

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OG/AG ELEKTRİK TESİSLERİNDE  
AŞIRI GERİLİMLERE KARŞI KORUMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elektrik Müh. Semra BÜYÜKKAPU**

**Anabilim Dalı: Elektrik Mühendisliği**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hasbi İSMAİLOĞLU**

**KOCAELİ, 2010**

**OG/AG ELEKTRİK TESİSLERİNDE  
AŞIRI GERİLİMLERE KARŞI KORUMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Elektrik Müh. Semra BÜYÜKKAPU**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 2 Ekim 2009**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 17 Aralık 2009**


**Tez Danışmanı**

**Yrd. Doç. Dr. Hasbi İsmailoğlu**

(.....)  


**Üye**

**Prof.Dr.Semra ÖZTÜRK**

(.....)  


**Üye**

**Doç.Dr.Özcan KALENDERLİ**

(.....)  


## **ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR**

Güç kalitesi problemlerinden biri olan aşırı gerilimlerin OG/AG elektrik tesislerindeki etkisi ve bundan korunma yöntemleri ile ilgili bana çalışma fırsatı veren Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Hasbi İSMAİLOĞLU'na teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarım sırasında çok kıymetli bilgi ve görüşlerini esirgemeyip vaktini ayıran, yol gösteren, İstanbul Teknik Üniversitesi Öğretim Üyesi Doç. Dr. Özcan KALENDERLİ'ye ilgi ve katkılarından dolayı teşekkür ve minnetlerimi sunarım. Ayrıca her koşulda maddi ve manevi desteği ile yanımda olan fedakar anne ve babama teşekkürlerimi borç bilirim.

Elk. Müh. Semra BÜYÜKKAPU

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	vi
SEMBOLLER .....	vii
ÖZET .....	viii
İNGİLİZCE ÖZET .....	ix
GİRİŞ .....	1
1. AŞIRI GERİLİMLER .....	2
1.1. İç Aşırı Gerilimler .....	3
1.2. Gerilim Yükselmeleri .....	3
1.3. Ferrerezonans .....	4
1.4. Dış Aşırı Gerilimler .....	8
1.4.1. Yıldırımın faz hattına düşmesi .....	11
1.4.2. Yıldırımın direğe düşmesi .....	13
1.4.3. Yıldırımın koruma hattına düşmesi .....	14
1.4.4. Direkt yıldırım düşmesi ile direkte oluşan aşırı gerilimlerin karşılaştırılması .....	15
1.5. Yıldırıma Karşı Topraklama .....	17
1.6. Yıldırım Oluşumu .....	19
1.6.1. Elektrik tesislerine etkisi .....	20
1.7. Darbe Gerilim ve Akımı .....	22
2. AŞIRI GERİLİMLERE KARŞI KORUMA .....	24
2.1. Aşırı Gerilimlere Karşı Koruma Aygıtları .....	24
2.1.1. Koruma elektrotları .....	24
2.1.2. Atlama aralıklı değişken dirençli parafudrlar .....	25
2.1.3. Metal oksit parafudrlar .....	26
2.1.4. Yardımcı elemanlar .....	29
2.2. Parafudrların Seçimi .....	30
2.2.1. Anma gerilimleri .....	30
2.2.2. Darbe boşalma akımları .....	30
2.2.3. Kısa devre yüklenme yeteneği .....	31
2.2.4. İşletme koşulları .....	31
2.2.5. Parafudrların yerleştirilmesi .....	31
2.2.6. Parafudrların koruma mesafesi .....	32
2.2.7. Parafudrların topraklama direnci .....	33
2.3. Yıldırımdan Koruma Sistemleri .....	34
2.3.1. Yapıların sınıflandırılması .....	34
2.3.2. Yıldırım parametreleri .....	34
2.3.3. Yıldırımdan koruma sistemlerinde koruma seviyesinin seçilmesi .....	35
2.4. Dış Yıldırımdan Koruma Sistemi .....	37
2.5. $N_c$ Değerinin Hesaplanması .....	41
2.5.1. Yapının yapılış tarzına ilişkin bileşen .....	41

2.5.2. Yapının kullanımı veya içindeki eşyalarla ilgili bileşen .....	42
2.5.3. Zararlardan ileri gelen bileşen .....	43
2.6. Dağıtım Şebekelerinin Topraklama Tiplerine Göre Sınıflandırılması .....	44
2.7. Alçak Gerilim Parafudrlarının Sınıflandırılması .....	46
2.8. Çeşitli Alçak Gerilim Şebeke Şekillerinde Darbe Koruma Düzenlerinin Artık Akım Anahtarı ile Bağlantısı.....	47
2.8.1. TN sistem.....	47
2.8.2. TT sistem .....	49
2.8.3. IT sistem .....	50
2.9. İletişim Sistemleri için Kullanılacak Topraklama Tesislerinin Yapılmasıyla İlgili Kurallar .....	50
2.9.1. Topraklayıcılar .....	50
2.9.2. Topraklama ring iletkeni .....	51
2.9.3. Toprak birleştirme (toplama) barası.....	51
2.9.4. Topraklama klemensi .....	52
2.9.5. Topraklama birleştirme iletkenlerine yapılan bağlantılar .....	52
2.9.6. Topraklama iletkeni .....	53
<b>3. BİR TELEKOM SANTRALİ İÇİN YILDIRIMDAN KORUNMA SİSTEMİ TASARIMI.....</b>	<b>54</b>
3.1. Koruma Seviyesinin Belirlenmesi .....	56
3.2. Çatıdaki Sistemlerin ve Baca Korumasının Yapılması .....	57
3.3. Temel ve Çevre Topraklamalarının Yapılması.....	58
3.4. Repartitörde Topraklama.....	60
3.5. Kablo Ekranlarının Topraklama Tesisine Bağlantısı .....	61
3.6. Saha Dolabında Topraklama .....	62
3.7. Pilon Topraklaması .....	62
3.8. Santral Salonunda Topraklama.....	63
3.9. Darbe Koruma Düzenlerinin Yerleştirilmesi.....	63
<b>4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....</b>	<b>64</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>65</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>66</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>67</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: Ferrerezonansın yaygın olarak görüldüğü sistem koşulları .....	5
Şekil 1.2: ATP simülasyon modeli .....	7
Şekil 1.3: Gerilim dalga formu .....	7
Şekil 1.4: Ferrerezonans gerilim dalga formu.....	8
Şekil 1.5: Binanın çatısına veya yıldırımdan koruma iletkenine doğrudan yıldırım düşmesi.....	9
Şekil 1.6: Yakın hava hattına yıldırım düşmesi .....	9
Şekil 1.7: Hava hattına yıldırım düşmesi .....	10
Şekil 1.8: Hat yakınına yıldırım düşmesiyle meydana gelen aşırı gerilimler .....	10
Şekil 1.9: Yapı yakınına yıldırım düşmesiyle meydana gelen aşırı gerilimler .....	10
Şekil 1.10: Yıldırımın faz hattına düşmesi.....	12
Şekil 1.11: Yıldırımın direğe düşmesi hali .....	13
Şekil 1.12: Yıldırımın koruma hattına düşmesi .....	14
Şekil 1.13: Yıldırımın faz hattına düşmesi durumunda direkte meydana gelen gerilim değerlerinin grafiksel değişimi .....	16
Şekil 1.14: Yıldırımın direğe düşmesi durumunda direkte meydana gelen gerilim değerlerinin grafiksel değişimi .....	16
Şekil 1.15: Yıldırımın koruma hattına düşmesi durumunda direkte meydana gelen gerilim değerlerinin grafiksel değişimi.....	17
Şekil 1.16: Sırasıyla akış yönü aşağıya doğru negatif, akış yönü yukarı doğru pozitif akış yönü aşağı doğru pozitif, akış yönü yukarıya doğru pozitif yıldırım tipleri.....	19
Şekil 1.17: Yıldırım darbelerinin yük tesislerini etkileyeceği noktalar .....	20
Şekil 1.18: Transformatördeki kapasitif etki .....	21
Şekil 1.19: Yıldırım darbesinin işletme transformatörüne girmeden toprağa geçmesi .....	22
Şekil 1.20: Karakteristik yıldırım dalgası .....	23
Şekil 2.1: İzolatör zinciri ve koruma elektrotları.....	25
Şekil 2.2: Atlama aralıklı değişken dirençli parafudr iç yapısı .....	26
Şekil 2.3: MOV parafudrun çalışma eğrisi .....	27
Şekil 2.4: Metal oksit parafudr iç yapısı .....	28
Şekil 2.5: Polimer ve seramik parafudrlar.....	29
Şekil 2.6: Düz arazideki bir yapının eşdeğer toplama alanı .....	36
Şekil 2.7: Türkiye yıllık ortalama fırtınalı gün sayısı haritası.....	38
Şekil 2.8: Tek yakalama uçlu örnek .....	40
Şekil 2.9: İki yakalama uçlu örnek .....	40
Şekil 2.10: Yuvarlanan küre yöntemine göre yakalama ucu iletkeni tasarımı.....	40
Şekil 2.11: Dış yıldırımdan koruma sisteminin genel görünüşü .....	41
Şekil 2.12: TN-C Sistemi .....	45
Şekil 2.13: TN-S Sistemi .....	45
Şekil 2.14: TT Sistemi .....	46
Şekil 2.15: IT Sistemi .....	46
Şekil 2.16: Darbe koruma düzenlerinin TN-C-S sistemde uygulaması.....	48

Şekil 2.17: Darbe koruma düzenlerinin TN-S sistemde uygulaması.....	48
Şekil 2.18: Darbe koruma düzenlerinin TT sistemde uygulaması .....	49
Şekil 2.19: Darbe koruma düzenlerinin IT sistemde uygulaması.....	50
Şekil 3.1: Eğik çatının mahyasındaki yakalama ucu iletkeninin ve çatı indirme iletkenlerinin yapılışı .....	57
Şekil 3.2: Koruyucu açığı yöntemi kullanarak baca koruması yapılışı .....	57
Şekil 3.3: İndirme iletkeninin oluklarla yapılışı.....	57
Şekil 3.4: Esnek bağlantı ile hareket aralığının köprülenmesi .....	59
Şekil 3.5: Temel içinde temel topraklayıcının yerleştirilmesi.....	59
Şekil 3.6: Repartitör çatısı.....	61
Şekil 3.7: Kablo odası topraklama bağlantılarının yapılışı .....	62
Şekil 3.8: Santral salonu yükseltilmiş taban bacalarının topraklanması.....	63

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1: Yıldırımın faz hattına düşmesi durumunda direkte meydana gelen gerilim değerlerinin devre parametrelerine göre değişimi.....	15
Tablo 1.2: Yıldırımın direğe düşmesi durumunda direkte meydana gelen gerilim değerlerinin devre parametrelerine göre değişimi.....	16
Tablo 1.3: Yıldırımın koruma hattına düşmesi durumunda direkte meydana gelen gerilim değerlerinin devre parametrelerine göre değişimi.....	17
Tablo 1.4: Toprak iletkeni bulunan hava hattı direklerinde direktten geçen yıldırım akımları .....	18
Tablo 2.1: Koruma elektrodu atlama aralıkları .....	25
Tablo 2.2: Çeşitli darbe akımları ve bağlantı iletkeni uzunluğuna göre $u_b$ gerilim düşümleri.....	33
Tablo 2.3: Şebeke anma gerilimine göre $l_{max}$ mesafesi.....	33
Tablo 2.4: Koruma seviyelerine göre yıldırım akımı parametreleri .....	35
Tablo 2.5: $C_e$ çevre faktörünün değerlendirilmesi.....	36
Tablo 2.6: Koruma seviyelerine karşılık olan YKS etkinlik değerleri .....	37
Tablo 2.7: Koruma seviyelerine göre değerler.....	39
Tablo 2.8: Yapının yapılış tarzına ilişkin bileşen.....	42
Tablo 2.9: Yapının kullanımı veya içindeki eşyalarla ilgili bileşen .....	43
Tablo 2.10: Zararlardan ileri gelen bileşen .....	44
Tablo 3.1: Yapının yapılış tarzına ilişkin bileşenler.....	55
Tablo 3.2: Yapının kullanımı veya içindeki eşyalarla ilgili bileşenler .....	55
Tablo 3.3: Zararlardan ileri gelen bileşenler .....	55
Tablo 3.4: Toprağın yapısına bağlı toprak öz direnci.....	58



## SEMBOLLER

Z	: Faz hattının karakteristik empedansı, ( $\Omega$ )
$I_m$	: Darbe akımı tepe değeri, (kA)
$T_1$	: Anma cephe süresi, ( $\mu s$ )
$T_2$	: Anma sırt yarı değer süresi, ( $\mu s$ )
$X_L$	: Endüktif reaktans, ( $\Omega$ )
$X_C$	: Kapasitif reaktans, ( $\Omega$ )
$U_i$	: İşletme gerilimi, (V)
$U_r$	: Parafudr beyan gerilimi, (V)
$U_c$	: Sürekli çalışma gerilimi, (V)
$U_m$	: Maksimum sistem gerilimi, (V)
$I_n$	: Anma boşalma akımı, (A)
$u_{dd}$	: Anma darbe dayanım gerilimi, (kV)
$u_a$	: Parafudrun artık gerilimi, (kV)
$u_b$	: Parafudrun bağlantı iletkenlerindeki gerilim düşümü, (kV)
S	: Yürüyen gerilim dalgasının eğimi, (kV/ $\mu s$ )
$v$	: Yürüyen gerilim dalgasının yayılma hızı, (m/ $\mu s$ )
$Q_{top}$	: Toplam yük, (C)
$Q_{darbe}$	: Darbe yükü, (C)
$N_d$	: Yılda yapıya doğrudan yıldırım boşalma sıklığı, (adet/yıl)
$N_a$	: Korunacak yapıya doğrudan yıldırım boşalmasının beklenen sıklığı
$N_c$	: Yıldırım boşalmalarının kabul edilen yıllık sıklığı
$N_g$	: Toprağa yıldırım boşalma yoğunluğu, (yıldırım / yıl.km <sup>2</sup> )
$C_e$	: Çevre faktörü
$A_e$	: Yapının eşdeğer toplama alanı, (m <sup>2</sup> )
$T_d$	: Meteoroloji haritalarından alınan yılda yıldırımlı gün sayısı
h	: Yakalama ucunun yerden yüksekliği, (m)
r	: Yuvarlanan küre yarıçapı, (m)
$\alpha$	: Koruma açısı, (derece)

## Kısaltmalar

AG	: Alçak Gerilim
OG	: Orta Gerilim
YG	: Yüksek Gerilim
MOV	: Metal Oksit Varistör
SiC	: Silisyum Karbür
ZnO	: Çinko Oksit
Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Bizmut Oksit
MnO <sub>2</sub>	: Mangan Oksit
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Antimon Oksit
YKS	: Yıldırımdan Korunma Sistemi
DKD	: Darbe Koruma Düzeni

# OG/AG ELEKTRİK TESİSLERİNDE AŞIRI GERİLİMLERE KARŞI KORUMA

**Semra BÜYÜKKAPU**

**Anahtar Kelimeler:** Aşırı gerilimler, Yıldırım, Darbe Akımı, Yıldırımdan Koruma Sistemi

**Özet:** Günümüz teknolojisindeki ilerlemeler ve kullanılan cihazların hassasiyeti elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtımında oluşabilecek güç kalitesi problemlerini çeşitlendirmiş, korunma yöntemlerinin geliştirilmesine olan ihtiyacı artırmıştır. Bu çalışmada güç kalitesi problemlerinden biri olan aşırı gerilimlerin oluşma sebepleri olan yıldırım, ferrezonans ve kondansatör bankalarının etkilerinden bahsedilmiş, yıldırım darbelerine karşı korunma yöntemleri irdelenmiştir. Yıldırımın bir elektrik direğine düşmesi durumunda direktte oluşabilecek gerilim değerlerinin direğin direnci ve darbe akımının değerine göre değişim grafikleri elde edilmiştir. Ayrıca örnek bir telekom santral binasında yıldırıma karşı koruma sağlamak amacıyla koruma seviyesi belirlenmiş, ilgili yönetmelikler doğrultusunda topraklama sistemleri tasarlanıp, darbe koruma düzenleri ile sistemin aşırı gerilimlere karşı koruması yapılmıştır.

# PROTECTION OF MV/LV POWER SYSTEMS AGAINST OVERVOLTAGE

**Semra BÜYÜKKAPU**

**Keywords:** Overvoltage, Lightning , Pulse Current, Lightning Protection Systems

**Abstract:** Nowadays technological developments and sensitiveness of electrical equipments diversify power quality problems during power generation, transmission and distribution; also increased the need of protection methods to develop. In this thesis, the reason of the overvoltages, which is one of the power quality problems, as ferroresonance, capacitor banks and lightning with protection methods are mentioned. Changing diagrams of the electrical post voltage according to lightning impulse and resistance of the post is obtained. At the last chapter, lightning protection level is determined for an example telecom building. Grounding system which is connected to lightning protection system is designed and available surge protection devices are added.

## **GİRİŞ**

Elektrik tesislerinde kullanılan işletme araçlarının akım geçiren kısımları işletme koşullarına uygun şekilde yalıtılırlar. Bunların tesisi esnasında da faz iletkenlerinin birbirine ve toprağa karşı sahip oldukları yalıtım seviyeleri göz önünde bulundurulur. Bu şekilde düzenlenmiş olan bir tesis, elektriksel bakımdan belirli bir işletme dayanımına sahiptir ve normal işletme koşullarındaki çalışma gerilimleri ile sistemde bir yalıtım hatası oluşturmaz.

Ancak elektrik tesislerinde zaman zaman istenmeyen aşırı gerilimler oluşarak işletme güvenliğini büyük ölçüde tehlikeye sokar. Aşırı gerilim oluşması halinde, jeneratörler, transformatörler, hatlar ve anahtarlar gibi işletme araçlarında, fazlar arasında veya faz-toprak arasındaki yalıtımda oluşan delinmeler ile atlamalar, buna bağlı çeşitli kısa devreler meydana gelebilir. Bunun sonucunda tüketicilere enerji verilmesi aksayacağı gibi, arızanın yol açtığı ısıl ve dinamik zorlamalar sebebi ile donanım kullanılamaz hale gelebilir.

Yalıtkan maddelerin elektriksel dayanımı yapısına, kalitesine ve boyutlarına bağlı olduğu gibi işletme koşullarına da bağlıdır. Günümüz koşullarında en iyi yalıtım maddesinin kullanılması şartıyla, işletme araçlarını ve tesisleri, her çeşit aşırı gerilime dayanacak boyutta ve yapıda izolasyon maddesiyle donatmak hem teknik hem de ekonomik bakımdan mümkün değildir. Bu nedenle elektrik tesisleri bir yandan aşırı gerilimler meydana gelmeyecek şekilde tesis edilirken, bir yandan da işletme esnasında aşırı gerilimleri önleyici, koruyucu aygıtlarla donatılırlar.

## 1. AŞIRI GERİLİMLER

Bir cihaz için, bir standart veya şartnamede tanımlanmış sınır gerilim değeri üzerindeki gerilimler, aşırı gerilim olarak adlandırılır.

Elektrik güç sistemlerinde;

- a) Uzun süreli aşırı gerilimler: Anma geriliminin % 5 üzerinde dakikalarca veya daha uzun süreli uygulanan aşırı gerilimlerdir.
- b) Anlık aşırı gerilimler: Birkaç milisaniye veya daha kısa süreli aşırı gerilimlerdir.
- c) Geçici Aşırı Gerilimler: Saniyeler veya daha uzun süreli dakikalara kadar uzayan aşırı gerilimlerdir.

Sonuçlar; uygulama süresine, tekrarına, büyüklüğüne ve frekansına göre büyük ölçüde farklılık göstermektedir;

- Cihaza ve elektriksel donanıma önemli ve kalıcı hasar veren dielektrik bozulma,
- Zarar veren aşırı gerilimlerden çok, tekrarlayan aşırı gerilimler nedeniyle cihazın eskiyerek değer kaybetmesi,
- Cihazın bozulması ile ortaya çıkan uzun kesintiler (dağıtım şirketi için satış kaybı, endüstriyel şirketler için üretim kaybı),
- Kontrol sistemlerinde ve düşük akım haberleşme devrelerinde kesinti.

Genellikle hava hatlı şebekeler, yıldırıma karşı çok duyarlıdır. Eğer yıldırım hatta yakın bir yerde gerçekleşmişse yüksek gerilimden dolayı yer altı şebekeleri tarafından beslenen tesisatlar da streten etkilenebilir. Aşırı gerilimler meydana geliş şekline göre iki ana gruba ayrılırlar; iç aşırı gerilimler ve dış aşırı gerilimler. İç aşırı gerilimler, bağlama olayları esnasında veya bunun bir değişik şekli olarak bir hata sebebi ile meydana gelen bağlantı değişiklikleri sonucunda meydana gelirler. Dış

aşırı gerilimler ise atmosferik olaylar sonucu oluşur. Bunların haricinde gerilim yükselmeleri de aşırı gerilimler sınıfındadır [1,3].

