, Karagöz S, Demircan C. Antalya'da yapılan adli otopsilerin değerlendirilmesi: (1987-1993). VIII. Ulusal Adli Tıp Günleri Poster Sunuları, 16-20 Ekim 1995, Antalya.
129. Karger B, Süggeler O, Brinkmann B. Electrocution—autopsy study with emphasis on “electrical petechiae”. *Forensic Science International* 2002; 126:210–3.
130. Erkol Z. Elektrik akımı yaralanmalarına bağlı ölümler. *Gaziantep Üniversitesi Tıp Fak Derg* 1995; 6:87-96.
131. Arıcan N, Çetin G, Fincancı ŞK, Kırangil B. Elektrik akımı ile yaralanma sonucu oluşan ölümlerin retrospektif değerlendirmesi. 7. Ulusal Adli Tıp Günleri, 1-5 Kasım 1993, Antalya Poster Sunuları, s.11-20.
132. Fatovich DM. Electrocution in western Australia, 1976–1990. *Med J Aust* 1992; 157:762–764.
133. Beyaztaş FY, Demirkan Ö, Çolak S. Sivas ilinde 1996-2000 yılları arasında elektrik akımına bağlı olarak ölen ve yaralanan olguların irdelenmesi. *Adli Tıp Derg* 2001; 15:1-6.

134. Bligh-Glover WZ, Miller FP, Balraj EK. Two cases of suicidal electrocution. *Am J Forensic Med Pathol* 2004 Sep; 25(3):255-8.
135. Soysal Z, Eke SM, Çağdır AS. Adli otopsilerde yaralanmadan sonraki yaşama süresinin belirlenmesi. *Adli Otopsi Cilt III*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Yayınları; 1999.s.1354.
136. Mukherjee B, Farooqui JM, Farooqui AAJ. Retrospective study of fatal electrocution in a rural region of western Maharashtra, India. *Journal of Forensic and Legal Medicine* 2015; 32:1-3.
137. Akçan R, Hilal A, Gülmen MK, Çekin N. Childhood deaths due to electrocution in Adana, Turkey. *Acta Pædiatrica* 2007; 96:443–5.
138. Demirci Ş, Doğan KH, Erkol Z, Deniz İ. Konya'da 2001-2006 yılları arasında meydana gelen 0-18 yaş grubu ölümler. *Türkiye Klinikleri J Foren Med* 2007; 4:121-6.
139. Peng Z, Shikui C. Study on electrocution death by low-voltage. *Forensic Science International* 1995; 76:115-9.
140. Tıraşçı Y, Gören S, Subaşı M, Gürkan F. Electrocution-related mortality: A review of 123 deaths in Diyarbakır, Turkey between 1996 and 2002. *Tohoku J Exp Med* 2006; 208:141-5.
141. Blumenthal R. A retrospective descriptive study of electrocution deaths in Gauteng, South Africa: 2001-2004. *Burns* 2009; 35:888–894.