### **1.1. İç Aşırı Gerilimler**

İç aşırı gerilimler, genel olarak devre açma-kapama olayları sonucunda oluşan aşırı gerilimlerdir. İç aşırı gerilimlerin genlikleri, işletme geriliminin düzeyine, iletim hattının uzunluğuna ve empedansına, kompanzasyon derecesi ve düzeyine, kesici karakteristiklerine, besleme kaynağı düzenine, yeniden kapama öncesinde iletim hattı üzerinde artık yüklerin bulunması durumuna önemli ölçüde bağlıdır [2].

Yüksek gerilim şebekeleri titreşime elverişli devrelerdir. Çeşitli kısa devreler, toprak teması, toprak kısa devresi veya hat kopması gibi istenmeyen olaylarda da aşırı gerilimler meydana gelebilir. Bu sırada meydana gelen aşırı gerilimler, sadece elektrik tesislerinden kaynaklandıklarından ve şebekelere bağlı olduklarından iç aşırı gerilimler olarak adlandırılırlar [4]. Özellikle çok yüksek gerilim sistemlerinde yalıtımı zorlayan ve yalıtım boyutlandırılmasında öncelikle dikkate alınması gereken gerilimlerdir [2]. 220 kV'a kadar olan şebekelerde yalıtım genellikle dış aşırı gerilimlere göre boyutlandırıldıkları halde, 380 kV ve üzeri gerilimlerde iç aşırı gerilimlere göre olur [4].

Yüksek gerilim sistemlerinde açma-kapama aşırı gerilimlerini sınırlamak amacıyla geçmişte, kapama anında kesiciye seri direnç ekleme, faz gerilim açısını kontrol ederek (gerilim sıfırdan geçerken) kapama gibi yöntemlere başvurulurken; günümüzde bu amaca yönelik olarak metal-oksit parafudrların kullanılması tercih edilmektedir [2].

### **1.2. Gerilim Yükselmeleri**

Gerilim yükselmelerine ilişkin karakteristik büyüklükler, bu gerilimlerin genlikleri ve etki süreleridir. Genel olarak işletme sırasında ortaya çıkan olaylardan kaynaklanırlar. Örneğin jeneratör yükünün kalkması, jeneratörün kapasitif yüklenmesi, bir hava hattının yükünün kalkması (Ferranti Olayı), kapasitif devrenin

açılması, faz-toprak kısa devresi gibi olaylar sonucunda veya rezonans - ferrezonans nedeniyle oluşurlar. Çoğunlukla şebeke frekanslı olan gerilim yükselmelerinin etki süreleri, şebekenin yapısına bağlı olarak, birkaç saniyeden birkaç saate kadar değişkenlik gösterebilir.

Yük atması, kompanze edilmemiş uzun hatlarda ferranti etkisi ile uzak istasyonda, işletme geriliminin 1,2 katına kadar gerilim yükselmelerine yol açar. Ferranti etkisi, hat uzunluğuna bağlı olarak etkisi artan düzeyde olmak üzere, paralel hat kapasitesi üzerinden geçen akımın, kaynak ve hat endüktansları üzerinde oluşturduğu gerilimlerden kaynaklanan gerilim yükselmesidir.

Rezonans ve ferrezonans olaylarından kaynaklanan gerilim yükselmeleri, genel olarak, iletim hatları, kablolar gibi büyük kapasiteli ve transformatör, şönt reaktör gibi doğrusal olmayan mıknatıslanma karakteristiklerine sahip büyük endüktanslı elemanların enerjilendirilmeleri veya ani yük değişimleri sırasında oluşurlar. Hattın enerjilendirilmesi rezonans koşullarını tetiklediğinden, faz geriliminin 1,5 katına kadar gerilim yükselmeleri ortaya çıkabilmektedir [2,4].

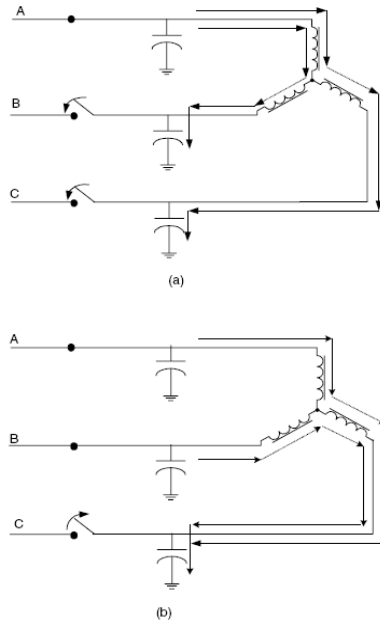
### **1.3. Ferrerzonans**

Ferrezonans demir çekirdekli endüktans ve kapasitif elemanlar arasında oluşan özel bir rezonans çeşididir. Ferrerzonans olayı doğrusal olmayan bir alt harmonik rezonanstır [5].

Ferrezonans lineer sistem elemanlarındaki rezonanstan farklıdır. Lineer sistemlerde rezonans, rezonans frekansında yüksek sinüzoidal gerilim ve akımla sonuçlanır. Lineer sistem rezonansı güç sistemlerindeki harmonik büyümesinin arkasındaki nedendir. Ferrerzonans da yüksek gerilim ve akıma neden olur ancak dalga şekli genellikle düzensiz ve kaotiktir.

Ferrezonansa götüren en yaygın durumlar;

- Sadece tek fazı kapalı yüksüz 3 fazlı transformatörlerin anahtarlanması (Şekil 1.1). Ferrezonans, ilk faz enerjilendirilmiş hat üzerine kapatıldığında veya son faz enerjisizleştirmek üzere açılmadan önce görülebilir.
- Bir fazı açık yüksüz 3 fazlı transformatörlerin anahtarlanması (Şekil 1.1). Enerjilendirme veya enerjisizlendirme sırasında olabilir.
- Bir veya iki sigorta patladığında, transformatör tek veya iki fazda kaldığında,
- Aşırı güçlü gerilim transformatörü ya da gerilim transformatörünün boşa kalması durumunda.



Şekil 1.1: Ferrezonansın yaygın olarak görüldüğü sistem koşulları (a) bir faz kapalı (b) bir faz açık

Ferrezonans olduğunu gösteren belirtiler şunlardır;

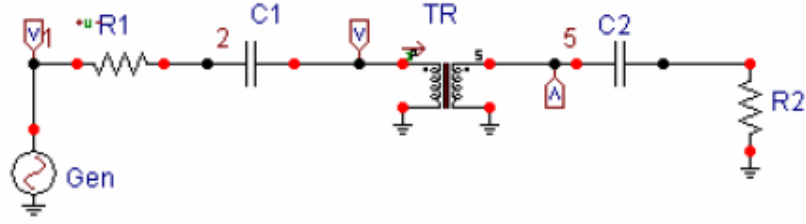
- Akustik gürültü: Ferrezonans sırasında akustik bir gürültü meydana gelebilir. Transformatör içerisinden dış yüzeye doğru bir kova dolusu çivinin sallanmasıyla



çıkacak olan sese benzer bir ses duyulur. Normal çalışmasındaki sestten daha farklı ve şiddetlidir.

- Aşırı ısınma: Ferrerezonans sırasında transformatörde aşırı ısınma görülür. Bu özellikle demir çekirdek aşırı doyuma uğradığında gerçekleşir. Çekirdek tekrar tekrar doyuma uğradığı için manyetik akı normalde bulunmaması gereken diğer metal bölümlerde görülür. Transformatörün üzerindeki boyayı kömürleştirir veya kabartır. Bu durum ünitenin hasara uğradığının göstergesi değildir ancak yeterince uzun süre devam ederse hasara neden olabilir.
- Yüksek aşırı gerilimler ve parafudr hatası: Aşırı gerilimler ferrerezonansla birlikte olduğunda hem primer hem de sekonder devrede elektriksel hasar meydana gelebilir. Parafudrlar genellikle bu olayda zarar görür. Farklı aşırı gerilim vakalarına dayanabilmelerine rağmen enerjiyi emme kapasiteleri belli bir değerdedir. Son kullanıcı tarafındaki darbe koruma düzenleri şebekedeki aşırı gerilim koruyucularından hassastır ve bazen ferrerezonans olduğunun tek belirtisi arıza vermeleridir.
- Titreşim: Ferrerezonans sırasında gerilim genliği rastgele dalgalanabilir. Sekonder devredeki son kullanıcılar lambalarında ışığın titreştiğini görebilirler. Bazı elektronik cihazlar bu tür gerilim farklılıklarına karşı oldukça hassastır. Eğer maruz kaldığı süre uzarsa cihazın beklenen ömrü kısalabilir veya aniden bozulur. Şebeke tarafı arızalarında kesintisiz güç kaynağı üzerinden beslenen sistemlerde gerilim dalgalanması süresince tekrarlayan alarm uyarısı alınır [3].

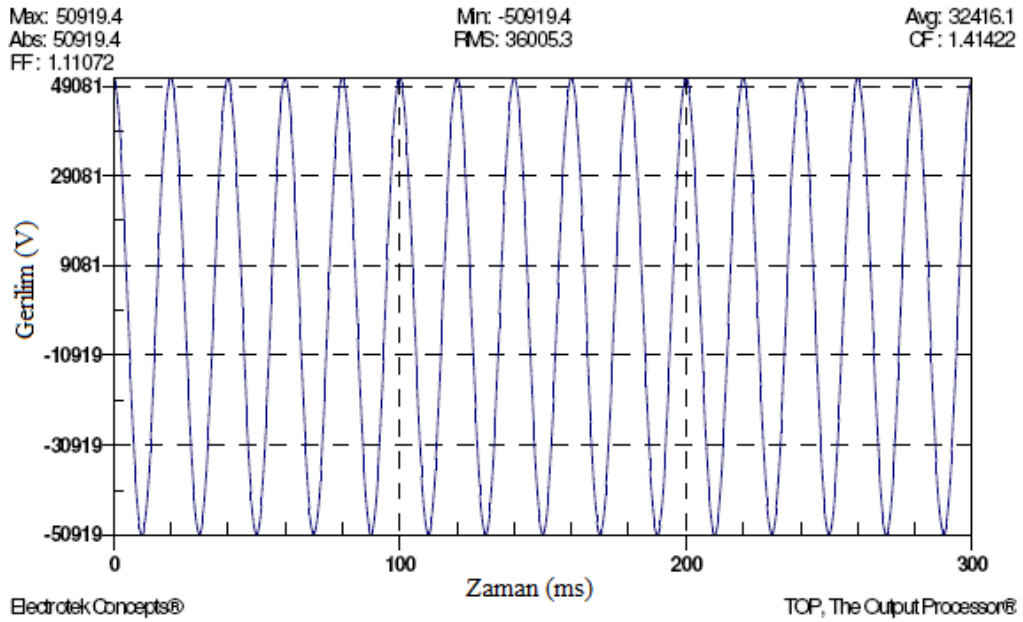
Şekil 1.2’de ATP (Alternative Transient Program) ile yaptıkları simülasyon modeli görülmektedir. Yapılan çalışmada ferrerezonans olayı analiz edilmiştir.



Şekil 1.2: ATP simülasyon modeli [5]

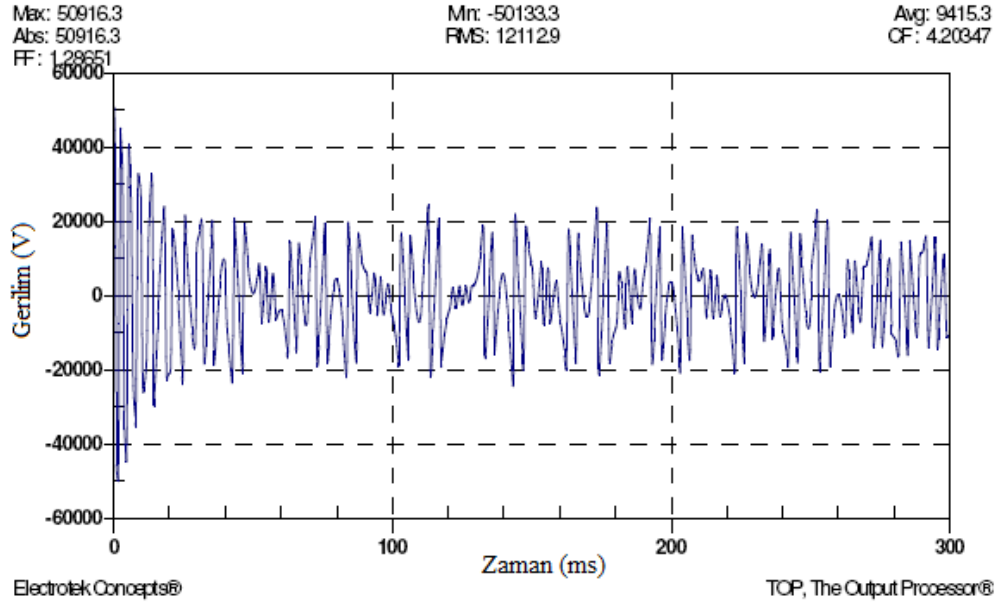
Şekil 1.2'deki devre parametreleri;

Generatör gerilimi= 50919.377 Volt, Frekans= 50Hz, R1=100Ω, R2=1000 Ω,  
C1=0,1μF, C2=5 μF



Şekil 1.3: Gerilim dalga şekli [5]

Şekil 1.3'te 36 kV'luk sisteme ait gerilim zaman grafiği görülmektedir. Grafikte gerilimin tepeden tepeye değeri 50919,377 V olarak gözlenir. Şekil 1.3 300 milisaniyelik ölçümün sonucudur. Şekil 1.4'te ise transformatör girişinden elde edilen gerilim şekli gösterilmiştir. Gerilim 1000 - 2000 volt arasında sürekli kararlı olarak değişmektedir. Böyle bir salınım sisteme zarar verecek, sistem üzerindeki elemanların arızalanmalarına yol açacaktır [5].



Şekil 1.4: Ferrerezonans gerilim dalga şekli [5]

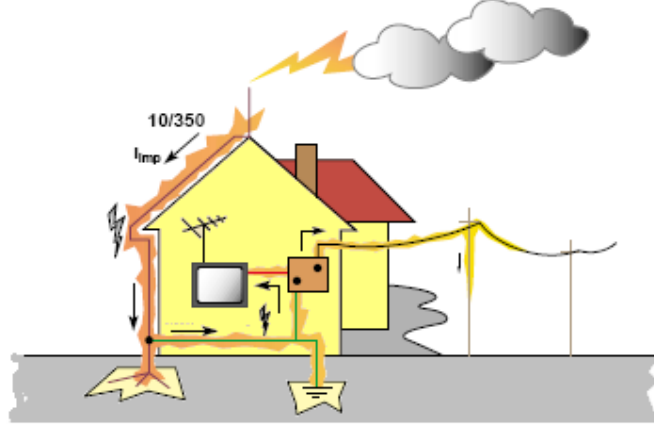
#### 1.4. Dış Aşırı Gerilimler

Dış aşırı gerilimler doğrudan yıldırım düşmesi ile veya etki ile elektriklenme suretiyle meydana gelirler. Yıldırımın faz hattına, direğe veya koruma (toprak) hattına düşmesi halinde meydana gelen aşırı gerilimlere “ direk yıldırım düşmesiyle meydana gelen aşırı gerilimler”, yıldırım bulutundaki elektrik yükü ile hatta tesirle elektriklenme suretiyle ya da yıldırımın gerilim hattı dışında herhangi bir yere düşmesiyle serbest kalan yük dalgasının her iki tarafa doğru hareketiyle meydana gelen aşırı gerilimlere de “tesirle elektriklenme suretiyle meydana gelen aşırı gerilimler” denir [4].

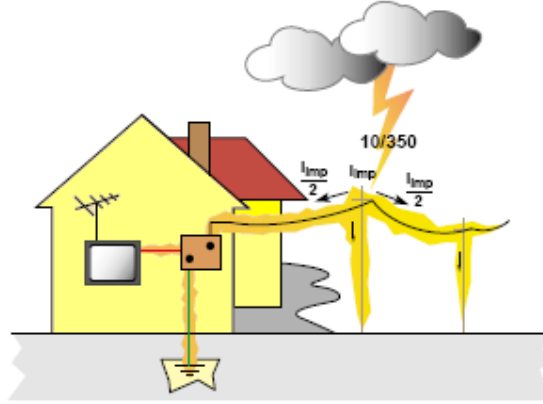
Yıldırım Şekil 1.5’te olduğu gibi bina üzerindeki yakalama ucu ya da çatıya düştüğünde yıldırım akımı toprağa yayılır. Toprak empedansı ve buradan akan akım büyük bir potansiyel fark yaratır. Aşırı gerilim kablolar yoluyla binada yayılarak yolu üzerindeki cihazlara zarar verir.

Yıldırım Şekil 1.6’da olduğu gibi bir alçak gerilim hava hattına düştüğünde yüksek akımlar bina içine nüfuz ederek büyük aşırı gerilimler oluştururlar. Bu tip bir aşırı

gerilim yüzünden oluşan hasarlar genellikle binaların ve endüstriyel cihazların tahribatıyla sonuçlanır.



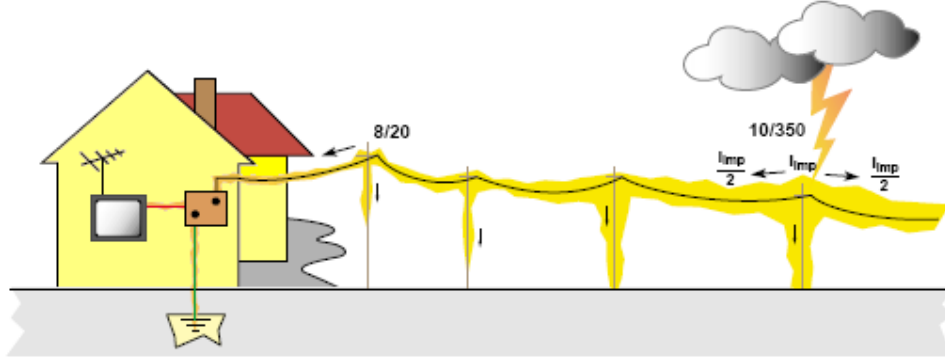
Şekil 1.5: Binanın çatısına veya yıldırımdan koruma iletkenine doğrudan yıldırım düşmesi [6]



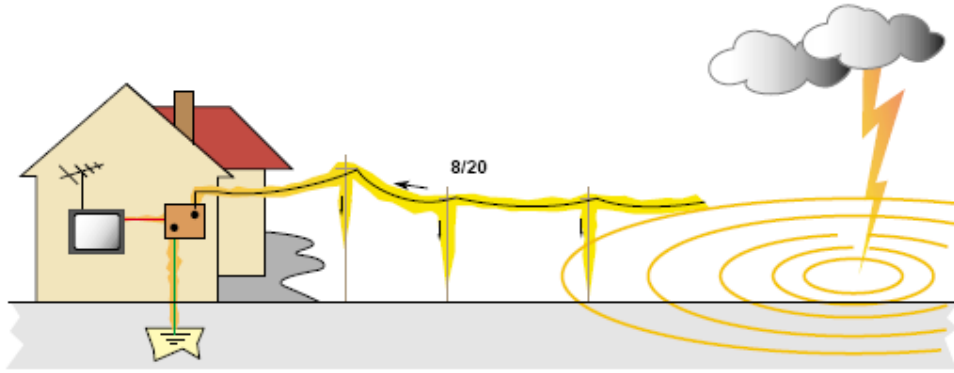
Şekil 1.6: Yakın hava hattına yıldırım düşmesi [6]

Aşırı gerilimler ayrıca bir binanın civarına yıldırım düştüğünde çarpma noktasındaki toprak potansiyelinde oluşan artıştan dolayı da görülür. Yıldırım akımı tarafından oluşan elektromanyetik alanlar endüktif ve kapasitif kuplajla aşırı gerilimlere neden olur. Birkaç kilometrelik bir yarıçap içinde elektrik yüklü bulutlar aracılığı ile oluşan elektromanyetik alan geriliminde ani artışlar oluşturabilir. Düşük gerilimle çalışan ve duyarlı cihazlar olarak bilinen faks makinası, bilgisayar güç kaynakları ile güvenlik

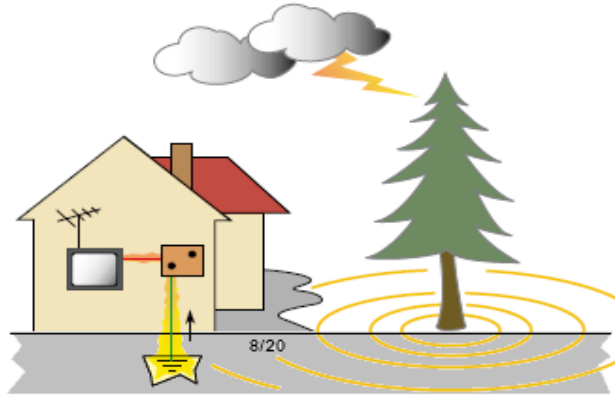
ve haberleşme sistemlerinde onarımı mümkün olmayan zararlara neden olur [7].  
Şekil 1.7, 1.8 ve 1.9' da diğer etkileri gösterilmiştir.



Şekil 1.7: Hava hattına yıldırım düşmesi [6]



Şekil 1.8: Hat yakınına yıldırım düşmesiyle meydana gelen aşırı gerilimler [6]



Şekil 1.9: Yapı yakınına yıldırım düşmesiyle meydana gelen aşırı gerilimler [6]

#### 1.4.1. Yıldırımın faz hattına düşmesi

Yıldırımın bir faz hattına düşmesi durumunda, düşme noktasından başlayarak her iki yönde ilerleyen birer yürüyen dalga meydana gelir (Şekil 1.10). Dalgaların şekli yıldırım boşalmasındaki akım şekline benzer, yani yıldırım akımı;

$$i(t) = I_o(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) \quad (1.1)$$

yürüyen gerilim dalgaları da;

$$u(t) = \frac{1}{2}Z \cdot i(t) = \frac{1}{2}ZI_o(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) = U_o(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) \quad (1.2)$$

olur. Burada  $Z$ , faz hattının karakteristik empedansını,  $U_o$  ise  $ZI_o/2$  değerlerini gösterir. Örneğin, karakteristik empedansı  $Z = 300 \Omega$  olan bir faz hattına düşen yıldırımın tepe değeri  $I_m = 20$  kA ise, faz hattında meydana gelen aşırı gerilimin tepe değeri;

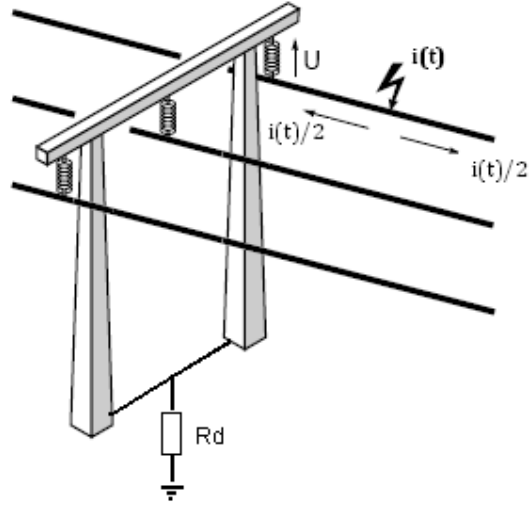
$$U_m = \frac{1}{2}ZI_m \quad (1.3)$$

$U_m = 3000$  kV olur. Tepe değeri bu kadar büyük olan bir yürüyen gerilim dalgası, ilk direkte izolatör zinciri üzerinden bir atlama meydana getirir. Direğin topraklama direnci  $R_d$  ile gösterilirse, direkte meydana gelen gerilim;

$$u_d \approx R_d i_d = Zi_L \quad (1.4)$$

$$\frac{1}{2}i = i_d + i_L \quad (1.5)$$

denklemleriyle hesaplanabilir.



Şekil 1.10: Yıldırımın faz hattına düşmesi

$$u_d \approx \frac{1}{2} i \frac{R_d Z}{R_d + Z} \quad (1.6)$$

Gerçekte direkte meydana gelen gerilim için;

$$u_d = R_d i_d + L_d \frac{di_d}{dt} - u_k - M \frac{di_L}{dt} + u_\varsigma \quad (1.7)$$

denklemini yazılabilir. Burada;

- $R_d i_d$  : Direğin darbe topraklama direncindeki gerilim düşümünü,
- $L_d \left( \frac{di_d}{dt} \right)$  : Direğin endüktansında meydana gelen endüktif gerilim düşümünü,
- $u_k$  : Koruma hattı ile faz hattı arasındaki kapasitif kuplajdan dolayı koruma hattının faz hattında meydana getirdiği gerilimi,
- $M \frac{di_L}{dt}$  : Faz hattında yürüyen yıldırım akımı tarafından direkte endüklenen gerilimi,
- $u_\varsigma$  : Şebeke geriliminin ani değerini göstermektedir.

Genel olarak  $R_d i_d$  yanında diğer terimler ihmal edilebilir.

### 1.4.2. Yıldırımın direğe düşmesi

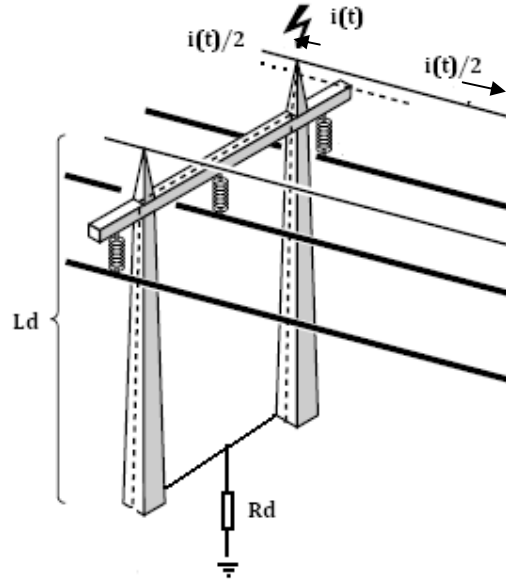
Yıldırımın direğe düşmesi durumunda da aşırı gerilimler meydana gelir. Ancak bunların etkisi yıldırımın faz hattına düşmesi kadar tehlikeli değildir. Direkler iyi topraklanmışsa etkileri giderilebilir. Şekil 1.11'den;

$$i = i_d + 2i_L \quad (1.8)$$

$$u_d = R_d i_d = Z_o i_L \quad (1.9)$$

denklemleri yazılabilir. Dolayısıyla direkte meydana gelen gerilim yükselmesi;

$$u_d = \frac{R_d Z_o}{2R_d + Z_o} i \quad (1.10)$$



Şekil 1.11: Yıldırımın direğe düşmesi hali

Burada  $R_d$  direğin topraklama direncini,  $Z_o$ 'da koruma hattının karakteristik empedansını gösterir. Eğer  $Z_o = 400 \Omega$ ,  $i = 20 \text{ kA}$  ve  $R_d = 100 \Omega$  ise direkte meydana gelen gerilim;

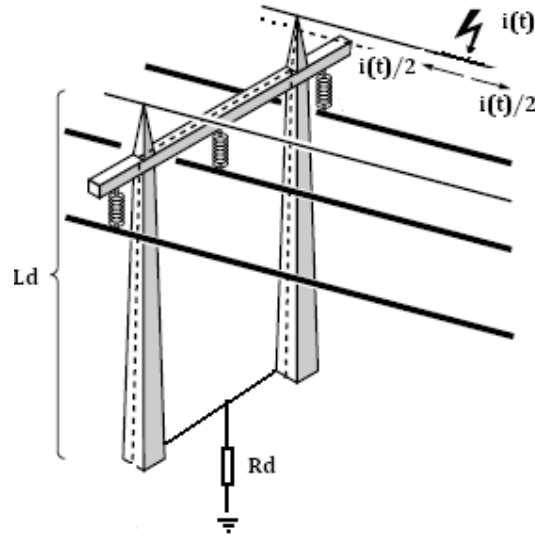


$$u_d = \frac{100.400}{200 + 400} 20 \approx 1335 \text{ kV}$$

değerinde çıkar. Bu gerilim direktan faz hattına doğru izolatör üzerinden bir geri atlama meydana getirerek yüksek gerilim şebekesinin arızalanmasına neden olabilir.

### 1.4.3. Yıldırımın koruma hattına düşmesi

Yıldırımın koruma hattına düşmesi durumunda da aşırı gerilimler meydana gelebilir. Eğer direkler iyi topraklanmamışsa, yıldırımın direğe düşmesinde olduğu gibi bu durumda da geri atlama söz konusu olur.



Şekil 1.12: Yıldırımın koruma hattına düşmesi

Şekil 1.12'den;

$$\frac{1}{2}i = i_d + i_L \quad (1.11)$$

$$u_d = Ri_d = Z_o i_L \quad (1.12)$$

denklemleri yazılabilir.

Dolayısıyla direkte meydana gelen aşırı gerilimin değeri;

$$u_d = \frac{R_d Z_o}{2(R_d + Z_o)} i \quad (1.13)$$

Bu gerilim izolatörün darbe atlama geriliminden yüksek olduğu takdirde izolatörde geri atlama meydana gelir ve şebeke arızasına yol açar.

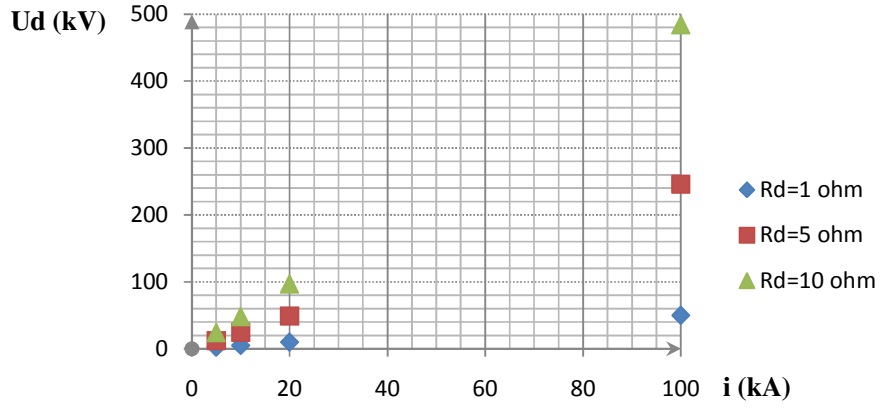
#### 1.4.4. Direkt yıldırım düşmesi ile direkte oluşan aşırı gerilimlerin karşılaştırılması

Faz ve koruma hatlarının empedansları  $Z = Z_o = 300 \Omega$  kabul edilmesi koşulu ile direğin topraklama direnci ve darbe akımlarının değişimine bağlı direkte oluşması öngörülen gerilim değerleri sırasıyla yıldırımın faz hattına, direğe ve koruma hattına düşmesi durumlarına göre incelenmiştir.

Tablo 1.1: Yıldırımın faz hattına düşmesi durumunda direkte meydana gelen gerilim değerlerinin devre parametrelerine göre değişimi

$U_d$ (kV)	$R_d=1\Omega$	$R_d=5\Omega$	$R_d=10\Omega$
$i=5$ kA	2,49	12,30	24,19
$i=10$ kA	4,98	24,59	48,39
$i=20$ kA	9,97	49,18	96,77
$i=100$ kA	49,83	245,90	483,87

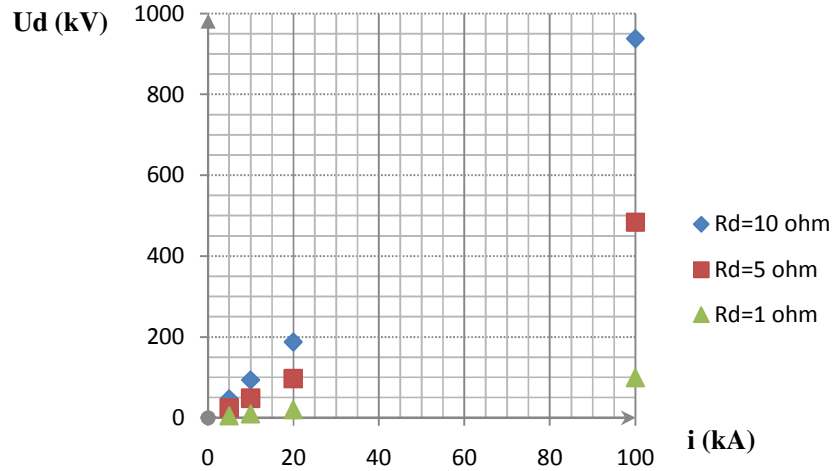
Tablo 1.1’de elde edilen değerler doğrultusunda Şekil 1.13, Tablo 1.2’de elde edilen değerler doğrultusunda Şekil 1.14, Tablo 1.3’te elde edilen değerler doğrultusunda da Şekil 1.15 grafikleri çizilmiştir.



Şekil 1.13: Yıldırımın faz hattına düşmesi durumunda direkte meydana gelen gerilim değerlerinin  $R_d$ 'ye bağlı olarak yıldırım akımıyla değişimi

Tablo 1.2: Yıldırımın direğe düşmesi durumunda direkte meydana gelen gerilim değerlerinin devre parametrelerine göre değişimi

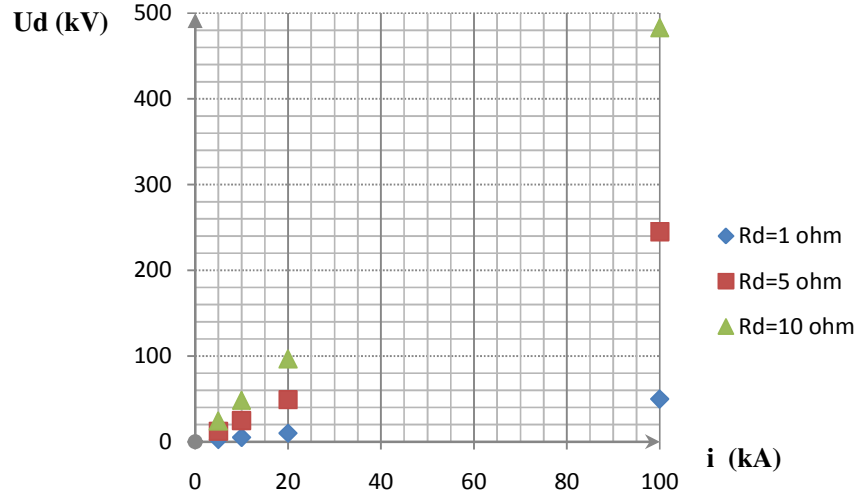
$U_d$ (kV)	$R_d=1\Omega$	$R_d=5\Omega$	$R_d=10\Omega$
$i=5$ kA	4,97	24,19	46,88
$i=10$ kA	9,93	48,39	93,75
$i=20$ kA	19,87	96,77	187,50
$i=100$ kA	99,34	483,87	937,50



Şekil 1.14: Yıldırımın direğe düşmesi durumunda direkte meydana gelen gerilim değerlerinin  $R_d$ 'ye bağlı olarak yıldırım akımıyla değişimi

Tablo 1.3: Yıldırımın koruma hattına düşmesi durumunda direkte meydana gelen gerilim değerlerinin devre parametrelerine göre değişimi

$U_d$ (kV)	$R_d=1\Omega$	$R_d=5\Omega$	$R_d=10\Omega$
$i=5$ kA	2,49	12,29	24,19
$i=10$ kA	4,98	24,59	48,30
$i=20$ kA	9,96	49,00	96,60
$i=100$ kA	49,80	245,00	483,00



Şekil 1.15: Yıldırımın koruma hattına düşmesi durumunda direkte meydana gelen gerilim değerlerinin  $R_d$ 'ye bağlı olarak yıldırım akımıyla değişimi

Görüldüğü üzere direkte oluşabilecek en yüksek aşırı gerilim değeri yıldırımın direkte düşmesi durumunda görülür. Ayrıca direğin topraklama direnci arttıkça oluşabilecek gerilim değeri yükselir.

### 1.5. Yıldırıma Karşı Topraklama

Yıldırım düşmesi halinde işletme gereği gerilim altında bulunan iletkenlere geri atlamaları önlemek için işletme akım devresine ait olmayan bölümlerin topraklanmasıdır.  $R_d$  darbe topraklama direnci,

$$R_d \leq \frac{U_{da}}{I_d} \quad (1.14)$$

bağıntısını sağlayacak değerde ise, geri atlama olmaz. Burada,

$R_d$  : Direğin darbe topraklama direncini,

$U_{da}$  : İzolatör veya yalıtkanın darbe atlama gerilimini,

$I_d$  : Direkten geçen yıldırım akımının tepe değerini gösterir.

- Bir topraklayıcının darbe topraklama direnci,  $R_y$  yayılma direncinden farklıdır. Küçük boyutlu topraklayıcılarda darbe topraklama direnci, yaklaşık olarak yayılma direncine eşit alınabilir.
- Direk topraklama tesislerinde direğin çevresine yerleştirilen küçük uzunluktaki birkaç topraklayıcı çok uzun bir derin topraklayıcı veya yüzeysel topraklayıcıdan daha etkindir.
- Hava hatlarının koruma iletkenleri, hat boyunca faz iletkenleri üzerinden bağlama tesisine kadar gelmeli ve tesisin topraklamasına bağlanmalıdır. Açık hava merkezlerindeki demir yapılar, hava hattı direkleri gibi topraklanmalıdır.
- Ağaç direkli hava hatlarında koruma iletkenleri kullanıldığında her direkte mümkün değilse en az 300 m aralıklarla topraklanmalıdır.
- Yıldırıma karşı koruma tesislerinden çıkan toprak iletkenleri en kısa yoldan ve köşe yapmadan bağlanmalıdır.
- Parafudrlar veya ark boynuzları ile uygun bir korumanın sağlanabilmesi için en kısa yoldan ve olabildiğince düşük topraklama direnci ile topraklanmalıdır.

Tablo 1.4: Toprak iletkeni bulunan hava hattı direklerinde direktten geçen yıldırım akımları

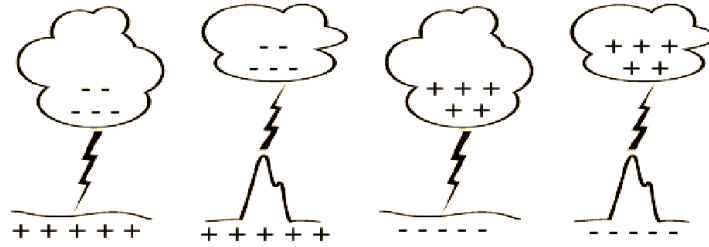
$I_{da}$ (kA)	20	30	40	50	60
Bir direğe düşen tüm yıldırım akımlarının yüzdesi olarak aşılmayan değerler	80	90	95	98	99

Yıldırım akım şiddetleri üzerine bir görüş elde etmek için Tablo 1.4'te hava hattı direklerinden geçen bazı yıldırım akım değerleri verilmiştir. Bu tablodan görüldüğü gibi, örneğin bir direğe düşen tüm yıldırımların % 95'inde bu direkten geçen yıldırım akımlarının şiddetinin 40 kA'ı aşmadığı belirtilmektedir.

## 1.6. Yıldırım Oluşumu

Yıldırım, üzerinde çok kapsamlı çalışmaların yapıldığı doğal bir olaydır. Elektrik sistemlerindeki geçici aşırı gerilimlere neden olan ana etkenlerden biridir. Yıldırım çarpmalarına karşı koruma planlamasının yapılması için yıldırımın doğru anlaşılması zorunludur. Böylece oluşabilecek istenmeyen durumların önüne geçilmiş olur.

Yıldırım, bulut ile yer arasındaki elektrik yüklerinin atlama olayı olarak ifade edilmektedir. Atlamanın gerçekleşmesi için havada asılı duran bulutlar ile yer arasındaki hava iyi bir iletken olmadığından yaklaşık 100.000.000 voltluk bir gerilim oluşması gerekmektedir. Bulutların yıldırım üretmesi için önce elektrik yükleri ile şarj olması gerekmektedir. Fırtına bulutunun yere yakın olan kısmı negatif yüklerle yüklenirken (bu durum her zaman için geçerli değildir), yer pozitif yüklerle yüklenir. Aradaki potansiyel fark artınca yalıtkan olan havanın delinmesiyle buluttan veya yerden başlayan boşalma olur. Atmosfer olaylarında bulut ile bulut arasında oluşan boşalmaya şimşek, bulutla yer arasında oluşan boşalmaya da yıldırım denir.



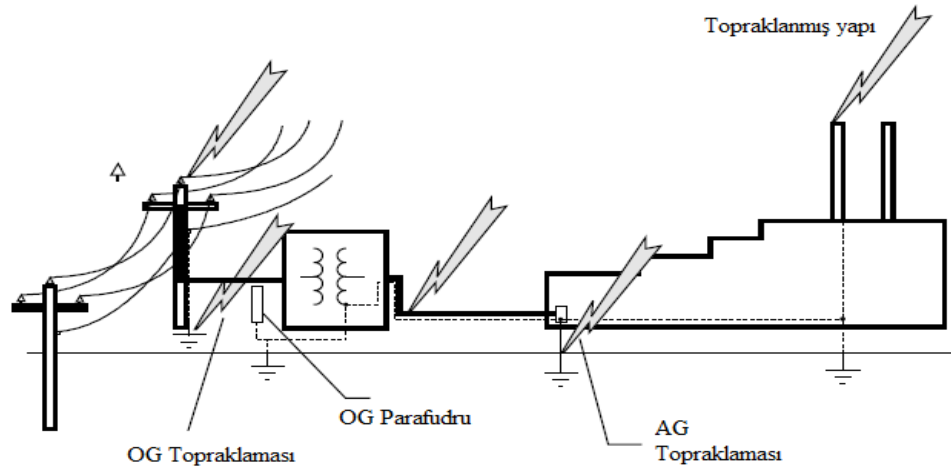
Şekil 1.16: Sırasıyla akış yönü aşağıya doğru negatif, akış yönü yukarı doğru pozitif, akış yönü aşağıya doğru pozitif, akış yönü yukarıya doğru pozitif yıldırım tipleri

Araştırmalar yıldırım oluşumu sırasında bilinen Şekil 1.16'daki gibi dört çeşit yıldırım tipi olduğunu ortaya koymaktadır; (-) inişli, (-) çıkışlı, (+) inişli ve (+)

çıkışlı. Bu yıldırım tipleri elektrik yüklerinin boşalma yönü ve yükün negatif veya pozitif olmasına göre belirlenir. Yukarıya çıkan yıldırımlar yerde biriken yüklerin buluta doğru boşalması şeklinde oluşurken, aşağı inen yıldırımlar ise buluttaki yükün toprağa doğru boşalması ile oluşur. Bulutların negatif yüklü olduğu durumlarda yerin pozitif yüklü sivri bölgelerinden bulutun negatif yüklü bölgesine doğru başlayan ön boşalmalar şeklinde görülür. Boşalmalar genelde düz araziler üzerindeki yüksek yapılardan veya yeryüzündeki yüksek dağlık kesimlerden başlar. Boşalma olgunlaştığında akım değeri 10.000 Amperi bulur [8,9].

### 1.6.1. Elektrik tesislerine etkisi

Elektrik tesislerinde faz iletkenlerine yıldırımın doğrudan etkisi ile çok yüksek aşırı gerilimler meydana gelir. Bunun dışında yıldırım akımlarının toprak iletkeni yoluyla sisteme girmesi sonucu da benzer aşırı gerilimler oluşabilir. Şekil 1.17’de noktalı çizgilerle belirtilmiş olan topraklama sistemlerinden yıldırım darbelerinin sisteme girmesi mümkündür.



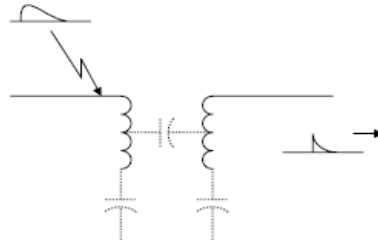
Şekil 1.17: Yıldırım darbelerinin yapıları etkileyeceği noktalar [3]

Önem verilmesi gereken diğer bir konu da faz iletkenine düşen yıldırım darbelerinin işletmedeki transformatöre bağlı parafudrlar yoluyla toprak devresine iletilmesidir. Böylece tahmin edilenden daha fazla yıldırım darbesi yük tarafında görülebilir. Aşırı gerilim nedeniyle oluşan akımların çoğu çarpmaya en yakın toprak bağlantısına

yayılırken, çarpmanın ilk birkaç saniyesinde bağlı bulunan diğer toprak iletkenlerine de aşırı akımlar akacaktır.

Bir faza doğrudan yıldırım düşmesi ile çarpma noktası yakınındaki hatlarda atlamalar görülür. Sadece bir darbe gerilimi oluşturmakla kalmaz, gerilim çökmeleri ve kesintilerin eşlik ettiği hatalara yol açar. Gerilim darbesi hat boyunca dikkate değer bir mesafede iletilebilir, geçtiği direkler ve kule yapılarında çoklu atlamalara neden olur. Eğer uygun şekilde monte edilmiş aşırı gerilim koruyucular kullanılırsa, darbe, faz iletkeni üzerinden tutulur. Darbe akımı boyunca toprağın etkisine bağlı olarak bazı akımlar yüke doğru akım yolu oluştururlar. Çarpma yakınındaki parafudrlar şiddetli koşullardan dolayı kullanılamaz hale gelebilir.

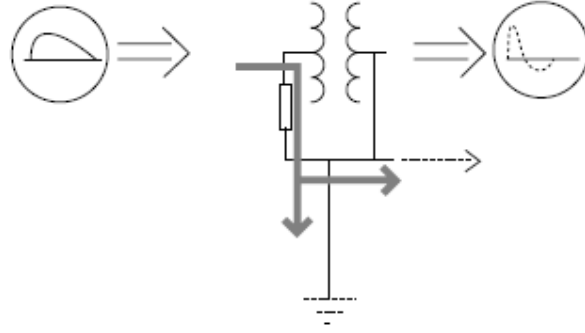
Bu alandaki birçok araştırmacı yıldırım darbelerinin, işletmedeki transformatörün kapasitif etkileşime girmesiyle, Şekil 1.18’de gösterildiği gibi şebekeden yük kısmına girdiğini kabul eder. Sargılar arası kapasitif etki yüksek frekans dalgalanmaları için elverişli bir yol oluşturur. Bu da transformatör sekonderinde dönüştürme oranının elverdiği gerilim değerinden çok daha yüksek bir gerilimin oluşmasına neden olur.



Şekil 1.18: Transformatördeki kapasitif etki

Kapasitif kuplajın meydana geldiği seviye büyük ölçüde transformatörün tasarımına bağlıdır. Sargı - toprak kapasitesi, sargı-sargı kapasitesinden daha büyük olabilir ve darbenin çoğu gerçekte ikinci sargıdan geçmek yerine topraktan geçer. Çoğu kez şebekenin primer dağıtım sistemine yıldırım düştüğünde, bazen osilasyonlu olan uzun bir darbe sekonder kısımdan gözlenir. Bu işletme transformatörü üzerinden Şekil 1.19’da gösterildiği gibi topraklama sistemlerine doğru oluşan iletim nedeniyledir.





Şekil 1.19: Yıldırım darbesinin işletme transformatörüne girmeden toprağa geçmesi

Yıldırım akımlarının topraklama sistemine girmesiyle meydana gelen belli başlı güç kalitesi problemleri;

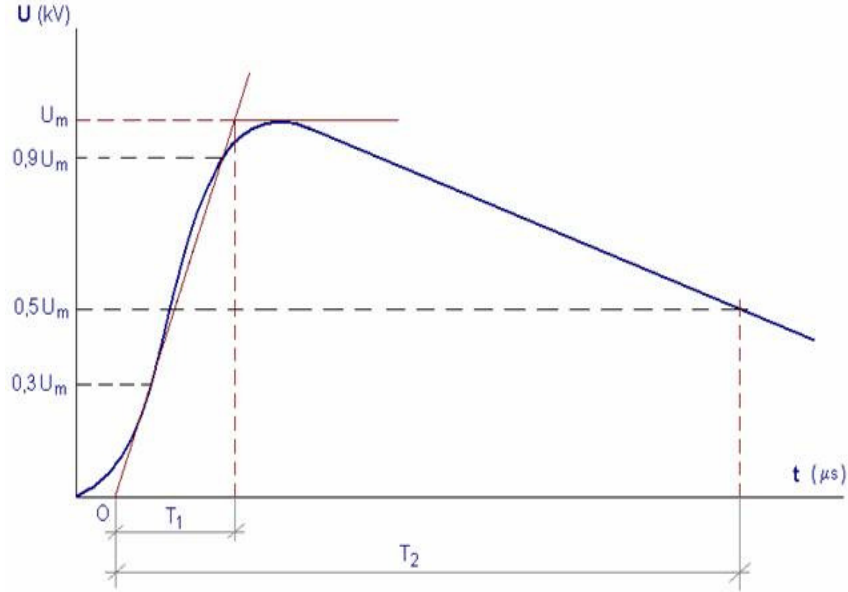
- 1) Kısmi topraklamanın potansiyelini diğer topraklamaya göre birkaç kV artırır. İki toprak referansı arasında bağlı hassas elektronik cihazlar (bir modem ile telefon sistemine bağlı bilgisayar gibi) çarpma sonucu oluşan gerilimlere maruz kaldıklarında arızalanabilirler.
- 2) Daha düşük dirençli topraklama sistemine geçerken, iletkenler üzerinde yüksek gerilim endüklerler.

Yapılan son çalışmalarla birlikte yıldırım ile ilgili genel kanı da değişmektedir. Yıldırımın şebekede sanılandan daha çok atlamalara neden olduğu, akım dalgalarının çok daha hızlı yayıldığı, ayrıca sürelerinin daha uzun olabileceği yapılan araştırmalarda gözlenmiştir. Bu sayede yıldırımdan korunmada kullanılan cihazların yeterli olabilecekleri düşünülürken arızalanma nedenlerine de açıklık getirilmiş olur.

### 1.7. Darbe Gerilim ve Akımı

Yıldırım darbe gerilimi eğrisi Şekil 1.20’de görüldüğü gibidir. Burada  $U_m$ , darbe geriliminin genliğini ifade eder. Yukarıdaki eğride  $T_1$  ve  $T_2$  sürelerinin bulunması için önce  $U_m$  geriliminin 0,3 ve 0,9 katı hesaplanıp bu noktalardan yatay eksene paraleller çizilerek eğri cephesini kesen noktalar bulunur. Bu noktaları birleştiren

doğru çizilerek, yatay ekseni ve dalğanın tepe noktasından yatay eksene çizilen paraleli kestirilir.



Şekil 1.20: Yıldırım dalgasının karakteristikleri

Yatay eksen üzerinde bulunan nokta darbe geriliminin anma başlangıç noktası olarak isimlendirilir. Tepe noktasından çizilen paralele bu doğrunun kesim noktasından aşağıya bir dikme indirilir. Bu dikmenin yatay ekseni kestiği nokta  $T_1$  noktasıdır. Sonra  $U_m$  geriliminin 0,5 katı hesaplanıp buradan yatay eksene eğrinin sırtına kadar uzanan bir paralel çizilir ve eğri sırtıyla kesişme noktası bulunur. Bu noktadan yatay eksene inilen dikmenin ekseni kestiği nokta  $T_2$  noktasıdır. Buna göre bir yıldırım darbe geriliminin aşağıdaki üç büyüklükle tanımlandığını ifade edebiliriz. Bunlar;

$U_m$  : Darbe gerilimi genliğidir, değeri standartlarda verilir, tolerans  $\pm \% 3$

$T_1$  : Anma cephe süresidir ve değeri  $1,2 \mu s \pm \% 30$

$T_2$  : Anma sırt yarı değer süresidir ve değeri  $50 \mu s \pm \% 20$

CEI60060-1 standardına göre 1,2/50  $\mu s$ 'lik bir gerilim ve 8/20  $\mu s$ 'lik akım değerlerinden meydana gelen bir sinyal gerçekleştirilir. 10/350  $\mu s$ 'lik değer de yüksek kapasiteli parafudrlarda kullanılmaktadır.

## **2. AŞIRI GERİLİMLERE KARŞI KORUMA**

Aşırı gerilimlere karşı elektrik ve elektronik donanımlarını korumak için birçok cihaz geliştirilmiştir. Ancak bu cihazlar esasen geçici aşırı gerilimleri bastırmaktan çok, kabul edilebilir seviyede tutar veya oluşan akımı toprağa yönlendirerek zararsız hale getirir.

Son kullanıcı kısmında kullanılan cihazların aşırı gerilimlere karşı korunmasındaki ana unsurlar;

1. Zayıf yalıtım üzerindeki gerilimi sınırlamak
2. Darbe akımlarını yükten başka bir yöne çevirmek
3. Darbe akımlarının yüke girişini tıkamak
4. Tüm donanımın topraklamasını birleştirmek
5. Darbe akımlarının topraklamalar arasından akmasını azaltmak ya da önlemek
6. Sınırlama ve tıkama ilkelerini kullanarak bir alçak geçiren filtre oluşturmaktır.

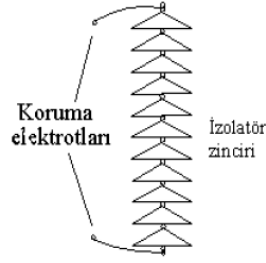
Bu unsurlar da koruma cihazlarının sistemin yapısına göre kullanılması ile hayata geçirilir [3].

### **2.1. Aşırı Gerilimlere Karşı Koruma Aygıtları**

Aşırı gerilimlere karşı koruma amacıyla kullanılan aygıtlar, koruma elektrotları (ark boynuzları), atlama aralıklı değişken dirençli parafudrlar ve metal-oksit parafudrlar olarak sınıflandırılabilirler.

#### **2.1.1. Koruma elektrotları**

Ark boynuzları olarak da bilinen koruma elektrotları, genel olarak karşılıklı iki metal çubuktan oluşan, basit elektrotlardır. Koruma elektrotları Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: İzolator zinciri ve koruma elektrotları [2]

Koruma elektrotları basit yapıda olmaları nedeniyle zincir izolatorleri, transformatör geçit izolatorleri gibi aygıtlara kolaylıkla yerleştirilebilirler. İşletme gerilimlerine göre ayarlanması gereken atlama aralık mesafeleri Tablo 2.1’de belirtilmiştir. Ancak dik cepheli darbe gerilimlerinde gecikmeli çalışmaları ve elektrotlar arasında oluşan arkın sönmemesinin, enerjinin kesilmesine bağlı olması nedeniyle kısa devre etkisi gösterirler ve güvenli bir koruma aygıtı olarak değerlendirilemezler. Bu nedenle daha çok yedek koruma aygıtları olarak kullanılırlar. Ayrıca izolator yüzeyinde gerçekleşebilecek bir arkı uzaklaştırarak izolatorün korunmasına katkıda bulunurlar.

Tablo 2.1: Koruma elektrodu atlama aralıkları

İşletme Gerilimi (kV)	Atlama aralığı (cm)
6	6
10	8,6
15	11,5
30	22
60	40
150	83
380	230

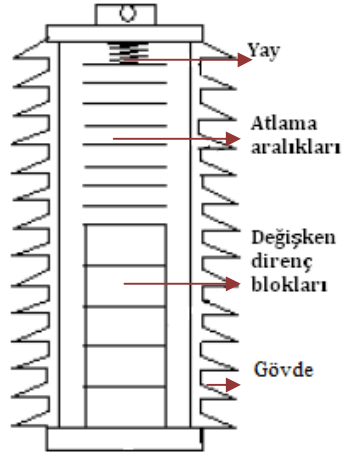
### 2.1.2. Atlama aralıklı değişken dirençli parafudrlar

Parafudrlarda dağıtıcı olarak daha eski teknoloji olan lineer olmayan direnç elemanı silisyum karbür (SiC) kullanılmaktaydı [3]. TEDAŞ 1999 yılından bu yana eski bir

teknoloji ile üretilen parafudrların kullanımını kaldırmıştır. Ancak karakteristik özelliklerine kısaca değinilmesinde fayda vardır.

Atlama aralıklı değişken dirençli parafudrlar, genel olarak porselen bir gövde içine yerleştirilmiş, seri atlama elektrotları (eklatörler) ve bunlara seri bağlı değişken direnç bloklarından oluşurlar. Atlama elektrotları birbirlerinden katı yalıtkanlarla yalıtılmış metal disklerdir. İşlevleri, normal işletme geriliminde yalıtım düzeyini koruma; aşırı gerilimde ise iletimi sağlayıp, değişken dirençleri devreye sokmak ve darbe akımının geçişinden sonra akımı (ard akımı), sıfırdan geçişi sırasında kesmektir. Bu akım geçişleri sırasında elektrot yüzeylerinde ve destek yalıtkanlarında herhangi bir bozulma olmamalıdır.

Değişken dirençler, parafudrun aşırı gerilim sırasında küçük, işletme geriliminde ise büyük direnç göstermesini sağlarlar. Değişken dirençler, temel olarak silisyum karbür, sodyum silikat veya kaolen gibi katkı maddelerin karıştırılarak sıkıştırılmasıyla elde edilir.



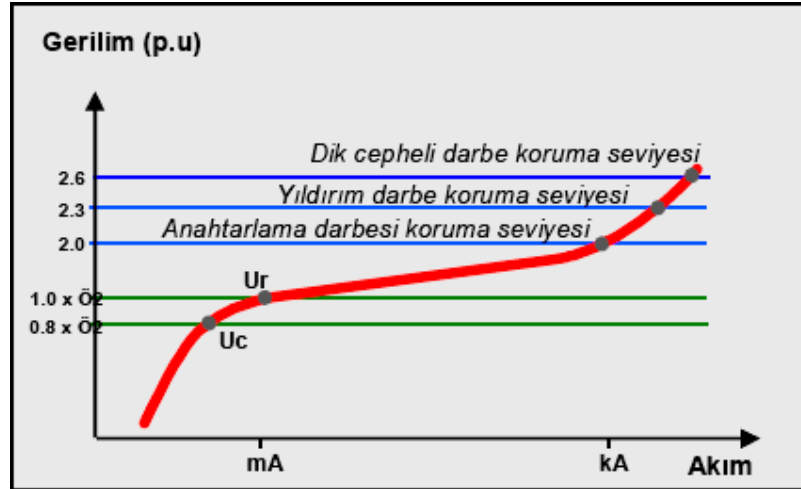
Şekil 2.2: Atlama aralıklı değişken dirençli parafudr iç yapısı

### 2.1.3. Metal oksit parafudrlar

Metal Oksit tip atlama aralıksız parafudrlar, normal işletme geriliminde enerji sistemine olumsuz etkisi olmayan ancak şebekedeki tipik dalgalanmalarda olası

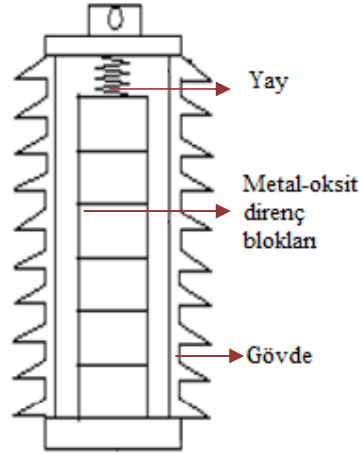
hasara meydan vermeyecek şekilde tasarlanmışlardır. Atlama aralıksız parafudrların bu özelliği yüksek değişkenlik gösteren metal oksit dirençlerin gerilim-akım karakteristiklerinden kaynaklanmaktadır. Bu değişkenlik özelliği SiC parafudrlara göre çok daha yüksektir. Yapısında seri eklatör bulunmayan çinko oksit (ZnO) direnç elemanlarından oluşurlar. Seri eklatörün bulunmaması, yapısal ve elektriksel sorunları da ortadan kaldırır. Kirlenmeye karşı dayanıklıdırlar.

Metal oksit parafudrların ana elemanı olan metal oksit dirençler, başta çinko oksit (ZnO) olmak üzere, az miktarda bizmut oksit ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ), mangan oksit ( $\text{MnO}_2$ ) ve antimon oksit ( $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ) içerir. Bir metal oksit direncin akım-gerilim karakteristiği silisyum karbürü (SiC) göre daha yatık ve Şekil 2.3'teki gibidir. Şekil 2.4'te iç yapısı görölmektedir. Çinko oksit parafudrların koruma düzeyi, eklatörlü klasik parafudrlara göre daha düşük ve kararlıdır; enerji yok etme yetenekleri ise daha büyüktür [2,5].



Şekil 2.3: MOV parafudrun çalışma eğrisi [10]

- $U_r$  : Parafudr beyan gerilimi
- $U_c$  : Sürekli çalışma gerilimi (COV)
- $U_m$  : Maksimum sistem gerilimi
- $I_n$  : Anma boşalma akımı



Şekil 2.4: Metal oksit parafudr iç yapısı

Seramik gövdeli parafudrlarda izolatör içinde az da olsa bir boşluk vardır ve buraya nem içermeyen bir gaz doldurulur. Ayrıca bu boşluğa dış ortamdaki havanın girmemesi için izolatörün iç kısmına açılan giriş ve çıkışlar kapatılır. Olası yüksek basınçlı gazları dışarı üfleyerek patlamasını engelleyen basınç bırakma tertibatına da sahiptirler. Polimer gövdeli parafudrlarda parafudr iç kısmında herhangi bir boşluk bulunmadığından sızıntı olasılığı da yoktur. Şekil 2.5'te polimer ve seramik gövdeli parafudrlar görülmektedir.

Günümüzde metal-oksit parafudrlarda porselen gövde yerine polimer gövde kullanılması tercih edilmektedir. Porselen gövdenin taşıma, montaj ve işletim olumsuzluklarının yanında polimer gövde birçok avantajı birlikte sunmaktadır:

- Hidrofobik (su tutmaz) özellikte oluşu, en sert iklim koşullarında dahil koruma sağlar.
- Etek şekli sayesinde her türlü nem ve pisliğin parafudr yüzeyinde birikmesini engeller.
- Polimer yapıdan ileri gelen mekanik dayanıklılık sayesinde taşıma ve montajda kolaylık sağlar.
- Endüstriyel alanlar gibi aşındırıcı atmosfer koşullarına dayanıklıdır.
- Uzun işletim ömrüne sahiptir.

- Güvenli aşırı yükleme değerlerine sahiptir.
- Uzun süre bakım gerektirmez [10,11].



Şekil 2.5: Polimer ve seramik gövdeli parafudrlar

#### 2.1.4. Yardımcı elemanlar

Parafudrların temel parçalarından olmayan fakat önemli olan parafudr ayırıcısı, darbe sayıcı, bağlantı elemanları, korona halkaları ve terminalleri de yardımcı elemanlar olarak sayabiliriz.

Parafudr ayırıcıları orta gerilim parafudrları ile birlikte toprak ucuna bağlanarak kullanılırlar. Ayırıcıların toprak bağlantısı esnek ve uzun bir kabloyla yapılmalı, parafudr bağlantı kelepçesi yalıtılmalıdır. Orta gerilim dağıtım sistemlerindeki enerji nakil hatlarında bir aşırı gerilim dalgalanması halinde, parafudr kısa devre özelliği göstererek hattın gerilim seviyesinin tehlikeli bir şekilde yükselmesini önler. Ancak gerilim seviyesi normale döndükten sonra parafudr üzerinden akan arıza akımı devam ederse, parafudr ayırıcısı devreye girerek toprak devresini hattan ayırır ve arıza akımını keser. Böylece hattın kısa devre olmasını engellemiş olur. Eğer sistemde parafudr ayırıcısı olmaz ise parafudr iç bölümü de kısa devre olur, hat kesicisi arıza ihbarı ile açarak parafudr yenisi ile değiştirilinceye kadar sistem enerjisiz kalır [12].



Darbe sayıcı ise belirli bir değerin üzerindeki akım darbelerinin sayılmasını, diğer bir deyişle parafudrun çalışma sayısının görülmesini sağlar.

## **2.2. Parafudrların Seçimi**

Parafudrlar anma gerilimleri, darbe boşalma akımları, kısa devre yüklenme yetenekleri ve işletme koşullarına göre seçilirler. Bir parafudrun anma gerilimi ile artık gerilimi ve çalışmaya başlama gerilimi arasında belirli bağıntılar vardır.

### **2.2.1. Anma gerilimleri**

Bir parafudrun anma gerilimi, parafudr üzerinde yazılı olan, faz-toprak bağlantıları arasında müsaade edilen en yüksek alternatif gerilimin etkin değeridir. Yıldız noktası doğrudan doğruya topraklı olmayan şebekelerde, faz-toprak arızası meydana geldiğinde, diğer sağlam fazların toprağa göre gerilimleri faz arası gerilime kadar yükselir. Bu nedenle bu tip şebekelerde bir faz iletkeni ile toprak arasına bağlanan parafudrun  $U_r$  anma geriliminin, müsaade edilen en yüksek işletme gerilimi (faz arası)  $U_c$  kadar olması gerekir ( $U_r = U_c$ ).

Yıldız noktası etkili topraklı olan şebekelerde ise, bir faz-toprak arızası olunca, topraklama direncinin tam sıfır değerinde olmaması nedeniyle, yıldız noktası biraz kayabilir. Bunun sonucunda diğer sağlam fazların toprağa göre gerilimleri faz arası gerilimin % 80'ini geçmez. Böyle bir şebekede kullanılacak parafudrun  $U_r$  anma geriliminin, müsaade edilen en yüksek işletme geriliminin ( $U_c$ ) % 80'i kadar olması gerekir ( $U_r = 0,8 U_c$ ).

### **2.2.2. Darbe boşalma akımları**

Darbe boşalma akımları, parafudrun çalışması sırasında geçen darbe akımının tepe değeridir. Değişken dirençli parafudrlar, 8/20 mikrosaniyelik anma darbe boşalma akımlarına göre 1.5, 2.5, 10, 15 ve 20 kA olmak üzere altı sınıfa ayrılırlar.

Alçak gerilim şebekelerinde 1.5 kA'lık, 30 kV'a kadar olan orta gerilim şebekelerinde duruma göre 2.5 kA veya 5 kA'lık, daha üst gerilimlerde 10 kA ila 20 kA'lık parafurlar kullanılır.

### **2.2.3. Kısa devre yüklenme yeteneği**

Parafudrların seçiminde kullanılan diğer bir büyüklük, kısa devre yüklenme yeteneğidir. Genel olarak parafudrdan geçen hata akımları, şebekenin en olası maksimum hata akımından daha küçüktür. Bu nedenle parafudrun kısa devre yüklenme yeteneği daima şebekenin maksimum kısa devre akımından küçüktür.

Yıldız noktası yalıtılmış veya söndürme bobini üzerinden topraklanmış şebekelerde faz ve yıldız noktası parafudrlarının kısa devre yüklenme akımları 5, 10 ve 20 kA, yıldız noktası etkili topraklanmış şebekelerde ise 20 ve 40 kA'dır.

### **2.2.4. İşletme koşulları**

Parafudrların seçiminde dikkat edilecek hususlardan biri de işletme koşullarıdır. Normal işletme koşulları; deniz seviyesinden yüksekliği 1000 m'den az, ortam sıcaklığının  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$  arasında olduğu, aşırı kirlenmenin söz konusu olmadığı ortamlar olarak tanımlanır. İşletme koşulları bakımından yüksek gerilim aygıtları için normal, orta, ağır ve çok ağır olarak dört kirlenme düzeyi tanımlanmaktadır.

### **2.2.5. Parafudrların yerleştirilmesi**

Parafudrlar yardımı ile etkin bir korumanın yapılabilmesi için, parafudr çalışma karakteristiği daima korunacak işletme aracının darbe karakteristiğinin altında olmalıdır. Çok yüksek eğilimli darbe gerilimleri, yani faz hattına yıldırım düşmesi veya yıldırımın düştüğü yakın yerlerde geri beslemeli aşırı gerilimlerin oluşması halinde bu şart her zaman sağlanamayabilir. Bu nedenle transformatör istasyonları yıldırıma karşı etkili bir şekilde korunur. Ayrıca direk ve transformatör istasyonunun toprak geçiş direnci mümkün olduğu kadar küçük tutulur.

## 2.2.6. Parafudrların koruma mesafesi

Parafudr ile korunacak işletme cihazı arasında daima belirli bir  $l$  mesafesi vardır. Dolayısı ile korunacak işletme aracı parafudr uçlarındaki gerilimden daha büyük bir gerilime maruz kalır. Bir parafudrun koruma mesafesi denilince parafudr ile korunacak işletme aracı arasında aşılmaması gereken  $l_{max}$  mesafesi anlaşılır.  $l_{max}$  mesafesi;

$$l_{max} = \frac{u_{dd} - (u_a + u_b)}{2S} v \quad (2.1)$$

Burada;

$u_{dd}$  : Anma darbe dayanım gerilimi (kV)

$u_a$  : Parafudrun artık gerilimi (kV)

$u_b$  : Parafudrun bağlantı iletkenlerindeki gerilim düşümü (kV)

$S$  : Yürüyen gerilim dalgasının eğimi (kV/ $\mu$ s)

$v$  : Yürüyen gerilim dalgasının yayılma hızı (Hava hatlarında  $v = 300$  m/ $\mu$ s, kablolarda  $v = 150$  m/ $\mu$ s'dir.)

$u_b$  gerilim düşümü parafudrun faz tarafındaki bağlantı iletkeni ile toprak tarafındaki bağlantı iletkenindeki gerilim düşümlerinin toplamıdır. Bunun değeri iletkenlerin endüktansına ve boşalma akımının eğimine bağlıdır. Eğer faz tarafındaki bağlantı iletkeninin uzunluğu ihmal edilirse,  $u_b$  gerilim düşümü toprak tarafındaki bağlantı iletkeninin uzunluğuna ( $a$ 'ya) bağlı olur.

$$u_b = a \cdot L' \frac{di}{dt} \quad (2.2)$$

$L'$  için  $1 \mu$ H/m alınabilir.  $u_b$  gerilim düşümünün büyüklüğü çeşitli darbe akımları ve bağlantı iletkeni uzunluğuna göre Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2: Çeşitli darbe akımları ve bağlantı iletkeni uzunluğuna göre  $u_b$  gerilim düşümleri

8/20'lik darbe akımı (kA)	Yaklaşık eğim $\Delta i/\Delta t$ (kA/ $\mu$ s)	$u_b$ gerilim düşümü a = 5 m için (kV)	$u_b$ gerilim düşümü a = 10 m için (kV)
5	0.6	3	6
10	1.2	6	12
20	2.5	12	25

Parafudrun yerleştirildiği yer ile korunacak işletme aracı arasındaki  $l_{max}$  mesafesi Tablo 2.3'te verilen değerlerden büyük olmamalıdır [5,11].

Tablo 2.3: Şebeke anma gerilimine göre  $l_{max}$  mesafesi

Şebeke anma gerilimi (kV)	$l_{max}$ (m)
30 kV'a kadar	10-15
45-110	15-20
220-380	20-30

### 2.2.7. Parafudrların topraklama direnci

Yurdumuzda oluşan yıldırımların en fazla 20 kA akım taşıdığı kabul edilmektedir. Yıldırım akımının isabet ettiği noktadan iki tarafa yayıldığı kabulü ile bir yönde yayılan yürüyen dalganın 10 kA akım taşıdığı anlaşılır. Yürüyen dalga parafudra ulaşıncaya kadar çeşitli noktalarda oluşan boşalmalarla zayıflar.

Dağıtım trafoları alçak gerilim tarafının 20 kV darbe gerilimi ile denendiği gözönüne alınırsa parafudrlarda boşalma meydana geldiğinde, parafudr topraklama direncinde oluşan gerilim, AG tarafında en büyük darbe gerilimini aşmamalıdır. Bu görüş ile  $R = 20 \text{ kV} / 10 \text{ kA} = 2 \text{ ohm}$  bulunur. Topraklayıcıların darbe topraklama direnci, yayılma direncinden farklı ise de küçük boyutlu topraklayıcılarda bu iki değer eşit alınabilir [13].

## 2.3. Yıldırımdan Koruma Sistemleri

### 2.3.1. Yapıların sınıflandırılması

Yapılar, yıldırım boşalması sonucu ortaya çıkan etkilere göre sınıflandırılır. Yıldırımın tehlikeli olabilecek doğrudan etkileri; yangınlar, mekanik hasar, insan ve hayvanlarda yaralanmalar ile elektrik ve elektronik donanımlarda hasar ve buna bağlı olarak bilgisayar, kontrol ve güç sistemleri için tehlike oluşturarak hizmet kayıplarına yol açabilir. Yıldırımın etkileri paniğe yol açabilir ve ek olarak patlamalara ve radyoaktif malzemelerin, kimyasal ürünlerin, zehirli maddelerin, biyokimyasal kirleticilerin, bakteri ve virüslerin yayılmasına da sebep olabilir.

- a) Genel yapılar: Genel yapılar, ticari, endüstriyel, tarım, eğitim veya mesken olarak alışlagelmiş amaçlarla kullanılan yapılardır.
- b) Özel yapılar: Özel yapıların dört tipi için açıklamalar aşağıda verilmiştir.

- 1- Sınırlı tehlikesi olan yapılar: İnşaat malzemesi, içindekiler veya kullananların yapının tüm hacmini yıldırım etkilerine karşı savunmasız duruma getirdiği yapılardır.
- 2- Çevresi için tehlikeli yapılar: İçindeki tehlikeli malzemeler, yıldırım çarptığında çevresi için tehlikeli olan yapılardır.
- 3- Sosyal ve fiziksel çevre için tehlikeli yapılar: Yıldırım çarpması sonucu biyolojik, kimyasal ve radyoaktif yayımlara sebep olan yapılardır.
- 4- Çeşitli yapılar: Özel tasarımı bir yıldırımdan korunma sisteminin (YKS) düşünülebileceği yapılardır. Bu tip yapılara örnek 60 m'den yüksek yapılar, çadırlar, kamp alanları, geçici tesisler ve inşaat halindeki yapılardır [14,15].

### 2.3.2. Yıldırım parametreleri

YKS'nin boyutlandırılmasında kullanılan yıldırım akımı parametreleri: Yıldırımın mekanik ve ısı etkileri, akımın tepe değeri ( $I$ ), toplam yük ( $Q_{top}$ ), darbe yükü ( $Q_{darbe}$ ) ve özgül enerji ( $W/R$ ) ile ilişkilidir. Bu parametrelerin en yüksek değerleri pozitif boşalmalarda meydana gelir.

### 2.3.3. Yıldırımdan koruma sistemlerinde koruma seviyesinin seçilmesi

Bir koruma seviyesinin seçilmesindeki amaç, yapıya veya korunan hacme doğrudan yıldırım arkı ile olacak hasar tehlikesini kabul edilebilir en yüksek düzeyin altına indirmektir. Tablo 2.4'te koruma seviyelerine göre yıldırım parametreleri verilmiştir.

Her bir yapı için hasar riski, yılda yapıya doğrudan yıldırım boşalma sıklığı ( $N_d$ ), yıldırım sonucu meydana gelecek hasarın olasılığı ve yapıya yıldırım boşalması sonucu ortaya çıkabilen olası hasarların ortalama bedeli dikkate alınarak tahmin edilebilir. Ayrıca dolaylı etkilerin dikkate alınması gereken durumlar da mevcuttur. YKS için temin edilecek yeterli koruma seviyesinin seçilmesi; korunacak yapıya doğrudan yıldırım boşalmasının beklenen sıklığı  $N_a$  ve yıldırım boşalmalarının kabul edilen yıllık sıklığı  $N_c$ 'ye bağlıdır.

Tablo 2.4: Koruma seviyelerine göre yıldırım akımı parametreleri

Yıldırım Parametresi	Koruma Seviyesi		
	I	II	III - IV
Akımın tepe değeri I (kA)	200	150	100
Toplam elektrik yükü $Q_{top}$ (C)	300	225	150
Darbe elektrik yükü $Q_{darbe}$ (C)	100	75	50
Özgül enerji W/R (kJ/ $\Omega$ )	10000	5600	2500
Ortalama diklik $di/dt$ % 30-90 (kA/ $\mu$ s)	200	150	100

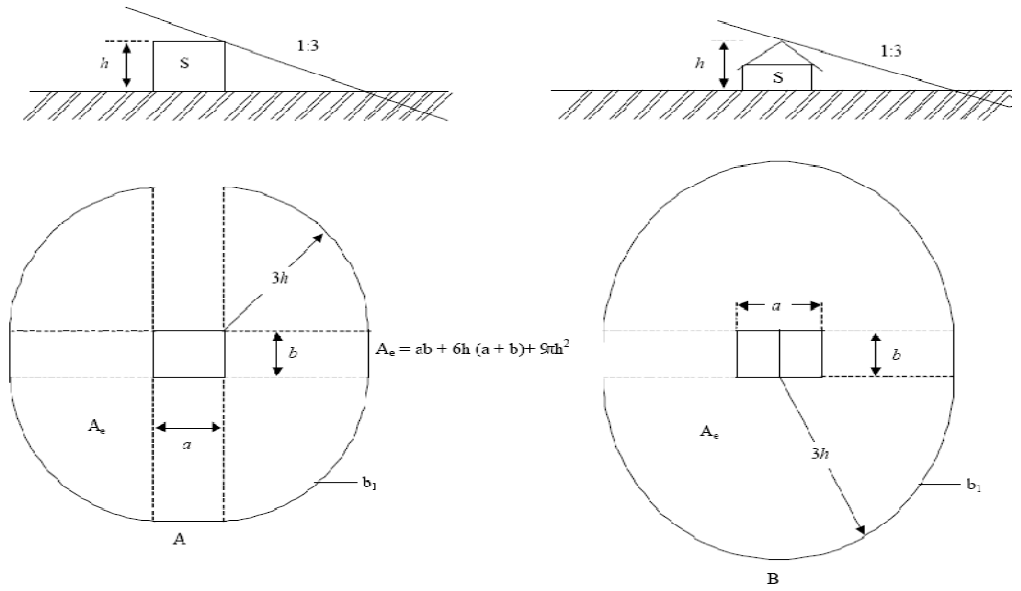
$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot C_e \cdot 10^{-6} \text{ (adet/yıl)} \quad (2.3)$$

Burada  $N_g$  toprağa yıldırım boşalma yoğunluğu,  $C_e$  çevre faktörü,  $A_e$  değeri ise  $m^2$  cinsinden yapının eşdeğer toplama alanı olmakla birlikte Şekil 2.6 ile gösterilmektedir.  $T_d$  ise Meteoroloji haritalarından alınan yılda yıldırımlı gün sayısı olup, Şekil 2.7 'deki harita kullanılmaktadır.

$$N_g = 0,04 \cdot T_d^{1,25} \text{ yıldırım / yıl.km}^2 \quad (2.4)$$

$$A_e = ab + 6h(a+b) + 9\pi h^2 \quad (2.5)$$

Çevresinde başka yapı veya cisim (ağaç vb.) bulunmayan yapılar için  $A_e$  eşdeğer toplama alanı; toprak yüzeyi ile, yapının en üst noktasından 1/3 eğimli olan ve yapı etrafında dönen doğrusal hattın kesişmesi ile elde edilen sınır çizgisi ( $b_1$ ) içinde kalan alandır. Yapı yüksekliği  $h$  olmak üzere, yapıdan  $3h$  uzaklığında bulunan bir alan içinde yapı çevresinde başka yapılar veya cisimlerin bulunması ve yapının bulunduğu alanın arazi şekli  $A_e$  değerini önemli ölçüde etkiler. Bu etki  $C_e$  çevre faktörü ile dikkate alınır.



Şekil 2.6: Düz arazideki bir yapının eşdeğer toplama alanı

Tablo 2.5:  $C_e$  çevre faktörünün değerlendirilmesi

Yapının çevresindeki durum	$C_e$
Yapının bulunduğu geniş bir alan içerisinde aynı veya daha yüksek yapıların veya cisimlerin (kule, orman) bulunması	0.25
Çevresinde küçük binalar bulunan yapı	0.5
Ayrık (izole) yapılar, yapının $3h$ mesafedeki çevresi içinde herhangi bir yapı veya cismin bulunmaması durumu	1
Tepe üstlerinde bulunan yapı	2

Tablo 2.5'te  $C_e$  çevre faktörünün alabileceği değerler gösterilmektedir. YKS'nin seçilmesi işleminin ilk adımı, incelenen yapının özelliklerine göre yeterli biçimde değerlendirme yapmaktır. Yapının boyutları ve yerleşimi, incelenen bölgede yıldırım fırtına aktivitesi (yıllık yıldırım boşalma yoğunluğu) ile birlikte yapının sınıflandırılması belirlenmelidir. Bu bilgiler, aşağıdaki hususları değerlendirmede temel oluşturur.

- Bir yapıya doğrudan yıldırım boşalmalarının beklenen sıklığı  $N_d$
- İncelenen yapı için kabul edilen boşalmaların yıllık ortalama sıklığı  $N_c$

$N_c$  değeri  $N_d$  değeri ile karşılaştırılmalıdır. Bu karşılaştırma, YKS'nin gerekli olup olmadığı ve gerekli ise hangi tip olacağı hakkında bilgi verir.  $N_d \leq N_c$  ise; YKS gereksizdir.  $N_d > N_c$  ise; etkinliği  $E \geq 1 - (N_c / N_d)$  olan bir YKS kurulmalı ve uygun koruma düzeyi Tablo 2.6'dan seçilmelidir.

Tablo 2.6: Koruma seviyelerine karşılık olan YKS etkinlik değerleri

Koruma seviyesi	YKS etkinliği, E
Koruma seviyesi I+ ek koruma önlemleri	$E > 0.98$
Koruma seviyesi I	$0.95 < E \leq 0.98$
Koruma seviyesi II	$0.90 < E \leq 0.95$
Koruma seviyesi III	$0.80 < E \leq 0.90$
Koruma seviyesi IV	$0 < E \leq 0.80$
Koruma gerekli değil	$E \leq 0$

Örnek olarak bazı ek koruma önlemleri aşağıda verilmiştir:

- Dokunma ve adım gerilimlerini sınırlayan önlemler,
- Yangın yayılmasını sınırlayan önlemler,
- Hassas cihazlarda yıldırım ile endüklenen aşırı gerilimlerin etkisini azaltan önlemler [14,16].

#### 2.4. Dış Yıldırımdan Koruma Sistemi

Bir yıldırım darbesinin korunan hacme girme olasılığı, doğru yakalama ucunun varlığı ile oldukça azalır. Yakalama ucu sistemleri; çubuklar, gerilmiş teller veya





kafes iletkenler ya da bu elemanların herhangi bir birleşiminden meydana gelebilir. Yakalama ucu sistemlerinin tasarımında aşağıdaki yöntemler kullanılabilir;

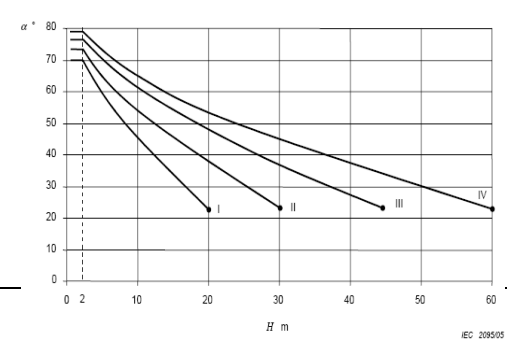
- Koruyucu açı yöntemi
- Yuvarlanan küre yöntemi
- Kafes yöntemi

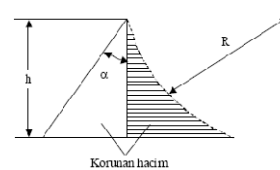
Her üç yöntem de bir YKS sisteminde kullanılabileceği gibi, belli birinin seçimi korunacak yapının hassasiyetinin ve uygunluğunun pratik değerlendirilmesine bağlıdır.

Koruyucu açı yöntemi, basit yapılar için veya daha büyük yapıların küçük bölümleri için uygundur. Bu yöntem YKS'nin seçilmiş koruma seviyesine karşı düşen yuvarlanan küre yarıçapından daha yüksek yapılar için uygun değildir. Yuvarlanan küre yöntemi karmaşık geometrili yapılar için uygundur. Kafes yöntemi ise genel amaçlar için olup özellikle düz yüzeylerin korunması için uygundur.

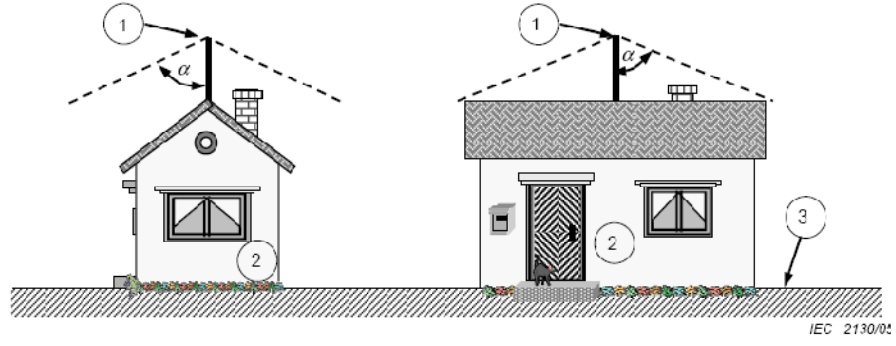
Tablo 2.7'de tüm yöntemler için koruma seviyelerine göre kullanılması gereken değerler verilmiştir [14]. Ayrıca Şekil 2.8, 2.9, 2.10 ve 2.11'de sözü edilen yöntemlerle ilgili sistemler resmedilmiştir.

Tablo 2.7: Koruma seviyelerine göre değerler [15]

Koruma Seviyesi	r(m)		Etkinlik E	Kafes genişliği (m)
I	20		%98	5x5
II	30		%95	10x10
III	45		%90	15x15
IV	60		%80	20x20

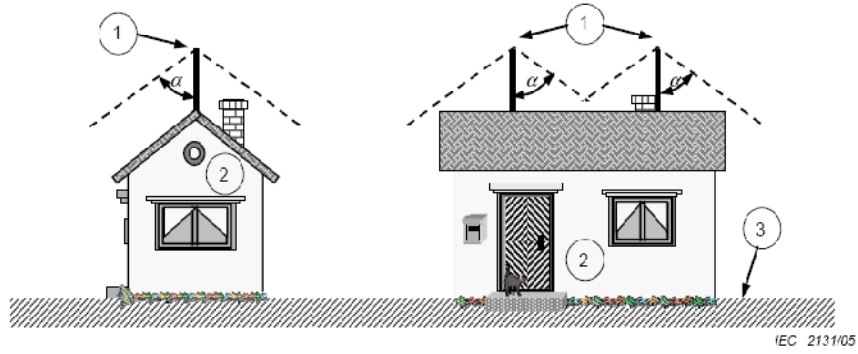


h = yakalama ucunun yerden yüksekliği  
r = yuvarlanan küre yarıçapı  
 $\alpha$  = koruma açısı



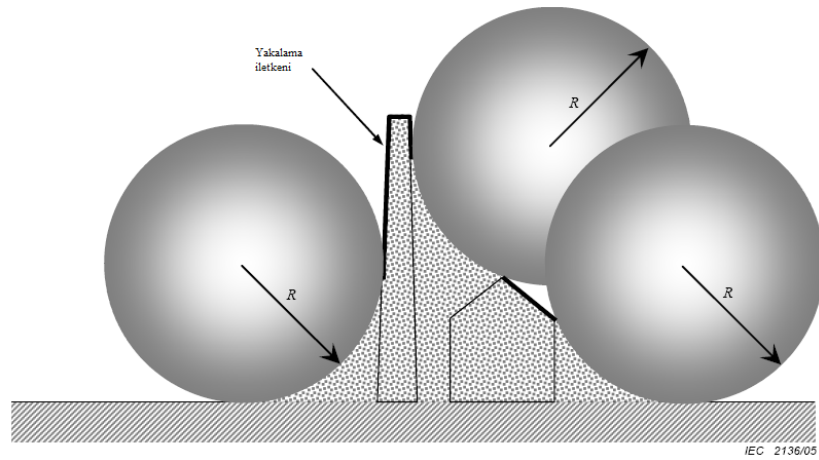
1-Yakalama ucu direği, 2-Korunan yapı, 3-Referans alınan düzlem

Şekil 2.8: Tek yakalama uçlu örnek [16]



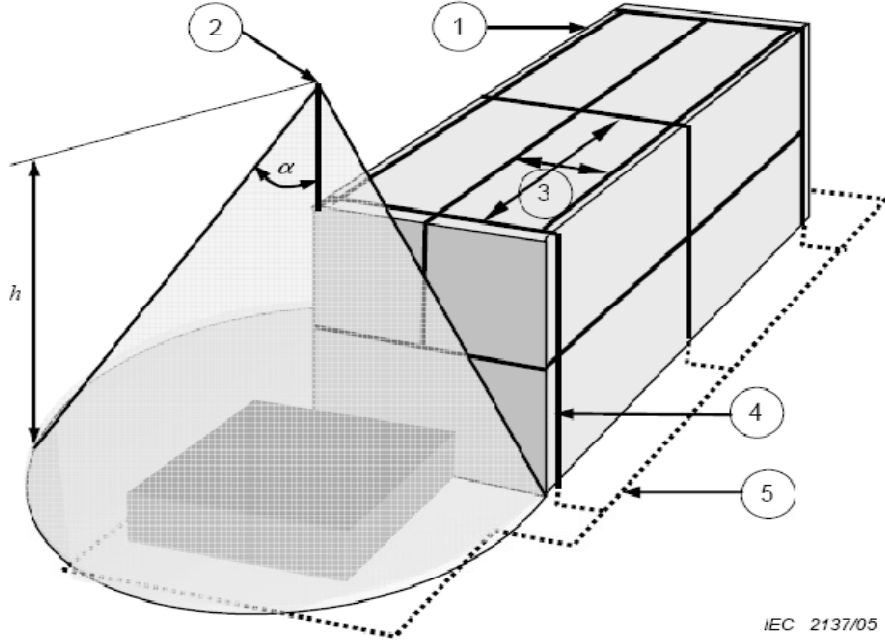
1-Yakalama ucu direği, 2-Korunan yapı, 3-Referans alınan düzlem

Şekil 2.9: İki yakalama uçlu örnek [16]



R- Tablo 2.4'e göre yuvarlanan küre yarıçapı

Şekil 2.10: Yuvarlanan küre yöntemine göre yakalama ucu iletkeni tasarımı [16]



1- Yakalama ucu iletkeni , 2-Yakalama ucu direği, 3-Kafes boyutları, 4-İniş İletkeni, 5-Halka iletkenli topraklama sistemi,  $\alpha$ -Koruma açısı, h-Toprak seviyesinden yakalama ucu direğine kadarki yükseklik

IEC 2137/05

Şekil 2.11: Dış yıldırımdan koruma sisteminin genel görünüşü [16]

## 2.5. $N_c$ Değerinin Hesaplanması

Bir yapıya yıldırım boşalmalarının kabul edilen sıklığı  $N_c$ ; aşağıda verilen formülle hesaplanır. Tablo 2.8, 2.9, 2.10'da ilgili değerler verilmiştir.

$$N_c = A.B.C \quad (2.6)$$

Burada:

A : Yapının yapılış tarzına (yapı türü, kullanılan malzeme) ilişkin bir bileşen

B : Yapının kullanımı ve içindeki eşyalarla ilgili bileşen

C : Zararlardan ileri gelen bileşen

### 2.5.1. Yapının yapılış tarzına ilişkin bileşen

$$A = A_1.A_2.A_3.A_4 \quad (2.7)$$

- $A_1$  : Duvarların yapılış tarzına ilişkin bileşen,  
 $A_2$  : Çatının yapılış tarzına ilişkin bileşen,  
 $A_3$  : Çatı kaplamasının türüne ilişkin bileşen,  
 $A_4$  : Çatı üzerindeki yapılara (baca vb) ilişkin bileşen.

Tablo 2.8: Yapının yapılış tarzına ilişkin bileşen

Duvarların yapılış tarzına ilişkin bileşen	$A_1$
Sürekli metal cephe kaplaması, takviyeli beton	5
Birbiri ile iletken olarak bağlanmış prefabrik yapı kısımları, çelik iskelet veya elektriksel sürekliliği olan beton,	4
Duvar, hasırsız beton, birbiri ile iletken olarak bağlanmayan prefabrik yapı kısımları,	0.5
Ahşap duvar veya yanabilir duvarlar	0.1
Çatının yapılış tarzına ilişkin bileşen	$A_2$
Çelik	4
Betonarme	2
Betonarme - Prefabrik	0.5
Ahşap	0.1
Çatı kaplamasının türüne ilişkin bileşen	$A_3$
Hasırlı beton	4
Galvanize sac	2
Kiremit	1
PVC kaplama, çatı kağıdı, preslenmiş levha	0.5
Yalıtkanlığı daha iyi preslenmiş çatı kaplamaları	0.05
Çatı üzerindeki yapılara (baca vb) ilişkin bileşen	$A_4$
Çatı üzerinde hiçbir şey yok	1.0
Çatı üzerindeki topraklanmamış metal kısımlar, antenler	0.6
Çatı üzerindeki elektrikli cihazlar	0.2
Çatı üzerindeki hassas elektrikli cihazlar (kamera, ısı algılayıcıları vb)	0.1

### 2.5.2. Yapının kullanımı veya içindeki eşyalarla ilgili bileşen

$$B = B_1 \cdot B_2 \cdot B_3 \cdot B_4 \quad (2.8)$$

- $B_1$  : İnsanların kullanımı ile ilgili katsayı,  
 $B_2$  : Binanın içinin türü ile ilgili katsayı,  
 $B_3$  : Binanın içindeki eşyaların değeri ile ilgili katsayı,

B<sub>4</sub> : Hasarın azaltılması için alınacak önlemlerle ilgili katsayı

Tablo 2.9: Yapının kullanımı veya içindeki eşyalarla ilgili bileşen

İnsanların kullanımı ile ilgili katsayı	B <sub>1</sub>
Panik tehlikesi yok	1.0
Orta değerli panik tehlikesi	0.1
Büyük panik tehlikesi	0.01
Binanın içinin türü ile ilgili katsayı	B <sub>2</sub>
Yanmaz, çok zor tutuşabilir	1.0
Tutuşabilir	0.2
Patlama tehlikesi olan tesisler (basıncılı kaplar vb)	0.1
İçinde parlayıcı, patlayıcı maddeler olan tesisler	0.01
Nükleer tesisler	0.01
Binanın içindeki eşyaların değerleri ile ilgili katsayı	B <sub>3</sub>
Çok basit donanım	1.0
Değerli donanım	0.2
Özellikle değerli donanım	0.1
Çok değerli donanım	0.01
Hasarın azaltılması için alınacak önlemlerle ilgili katsayı	B <sub>4</sub>
Otomatik yangın söndürme sistemi	10
Yangın azaltıcı donanım	5
Yangından korunma donanımı	2
Önlemsiz donanım	1

### 2.5.3. Zararlardan ileri gelen bileşen

$$C = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \quad (2.9)$$

C<sub>1</sub> : Yapının içindekiler nedeniyle çevreye verilebilecek zararlar,

C<sub>2</sub> : Yapının içindekiler nedeniyle yapının önemli altyapı hizmetlerinin yok olması,

C<sub>3</sub> : Diğer zararlar

Tablo 2.10: Zararlardan ileri gelen bileşen

Yapının içindekiler nedeniyle çevreye verilebilecek zararlar	$C_1$
Hiçbir	1.0
Orta	0.5
Yüksek	0.1
Çok yüksek	0.01
Yapının içindekiler nedeniyle yapının önemli altyapı hizmetlerinin yok olması	$C_2$
Kesilme yok	1.0
Kısmen kesilme	0.1
Tamamen kesilme	0.01
Diğer zararlar	$C_3$
Az	1.0
Orta	0.5
Yüksek	0.1
Çok yüksek	0.01

## 2.6. Dağıtım Şebekelerinin Topraklama Tiplerine Göre Sınıflandırılması

Kullanılan kodların anlamları aşağıda verilmiştir.

Birinci harf : Güç sisteminin toprağa bağlanması,

T : Bir noktanın toprağa doğrudan bağlanması,

I : Bütün gerilimli bölümlerin topraktan ayrılmış olması veya bir noktadan bir empedans üzerinden toprağa bağlanması.

İkinci harf: Tesisatın açıktaki iletken bölümlerinin toprağa bağlanması,

T : Güç sisteminin herhangi bir noktasının topraklanmasından bağımsız olarak açıktaki iletken bölümlerin elektriksel olarak doğrudan toprağa bağlanması,

N : Açıktaki iletken bölümlerin güç sisteminin topraklanmış noktasına elektriksel olarak doğrudan bağlanması (alternatif akım sistemlerinde güç sisteminin topraklanmış noktası, normal olarak nötr noktası veya nötr noktası yoksa bir ana (faz) iletkendir).

Bir sonraki harf (varsa) : Nötr ve koruma iletkenin düzenlenmesi,

S : Nötr veya topraklanmış hat iletkeninden ayrı bir iletkenle koruma fonksiyonun sağlanması (veya a.a. sistemlerinde topraklanmış ana (faz) iletkenden).

C : Nötr ve koruma güvenliğinin tek iletken üzerinden birleştirilmesi (PEN iletkeni).

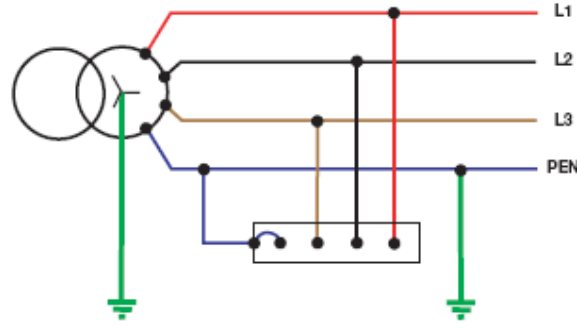
- i) TN sistemleri : TN sistemlerinde doğrudan topraklanmış bir nokta bulunur ve tesisatın açıktaki iletken bölümleri bu noktaya koruma iletkeni ile bağlanır.

Şekil 2.12 ve Şekil 2.13'te bağlantı şekilleri gösterilmiştir. TN sistemi, nötr ve koruma iletkenlerinin düzenlenmesine göre üç tipe ayrılır:

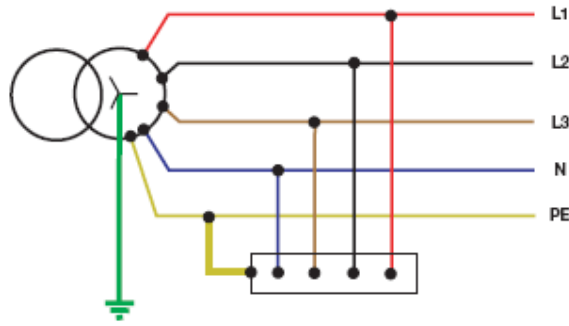
-TN-S sistemi : Sistemin tamamında ayrı bir koruma iletkeni kullanılır.

-TN-C-S sistemi : Nötr ve koruma fonksiyonları, sistemin bir bölümünde tek iletkende birleştirilmiştir.

-TN-C sistemi: Sistemin tamamında nötr ve koruma fonksiyonları tek iletkende birleştirilmiştir.



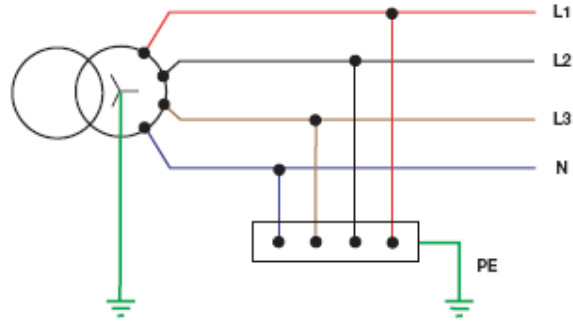
Şekil 2.12: TN-C sistemi



Şekil 2.13: TN-S sistemi

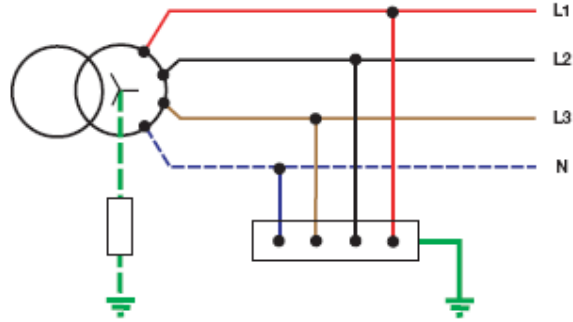
ii) TT sistemleri : TT sisteminde doğrudan topraklanmış bir nokta bulunur, tesisatın açıktaki iletken bölümleri, Şekil 2.14 ile gösterildiği gibi güç sistemi topraklayıcısından elektriksel olarak bağımsız olan topraklayıcılara bağlanır.





Şekil 2.14: TT sistemi

- iii) IT sistemi : IT sisteminde bütün gerilimli bölümler topraktan ayrılır veya bir noktadan, bir empedans üzerinden toprağa bağlanır. Şekil 2.15 ile gösterildiği gibi elektrik tesisatının açtıktaki iletken bölümleri ayrı ayrı veya birleşik olarak topraklanır veya sistem topraklamasına bağlanır [18].



Şekil 2.15: IT sistemi

## 2.7. Alçak Gerilim Parafudrlarının Sınıflandırılması

Alçak gerilim parafudrları dört sınıfa ayrılır;

- A Sınıfı: Alçak gerilim hava hatlarına ve dokunulamayan yerlere monte edilirler. Dalga şekli 8/20  $\mu$ s olan akım dalgası ile test edilir.

- B Sınıfı: Eş potansiyel kuşaklama ile yıldırımdan koruyan ve doğrudan çarpmaların kontrolünü sağlayan parafudrlardır. Dalga şekli 10/350 µs olan akım dalgası ile testi yapılır.
- C Sınıfı: Sabit tesisatta koruma sağlamak amacıyla kullanılırlar. Dalga şekli 8/20 µs olan akım dalgası ile test edilir.
- D Sınıfı: Sabit veya mobil tesisatta, özellikle priz çıkışlarında kullanılır. Testi için açık devre gerilim dalgası 1.2/50 µs ve kısa devre akım dalgası 8/20 µs birlikte kullanılır [16].

## **2.8. Çeşitli Alçak Gerilim Şebeke Şekillerinde Darbe Koruma Düzenlerinin Artık Akım Anahtarı ile Bağlantısı**

Artık akım koruma anahtarlarının kullanıldığı yerlerde darbe koruma düzenlerinin bağlantısında dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Genel yaklaşım olarak darbe koruma düzenlerinin arızalanması halinde dahi artık akım koruma anahtarı devre dışında kalmayarak kişileri dolaylı dokunma gerilimi tehlikelerine karşı korumalıdır. Bu görüşle darbe koruma düzenleri, hata akımına karşı koruyucu cihazların yük tarafına konulmalıdır. B ve C sınıfı cihazlar yük tarafına konulduğunda aşırı gerilim darbe akımları artık akım koruma anahtarlarını çalıştırıp devreyi kestirirler. Ayrıca B sınıfı darbe koruma düzeni tesis edilen yerlerde darbe akımı sebebi ile artık akım koruma anahtarı mekanik olarak tahrip olabilir. Bu durumda kişilerin koruma güvencesi ortadan kalkar.

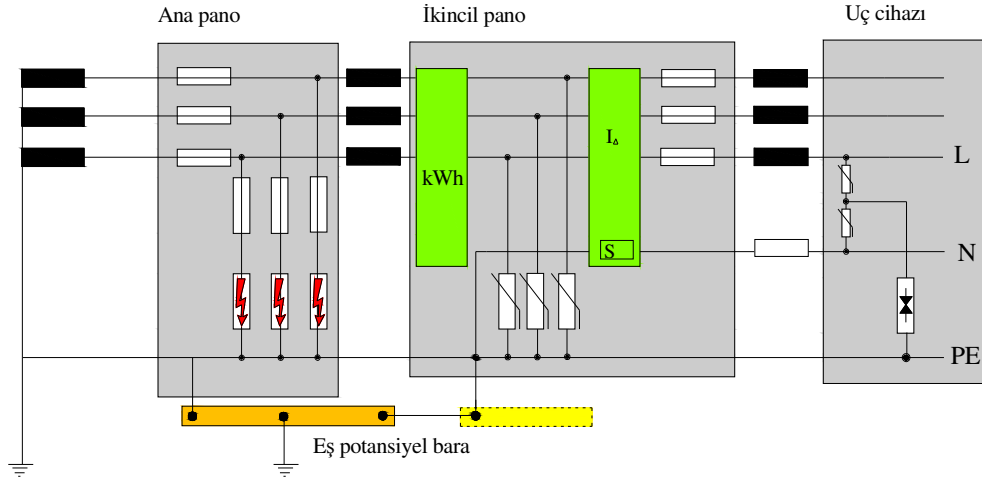
### **2.8.1. TN sistem**

B ve C sınıfı darbe koruma düzenleri artık akım koruma anahtarlarının giriş tarafına tesis edilmelidir. Darbe koruma düzenleri bir yedek koruma sigortası üzerinden hatta bağlanmalıdır. D sınıfı cihazlar simetrik mod, yani L – N arasında oluşan aşırı gerilimler için tesis edilirler. Bu durumda PE hattına doğru akım akmaz ve artık akım koruma anahtarı bu akımı toprak hatası olarak algılayamaz. D sınıfı cihazlar 1.5 kA (8/20 µs) nominal kesme kapasitelidir. Gecikmeli tip cihazlar darbe akımları ile çalışamazlar. TN Sistemlerde B, C ve D sınıfı darbe koruma düzenlerine ilişkin maksimum sürekli işletme gerilimi 230/400 V için;

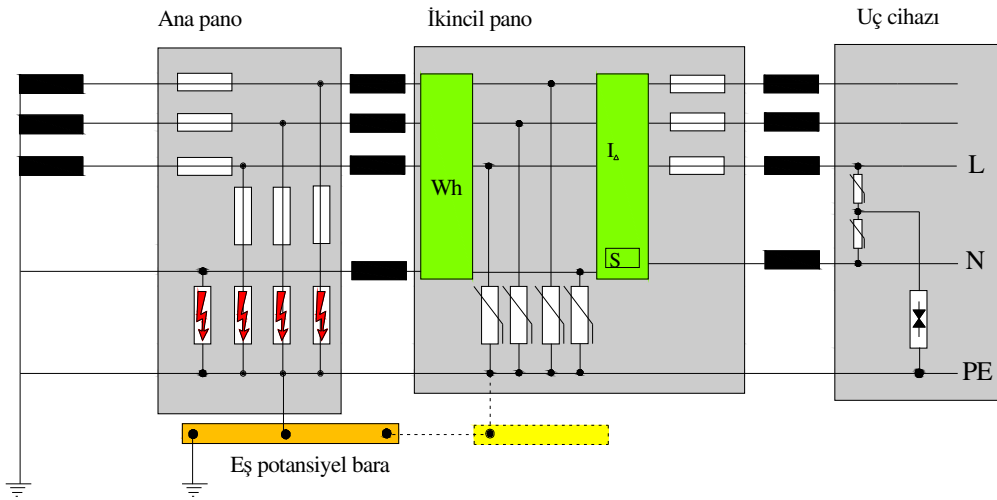
$$U_c \geq 1.1 \times U_N$$

(2.10)

olarak tanımlanmış olup, Şekil 2.16 ve 2.17’de sistemlere ait bağlantı şekilleri gösterilmiştir.



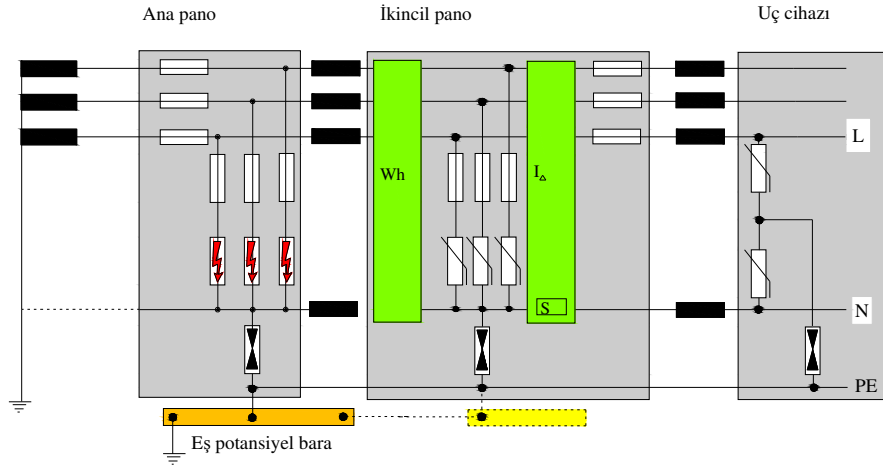
Şekil 2.16: Darbe koruma düzenlerinin TN-C-S sistemde uygulaması



Şekil 2.17: Darbe koruma düzenlerinin TN-S sistemde uygulaması

## 2.8.2. TT sistem

Arızalı artık akım koruma cihazı üzerinden geçecek akım, darbe koruma cihazlarını çalıştıracak boyutta olmalıdır. Bu durum TN sistemde kısa devre akımı olarak ortaya çıkarken, TT sistemde toprak kısa devresidir. Bu toprak kısa devresi akımı, kişilerin korunması için öngörülen süre içinde, darbe koruma düzenlerini çalıştıracak boyutta değildir.



Şekil 2.18: Darbe koruma düzenlerinin TT sistemde uygulaması

Bu sebeple TT sistemde B ve C sınıfı darbe koruma düzenleri Şekil 2.18'deki gibi L – N arasına konmuştur. N ve PE arasındaki cihaz ise üç faz ve nötrden gelebilecek yıldırım akımları toplamını taşıyabilmelidir. TT sistemlerde L – N arasındaki darbe koruma düzenleri için maksimum sürekli işletme gerilimi 230/400 V için;

$$U_c \geq 1.1 \times U_N \quad (2.11)$$

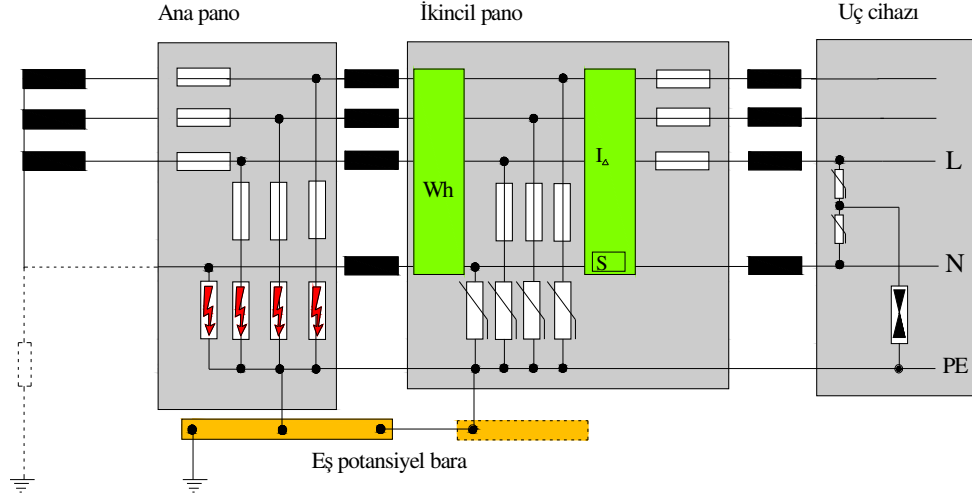
N – PE arasına bağlananlar için ise;

$$U_c \geq 1.1 \times U_N \times 0.5 \quad (2.12)$$

### 2.8.3. IT Sistem

IT Sistemlerde bağlantı şekli Şekil 2.19'daki gibidir. B, C ve D sınıfı darbe koruma düzenlerine ilişkin maksimum sürekli işletme gerilimi 230/400 V için [13,16];

$$U_c \geq 1.1 \times U_N \times \sqrt{3} \quad (2.13)$$



Şekil 2.19: Darbe koruma düzenlerinin IT sistemde uygulaması

## 2.9. İletişim Sistemleri için Kullanılacak Topraklama Tesislerinin Yapılmasıyla İlgili Kurallar

### 2.9.1. Topraklayıcılar

İletişim tesisine ilişkin topraklama tesisi için yapılan topraklayıcı olarak, topraklayıcılardan birisi yerine şunlar da kullanılabilir;

- Topraklama etkisi olan iletişim kablolarının iletken dış kılıfları,
- Betonarme binaların demir hasırları da dahil olmak üzere temel topraklayıcılar,
- Binanın TS 622 ve TS IEC 60364-4-443 standartlarına uygun olarak yapılmış yıldırıma karşı koruma tesisi,
- Gaz boru hatları dışında topraklama etkisi olan boru hatları (burada korozyon tehlikesi dikkate alınmalıdır),

- Alternatif akımla çalışan raylı sistemlerdeki, özel olarak demiryollarında kullanılan iletişim tesisleri için yapılan raylı sistem toprağı.

Burada bu topraklayıcıların görevlerini tam olarak yerine getirdikleri kabul edilmektedir.

### **2.9.2. Topraklama halka (ring) iletkeni**

Eğer binanın taban alanı büyükse, topraklama tesisine duyarlı teknik donanımlar bağlanmışsa ve bağlanacak topraklayıcılar ve bağlantı yerleri binanın büyük bir bölümüne dağılmış ise, bir topraklama ring iletkeninin yapılması gereklidir. Topraklama ring iletkeni, topraklayıcı olarak kullanılan iletken kablo dış kılıfları, su ve kalorifer boruları ve benzerleri en kısa yoldan birbirleriyle bağlanabilecek şekilde döşenmelidir. Malzeme olarak kesiti en az 50 mm<sup>2</sup> olan bakır kullanılmalıdır. Topraklama ring iletkeni sıva üzerine, amaca uygun şekilde duvardan 3 ila 5 cm uzaklıkta döşenmelidir. Yalıtılmamış malzeme kullanılması durumunda topraklama ring iletkeni, tutturucularda ve duvar geçişlerinde korozyona karşı yalıtılmalıdır. Topraklama ring iletkeni üzerindeki bağlantılar lehim, kaynak veya elektrik olarak bunlara eşdeğer, çözülmesi mümkün olmayan başka bir yöntemle yapılmalıdır. Giriş ve çıkış bağlantıları klemenslerle yapılmalıdır.

### **2.9.3. Toprak birleştirme (toplama) barası**

Özellikle bozulmaya duyarlı (parazit, gürültü vb. bozucu etkiler) iletişim tesisleri bulunmayan ve bir topraklama ring iletkeninin gereksiz yere büyük bir külfet getireceği durumlarda, topraklama birleştirme iletkeni olarak bir topraklama barası yeterli olur. Toprak toplama barası olarak bakır, bakır-çinko alaşımı veya çinko kaplı çelik kullanılır. Baranın uzunluğu ve kesiti, buna bağlanacak topraklayıcı ve hat sayısına uygun olarak belirlenir. Giriş ve çıkış bağlantıları vidalı veya klemensli bağlantılarla yapılmalıdır.

#### **2.9.4. Topraklama klemensi**

Topraklama iletkenleri çok az olan tesislerde topraklama birleştirme iletkeni olarak vidalı klemens kullanılabilir. Malzeme birikmesi neticesinde korozyon oluşması önlenmelidir.

#### **2.9.5. Topraklama birleştirme iletkenlerine yapılan bağlantılar**

Farklı topraklayıcıların topraklama iletkenleri, sadece topraklama birleştirme iletkeninde birbirleriyle bağlanmalıdır. Eğer topraklama ring iletkeni veya toprak toplama barası şeklinde bir topraklama birleştirme iletkeni gerekiyorsa, bu, binada mevcut olan potansiyel dengeleme barasına bağlanmalıdır. Topraklama ring iletkeni veya toprak toplama barası bulunmayan daha küçük iletişim tesislerinde, tüketici tesisin mevcut bir potansiyel dengeleme barası, iletişim tesisinin topraklama birleştirme iletkeni olarak kullanılabilir. Henüz tüketici tesisinin potansiyel dengeleme barasına bağlanmamış olmaları koşulu ile, topraklama birleştirme iletkenine şunlar bağlanabilir:

- i) İletişim sistemi topraklayıcısı,
- ii) Binanın temel topraklaması,
- iii) İletişim kablolarının iletken dış kılıfları,
- iv) Binanın çelik hasır konstrüksiyonu,
- v) İletken malzemedan yapılmış içme suyu ve pis su boruları,
- vi) Merkezi ısıtma sistemi,
- vii) Raylı sistem toprağı,
- viii) Anten tesisatı için topraklama iletkeni,
- ix) Aşırı gerilim koruma cihazlarının topraklama iletkenleri,
- x) Binalara ilişkin yıldırıma karşı koruma topraklaması,
- xi) Bina içindeki gaz hatları (sadece potansiyel dengelemesi için),
- xii) Koruma iletkeni (PE),
- xiii) PEN-iletkeni (PEN),
- xiv) 1 kV'un üstündeki gerilimlerde transformatörlerin alçak gerilim tarafındaki yıldız noktaları,

xv) İletişim sisteminin merkezi beslenmesi durumunda, besleme tesisinin topraklanan kutbu; bu iletken aynı zamanda, koruma sınıfı I olan iletişim cihazları için fonksiyon topraklaması ve koruma iletkeni (FPE)'dir,

xvi) Koruma sınıfı II olan iletişim cihazları da dahil olmak üzere, iletişim cihazları için kullanılan fonksiyon topraklama iletkeni (FE).

### **2.9.6. Topraklama iletkeni**

Toprak üstündeki topraklama iletkenleri kontrol edilebilecek şekilde döşenmeli ve bağlantı noktalarına ulaşılabilir olmalıdır. Bunlar mümkün olan mekanik ve kimyasal bozulmaya karşı korunmalıdır. Topraklama iletkenleri ve topraklama birleştirme iletkenlerinin birbirleriyle ve aynı zamanda bunlara yapılan saplamalarla olan bağlantıları, elektriksel olarak iletken bağlantının sürekliliği güvenlik altına alınacak şekilde yapılmalıdır. Çelik - beton konstrüksiyonlarda ve çelik - beton yapılarda, sadece koruma amacına hizmet edenlerin dışındaki topraklama iletkenleri beton konstrüksiyonlar içine gömülebilir. Bunlar, kolay erişilebilir bağlantı noktalarına sahip olmalı ve bunların arasında, beton konstrüksiyon içinde kesintisiz olarak devam etmelidirler.

Binanın çeşitli yerleri arasındaki potansiyel farklılıklarını ve bu nedenle ortaya çıkan dengeleme akımlarını önlemek için, işletme açısından bir binanın topraklama tesisi için özellikle yüksek koşullar öne sürülüyorsa, çelik konstrüksiyonların ve demir hasırların topraklama tesisine dahil edilmesi için önlemler alınmış olmalıdır. Eğer çelik hasırların her biri birbirleriyle iletken şekilde bağlanmış ise, çelik hasırlar topraklama birleştirme iletkenine bağlanmalıdır. Çelik hasırların iletken olarak bağlantısı, örneğin kaynak veya itinalı şekilde yapılan tel bağlantılarıyla yapılabilir. Bina statığı nedeniyle kaynak yapmak mümkün değilse, kendi aralarında kaynaklanan ve çelik hasıra tel ile bağlanan ek inşaat demirleri yerleştirilir [17].



### 3. BİR TELEKOM SANTRALİ İÇİN YILDIRIMDAN KORUNMA SİSTEMİ TASARIMI

#### 3.1. Koruma Seviyesinin Belirlenmesi

Ek'te oturma planı verilen örnek telekom santral binası için yıldırımdan korunma sistemi tasarlayarak, sistemleri ve binayı oluşabilecek aşırı gerilimlere karşı korumak amaçlanmıştır. Santralin 1000'den fazla abonesi olup, 3 m yanında 30 m'lik anten kulesi bulunmaktadır. Yine bina yanında binayı ve mahalleyi besleyen 1600 kVA gücünde 34,5/0,4 kV'luk trafo köşkü bulunmaktadır.

Binanın en, boy ve yükseklik ölçülerinden eşdeğer toplama alanı (2.5) formülüne göre;  $a = 37,36$  m,  $b = 24,50$  m,  $h = 18,90$  m olduğundan;  $A_e = 18030,118$  m<sup>2</sup> bulunur. Yapıya doğrudan yıldırım boşalmalarının sıklığı  $N_d$  (2.3) formülüne göre; çevre faktörü  $C_e$  santral binası yanında anten kulesi bulunduğu için 0,25 ve  $T_d$  değeri Meteoroloji haritasına göre 11 alındığında,  $N_d = 3,61 \cdot 10^{-3}$  Adet/yıl olarak bulunur.

Binanın genel durumuna bakıldığında, betonarme ve inşaat demirleri ile elektriksel sürekliliği sağlanmış yapıdadır. Çatı ahşap ve üzeri kiremit kaplıdır. Ayrıca çatı üzerinde baca ve soğutma cihazlarının kondenser üniteleri bulunmaktadır. Binanın kullanımı ve içindeki eşyalarla ilgili bileşenleri seçerken ise; binada yangın algılama sisteminin bulunması, santralde paniğe yol açabilecek sayıda personel bulunmaması ve telekomünikasyon cihazlarının oldukça değerli oluşu dikkate alınır. Yıldırım düşmesi halinde bölgede iletişim hizmeti verilemeyecektir.

$N_c$  yıldırım boşalmalarının kabul edilen sıklığı (2.6) formülünden binanın durumu ile ilgili verilen bilgilerden yola çıkılarak katsayılar Tablo 3.1, Tablo 3.2, ve Tablo 3.3' deki gibi belirlenir.

Tablo 3.1: Yapının yapılış tarzına ilişkin bileşenler

Duvarların yapılış tarzına ilişkin bileşen	A <sub>1</sub>
Birbiri ile iletken olarak bağlanmış prefabrik yapı kısımları, çelik iskelet veya elektriksel sürekliliği olan beton	4
Çatının yapılış tarzına ilişkin bileşen	A <sub>2</sub>
Ahşap	0.1
Çatı kaplamasının türüne ilişkin bileşen	A <sub>3</sub>
Kiremit	1
Çatı üzerindeki yapılara (baca vb.) ilişkin bileşen	A <sub>4</sub>
Çatı üzerindeki elektrikli cihazlar	0.2

Tablo 3.2: Yapının kullanımı veya içindeki eşyalarla ilgili bileşenler

İnsanların kullanımı ile ilgili katsayı	B <sub>1</sub>
Panik tehlikesi yok	1.0
Binanın içinin türü ile ilgili katsayı	B <sub>2</sub>
Tutuşabilir	0.2
Binanın içindeki eşyaların değerleri ile ilgili katsayı	B <sub>3</sub>
Çok değerli donanım	0.01
Hasarın azaltılması için alınacak önlemlerle ilgili katsayı	B <sub>4</sub>
Yangından korunma donanımı	5

Tablo 3.3: Zararlardan ileri gelen bileşenler

Yapının içindekiler nedeniyle çevreye verilebilecek zararlar	C <sub>1</sub>
Orta	0.5
Yapının içindekiler nedeniyle yapının önemli altyapı hizmetlerinin yok olması	C <sub>2</sub>
Tamamen kesilme	0.01

Tablo 3.3 (Devam) Zararlardan ileri gelen bileşenler

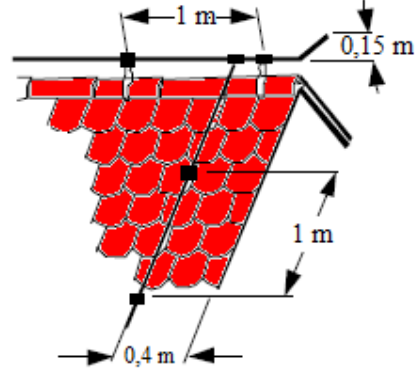
Diğer zararlar	$C_3$
Yüksek	0.1

$N_c = 0,08.0,004.0,0005 = 1,6.10^{-7}$  Adet/yıl olarak bulunur.  $N_d > N_c$  olduğundan etkinliği  $E \geq 1 - (N_c / N_d)$  olan bir YKS kurulmalı ve uygun koruma düzeyi Tablo 2.5'e göre seçilmelidir.  $E = 1 - (N_c / N_d) = 0,99$  olduğundan Koruma seviyesi I + ek koruma önlemleri alınmalıdır.

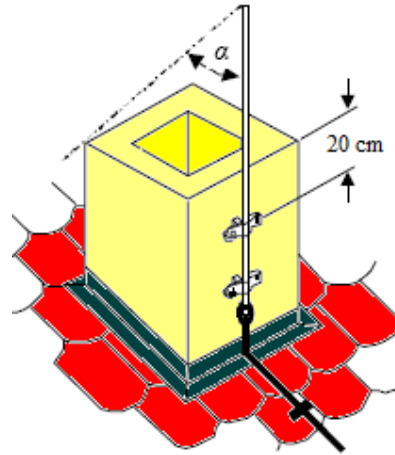
### 3.2. Çatıdaki Sistemlerin ve Baca Korumasının Yapılması

Teras balkonunda santral sistemleri soğutma cihazlarının kondenser üniteleri bulunmaktadır. Bu üniteleri olası yıldırım etkilerinden korumak amacıyla bina koruması haricinde ek koruma yapılması gerekmektedir. Teras duvarlarından faydalanmak suretiyle  $50 \text{ mm}^2$  örgülü bakır iletken ve uygun kroşe elemanları kullanılarak cihazların üzerinde Ek'te verildiği gibi koruma bölgesi oluşturulur.

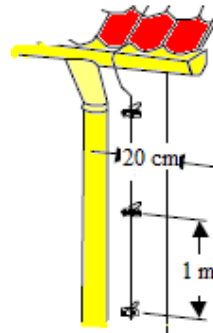
Bir yakalama ucu sisteminin koruma hacmi içinde yer almayan, iletken olmayan bir bacaya yıldırım çarpması mümkündür. Bunun sebebi, hacmin iç yüzeyinin, yağmur olmasa dahi, iletkenliği uzun bir akım yolundan akım geçirebilecek iletkenlikte kurum ile kaplanmış olmasıdır. Bu nedenle baca koruması önemlidir. Baca ağzının üst kısmına galvaniz levha kaplanacak ve levha  $\varnothing 20 \text{ mm}$ , 50 cm uzunluğunda krom kaplı bakır yakalama çubuğu ile irtibatlandırılacaktır. Şekil 3.1'de çatı üzerindeki iletkenin montaj şekli resmedilmiştir. Şekil 3.2'de baca koruması yapılırken baca üst seviyesi ile kroşe mesafesi 'e' değerinin 20 cm olması gerekir. Şekil 3.3'te verildiği gibi indirme iletkenleri su olukları ile aralık kalacak şekilde yerleştirilir.



Şekil 3.1: Eğik çatının mahyasındaki yakalama ucu iletkeninin ve çatı indirme iletkenlerinin yapılışı



Şekil 3.2: Koruyucu açi yöntemi kullanarak baca koruması yapılışı



Şekil 3.3: İndirme iletkeninin oluklarla yapılışı

### 3.3. Temel ve Çevre Topraklamalarının Yapılması

Topraklama ağının eşdeğer daire çapı;

$$D = (4.a.b / \pi)^{1/2} \quad (3.1)$$

$$D = (4.37,36.24,50 / \pi)^{1/2} = 32,60 \text{ m bulunur.}$$

Tablo 3.4 ile toprağın yapısına bağlı olarak değişen toprak özdirenci ( $\rho_E$ ) değerleri verilmiştir.

Tablo 3.4: Toprağın yapısına bağlı toprak özdirenci

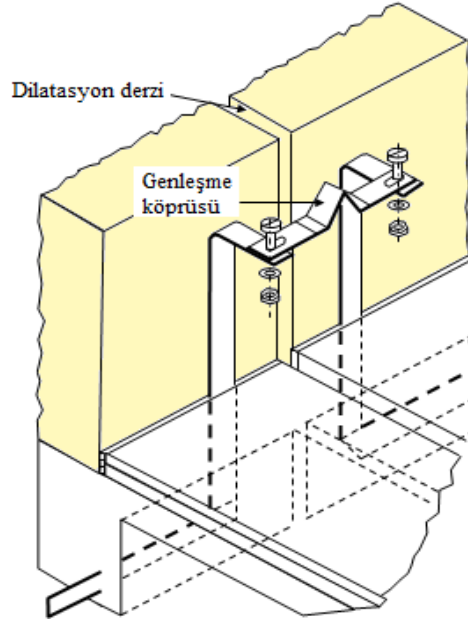
Toprak cinsi	Toprak özdirenci $\rho_E$ ( $\Omega.m$ )
Bataklık	5-40
Çamur, kil, humus	20-200
Kum	200-2500
Çakıl	2000-3000
Havanın etkisiyle dağılmış taş	Çoğunlukla <1000
Kumtaşı	2000-3000
Granit	>50000
Morenin (Buzultaş)	>30000

Temel topraklama iletkeni Ek'deki temel ve çevre topraklama projesinde verildiği gibi 30\*3,5 mm galvaniz çelik şerit kullanılarak en az 20\*20 m'lik bölümler oluşturacak şekilde düzenlendiğinde toplamda 178 m kullanılmış olup,  $R_y$  yayılma direnci;

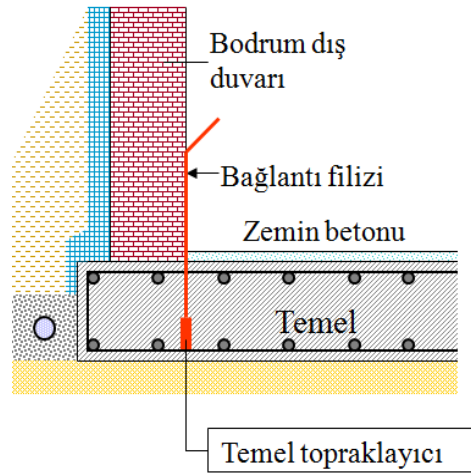
$$R_y = \rho_E/2D + \rho_E/L \quad (3.2)$$

$$R_y = 100/2.32,60 + 100/178 = 2,095 \Omega \text{ bulunur.}$$

Temel topraklaması dilatasyon derzinin bulunduğu yerde kesilecektir. Son noktalar temelin dışına çıkarılmalı Şekil 3.4'teki gibi yeterince esnek bağlantı yapılmalıdır. Bağlantı yerleri her zaman kontrol edilebilir olmalıdır.



Şekil 3.4: Esnek bağlantı ile hareket aralığının köprülenmesi [17]



Şekil 3.5: Temel içinde temel topraklayıcının yerleştirilmesi [13]

Ana potansiyel dengeleme yapmak amacıyla, potansiyel dengeleme barasına bağlanacak bağlantı filizi Şekil 3.5'te verildiği gibi bina içerisine girdiği yerden itibaren en az 1,5 m'lik uzunlukta olacaktır. Ayrıca yıldırıma karşı koruma topraklayıcısı olarak da kullanılacağından iniş iletkenlerinin bağlanacağı noktalarda irtibatı sağlanmalıdır.

Çevre topraklaması bina çevresine, binanın ortalama 1 metre dışından dolaşan, derinliği 0,80 metre ve genişliği 0,40 metre olan kanal açılacaktır. Açılan bu kanal içine  $2 \times \emptyset 8 \text{ mm}$  ( $2 \times 50 \text{ mm}^2$ ) çıplak bakır iletkeni yerleştirilecektir. U kanal boyunca kesiti  $\emptyset 20 \text{ mm}$  ve boyu 3 metre olan bakır çubuklar sırayla çakılacaktır. Binanın durumuna göre çakılacak 11 adet çubuğun oluşturacağı direnç değeri  $R_{\zeta}$  ise;

$$R_{\zeta} = \rho_E / n.L \quad (3.3)$$

$$R_{\zeta} = 100 / 11.3 = 3,03 \Omega \text{ bulunur.}$$

Çubuklar arası mesafe en az bir çubuk boyunun 2 katı olacaktır. Çubuklar ile kanala serilen iletken ve topraklama çubuklarının bağlantıları güvenilir, sürekli ve elektriksel bakımdan iyi iletkenlik sağlayacak şekilde termokaynak bağlantı yapılacak, kanal ve çevresi tarla toprağı ile doldurulacaktır. Topraklama elektrotları, muayeneye izin verecek şekilde tesis edilecektir. Buna göre elde edilen toplam  $R_T$  direnç değeri;

$$R_T = R_y \cdot R_{\zeta} / R_y + R_{\zeta} \quad (3.4)$$

$$R_T = (2,095 \cdot 3,03) / (2,095 + 3,03) = 1,23 \Omega$$

olarak bulunur.  $1,23 \Omega < 2 \Omega$  olduğundan direnç değeri uygundur.

### 3.4. Repartitörde Topraklama

Repartitörün dikmeleri  $30 \times 5 \text{ mm}$  kesitinde bir bakır bara ile bir uçtan diğer uca her bir dikmeye uygun bir civata ile (en az M10) bağlanır. Söz konusu bara  $50 \text{ mm}^2$  kesitli bakır iletken ile kaynak veya civata yardımıyla santral binasının eş potansiyel barasına aynı şekilde irtibatlandırılır. Yapılan topraklama tesisi ile elde edilecek dirençlerin maksimum değeri 1000 aboneden fazla büyük ofis santral repartitörlerinde  $2 \Omega$  değerini geçmeyecek şekilde yapılacaktır. Şekil 3.6'da repartitör çatısı görülmektedir.



Şekil 3.6: Repartitör çatısı

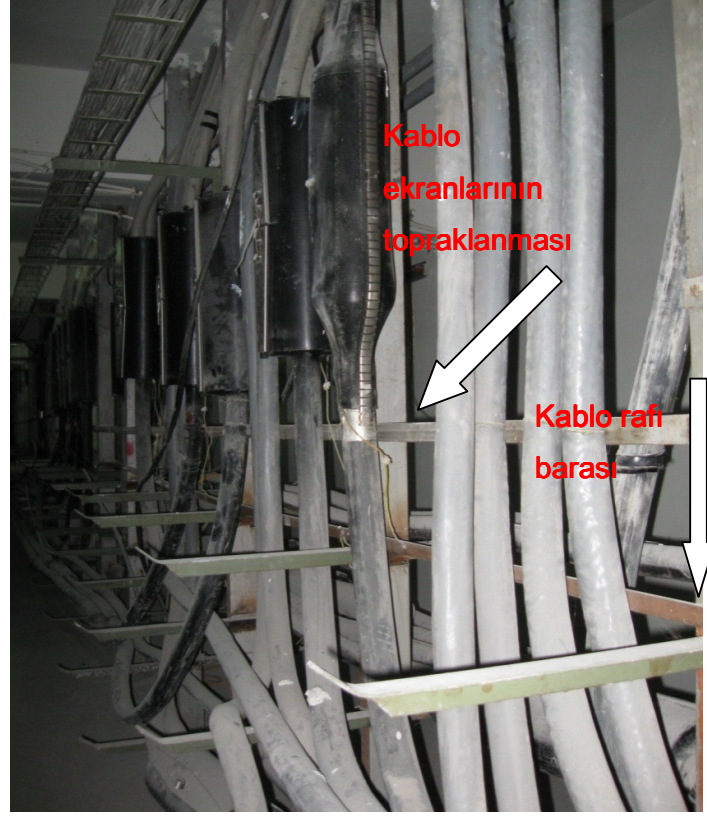
### 3.5. Kablo Ekranlarının Topraklama Tesisine Bağlantısı

Erişim şebekesinde kullanılan kablolar, kutudan aboneye giden çoklu abone teli hariç tamamen alüminyum ekrana sahiptir. İyi bir kablo topraklama tesisinin sağlanması için kablo güzergahı boyunca ekran irtibatının iyi yapılmış olması ve bu ekranın topraklama tesisine uygun olarak bağlanması gerekir. Bunu sağlamak üzere;

- Repartitöre çıkan kabloların ekranları, repartitör topraklama barasına,
- Saha dolaplarına çıkan kabloların ekranları saha dolabı çatısının uygun bir noktasına,
- DKD'li kutulara çıkan kabloların ekranları, kutunun modül bağlantı sacına irtibatlı bağlantı noktasına, pabuçlu olarak civata ile irtibatlandırılır. Ayrıca kablo eklerinde ekran irtibat iletkeni kullanılarak ekin iki ucu arasında ekran devamlılığı sağlanır.



Şekil 3.7’de kablo odası topraklama bağlantılarının yapılış şekli resmedilmiştir.



Şekil 3.7: Kablo odası topraklama bağlantılarının yapılış

### 3.6. Saha Dolabında Topraklama

Erişim şebekesinde kullanılan 2400’lük standart saha dolaplarının tabanında bulunan topraklama irtibat noktasına 16 mm<sup>2</sup>’ lik topraklama iletkeni civata sistemi ile irtibatlandırılır. Söz konusu iletkenin diğer ucu yukarıda belirtildiği şekilde tesis edilen topraklama çubuğu veya levhasına irtibatlandırılır. Yapılan topraklama tesisi ile elde edilecek topraklama direncinin maksimum değeri 10  $\Omega$ ’ u geçmemelidir.

### 3.7. Pilon Topraklaması

Anten pilonu çevresinde 2 \*  $\varnothing$  8 mm (2\*50 mm<sup>2</sup>) çıplak bakır iletken dolaştırılacak ve direğin 4 bacağı da bu topraklama ile birleştirilecektir. Anten en uç noktasına

diğer cihazları koruma açısı içerisinde kalacak şekilde  $\text{Ø } 20 - 175 \text{ cm}$  krom kaplı bakır yakalama çubuğu yerleştirilecek, direk ile bağlantısı uygun kelepçe ve bağlantı elemanları ile yapılacaktır. Kalenderli (2002)'nin çalışmasında bahsettiği üzere anten direğinin direnci yerleştirilecek iniş iletkenininkinden daha küçük olduğu için iniş iletkeni kullanılmayacaktır.

### 3.8. Santral Salonunda Topraklama

Doğru akımla çalışan telefon santral salonunda cihazların beslendiği panonun topraklaması kablo odasında bulunan eş potansiyel bara ile irtibatlandırılır. Bunun dışında yükseltilmiş döşemenin ayakları da çıplak bakır iletken ile Şekil 3.8'de verildiği gibi topraklanarak eş potansiyel oluşturulur.



Şekil 3.8: Santral salonu yükseltilmiş taban bacalarının topraklanması

### 3.9. Darbe Koruma Düzenlerinin Yerleştirilmesi

Yıldırım darbelerinin olası etkilerini azaltmak için dış yıldırımdan koruma sistemine ek olarak ana ve tali panolarda darbe koruma düzenlerinin kullanılmasına ihtiyaç vardır. Ek-8'de santral binasına ait alçak gerilim kolon şeması üzerinde kullanılacak darbe koruma düzenleri gösterilmiştir.

#### **4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER**

Tezde yıldırım etkisi ile oluşan aşırı gerilimlere karşı koruma yöntemlerinden ağırlıklı olarak sözedilmiş olup, yıldırımın bir iletim hattının faz iletkenine, koruma hattına ve direğe düşmesi sonucunda, direkte oluşabilecek gerilim değerlerinin değişimleri; direk direnci, topraklama direnci ve darbe akım değerlerine göre grafiksel olarak elde edilmiştir. Buna göre direğin topraklama direnci düştükçe oluşabilecek direk gerilim değerlerinin de azaldığı, en yüksek gerilim değerinin yıldırımın direk üzerine düşmesi durumunda olduğu görülmüştür. Bu durum aşırı gerilimlere karşı korumada topraklama direncinin son derece önemli olduğunu göstermiştir.

Örnek bir telekom santral binası için uygun koruma seviyesi seçilerek, yıldırımdan koruma sistemi tasarlanmıştır. İlgili yönetmelikler doğrultusunda yıldırımdan koruma sistemi ile bütünlük arzeden topraklama sistemi oluşturulmuş, AG sistemleri için darbe koruma düzenleri seçilerek binanın ve santralin korunması sağlanmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Coşkun, B., “Geçici Aşırı Gerilimler ve Şebeke Yönünden Analizi”, Seminer Notları, *Ankara EMO Şubesi Eğitim Merkezi*, 1-3, (2006).
- [2] İsmailoğlu, H., “Aşırı Gerilimler, Oluşumları, Etkileri ve Aşırı Gerilimlere Karşı Koruma”, *Ulusal Elektrik Tesisat Kongresi*, Elektrik Mühendisleri Odası, İzmir Fuar Alanı, İzmir, 7-10 Mayıs (2009).
- [3] Dugan, R., C., McGranaghan, M., F., Santoso, S., Beaty, H., W., “Electrical Power Systems Quality”, Second edition, *McGraw-Hill Companies*, New York, 111-139, (2003).
- [4] Özkaya, M., “Yüksek Gerilim Tekniği”, Cilt 2, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 10-45, 166-207 (1996)
- [5] Akıncı, T.Ç., Mokryani, G., Gökmen, G., Ekren, N., Şeker, S., “Bir Fazlı İletim Hattı Modeli Üzerinde Ferrezonans Olayının İncelenmesi”, *5.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük Üniversitesi, Karabük, 13-15 Mayıs (2009).
- [6] ABB Lightning Protection Group, 2004, *Overvoltage Protection OVR Range*, France, [library.abb.com/global/scot/scot209.nsf/.../FRSOX\\_0104\\_04-GB.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot209.nsf/.../FRSOX_0104_04-GB.pdf), (Ziyaret tarihi 1 Ocak 2009)
- [7] ABB Lightning Protection Group, 2004, *Overvoltage Protection OVR Range*, France, [library.abb.com/global/scot/scot209.nsf/.../FRSOX\\_0201\\_04-GB.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot209.nsf/.../FRSOX_0201_04-GB.pdf), (Ziyaret tarihi 1 Ocak 2009)
- [8] Vijayaraghavan, G., Brown, M., Barnes, M., “Grounding, Bonding, Shielding and Surge Protection”, First edition, *Elsevier*, 39-53, (2004)
- [9] Legrand, 2008, *Legrand Parafudr Rehberi* [online], <http://www.legrand.com.tr/inter/liblocal/pdf/parafudr.pdf> (Ziyaret tarihi 1 Ocak 2009).
- [10] Karabaş, E., 2009, “Orta Gerilim Parafudrları ve Genel Özellikleri”, *Polipar Enerji Sistemleri Kataloğu*
- [11] Malzeme Yönetimi ve Satınalma Daire Başkanlığı, “OG Sistemleri için Metal Oksit Parafudrlar Teknik Şartnamesi”, Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş., (Şubat 2005)
- [12] Elimsan Group, 2008, *Parafudrlar* [online], [www.elimsangroup.com/urunler/polimerparafudr/Polimer\\_Parafudr.pdf](http://www.elimsangroup.com/urunler/polimerparafudr/Polimer_Parafudr.pdf), (Ziyaret tarihi 1 Ocak 2009).

- [13] İlisu, İ., “Elektrik Tesislerinde Dolaylı Dokunmaya Karşı Koruma ve Topraklama”, Seminer Notları, *İstanbul EMO Şubesi Eğitim Merkezi*, (2008).
- [14] Yıldırımından Korunma Yönetmeliği Taslağı, *EMO Bursa Şubesi*, Bursa, (2007)
- [15] Hasse, P., “Overvoltage Protection of Low Voltage Systems”, Second edition, *The Institution of Electrical Engineers*, 75-78, 189-197 (2000)
- [16] CEI-IEC 62305-3:2006, “Protection Against Lightning Part2”, First edition, *CEI-IEC International Standart*, (2006)
- [17] Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği, *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası* (Haziran 2005)
- [18] Kalenderli, Ö., “GSM Anten Direği Karakteristik Empedansının Hesabı”, *URSI-TURKIYE 2002 1.Ulusal Kongresi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 18-20 Eylül (2002)
- [19] Türk Telekomünikasyon A.Ş Topraklama ve Koruma Esasları

## **ÖZGEÇMİŞ**

1983 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2001 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nden 2005 yılında mezun oldu. 2006 yılında yine Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2007 yılından beri Türk Telekomünikasyon A.Ş İstanbul – I Bölge Müdürlüğü'nde Elektrik Mühendisi olarak görev yapmaktadır.