

YILDIRIMDAN KORUNMA SİSTEMLERİNİN ETKİNLİKLERİ BAKIMINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

Hasbi İSMAİLOĞLU

**Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü**

YILDIRIMDAN KORUNMA SİSTEMLERİNİN ETKİNLİKLERİ BAKIMINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

- Giriş,
- Yıldırımın Etkileri,
- Hasar Örnekleri,
- Yıldırıma Karşı Koruma Sistemleri,
- Koruma Uygulamaları,
- Değerlendirme,
- Sonuç.

GİRİŞ

- Yıldırım, doğadaki heyecan verici, ilginç; ancak, tehlikeli olaylardan biridir,
- Bölgelere göre sayısı, sıklık ve şiddetleri değişmekle birlikte, dakikada yeryüzüne düşen yıldırım sayısı 1800'ün üzerindedir,
- Kutuplarda yıldırım oluşmazken, ekvator bölgesinde yılın çoğu günleri yıldırımlı geçer,
- Tesislere, yapılara veya bunların yakınlarına düşen yıldırımlar, büyük riskler oluştururlar,
- Yıldırım çarpmaları kırsal kesimde önemli can ve mal kayıplarına neden olmaktadır.

GİRİŞ

- Söz konusu kayıpları önlemek / azaltmak için yapılarda yıldırıma karşı uygun koruma önlemlerinin alınması ve kırsal kesimde, alınabilecek basit önlemler konusunda kamuoyunun bilgilendirilmesi önem taşımaktadır.
- Yıldırım boşalmaları, kanal boşalma teorisi ile açıklanabilir.
- Bulutta biriken yük miktarına bağlı olarak, elektrik alan şiddeti yeterince büyüdüğünde,
 - Bulut içinde,
 - Bulutlar arasında,
 - Bulutla yeryüzü arasında (**yıldırım düşmesi**)elektriksel boşalmalar oluşur.

GİRİŞ

- Bir yıldırımın karakteristik büyüklükleri, kutbiyeti, süresi / dalga şekli, akımının tepe değeri, aktarılan yük ve etkinlik integrali biçiminde verilebilir.
- Yıldırım oluşumunu önleyecek biçimde doğal hava koşullarını değiştirebilecek, herhangi bir aygıt ya da yöntem bulunmamaktadır.
- Yıldırımın doğrudan veya dolaylı etkilerine karşı mutlak bir koruma sağlamak, genellikle zor ve pahalıdır.
- Yıldırımdan korunmanın amacı, yıldırımın doğrudan ve dolaylı etkilerini ortadan kaldırmak / en aza indirmektir.

YILDIRIMIN ETKİLERİ

Yıldırımın,

- Isı
- Termodinamik
- Işık
- Elektrodinamik
- Ses
- Elektrokimyasal
- Elektromanyetik alan

gibi güçlü etkileri vardır. Bu etkiler, can ve mal kayıplarına ve önemli fiziksel hasarlara neden olabilir.

Yıldırım çarpmalarının etkileri, doğrudan ve dolaylı yakın alan ve uzak alan etkileri biçiminde sınıflandırılabilir.

Doğrudan etkiler, yıldırım çarpmasında aktarılan yükten (akımdan) kaynaklanır.

YILDIRIMIN ETKİLERİ

- Dolaylı yakın alan etkileri, yıldırım akımından ve oluşan elektromanyetik alandan kaynaklanan geçici olaylara bağlıdır **(Yaşam kayıplarının %40-50'si, yakın alan etkilerinden kaynaklanır).**
- İndüklenen gerilimler, sistem yalıtımının bozulmasına ve tehlikeli atlamaların oluşmasına yol açabilir.
- Uzak alan etkileri, elektromanyetik alan etkileri biçiminde görülürler ve diğerlerine göre şiddetleri oldukça düşüktür.
- Uzak alandaki bir yıldırımın, örneğin enerji, haberleşme hatları gibi tesisler üzerinden yürüyen dalga biçiminde yayılabilen etkileri de göz önüne alınmalıdır.

YILDIRIMIN ETKİLERİ

- Doğrudan yıldırım çarpmaları, çarpma noktasında tehlikeli sıcaklık yükselmelerine ve hasar verici mekanik kuvvetlerin oluşmasına yol açabilirler.
- Şiddetli ses dalgaları, manyetik basınç , manyetik kuvvetler ve arklar da oluşur.
- Arklar, elektriksel ya da ısıl arklar biçiminde, birlikte veya tekil olarak ortaya çıkabilirler.

YILDIRIMIN ETKİLERİ

- Akım taşıyan iki iletken arasında elektrodinamik kuvvetler oluşur. Bu kuvvetin şiddeti, iletkenlerden geçen akımların çarpımı ile orantılı, iletkenler arası uzaklıkla ters orantılıdır.
- Bu kuvvet,

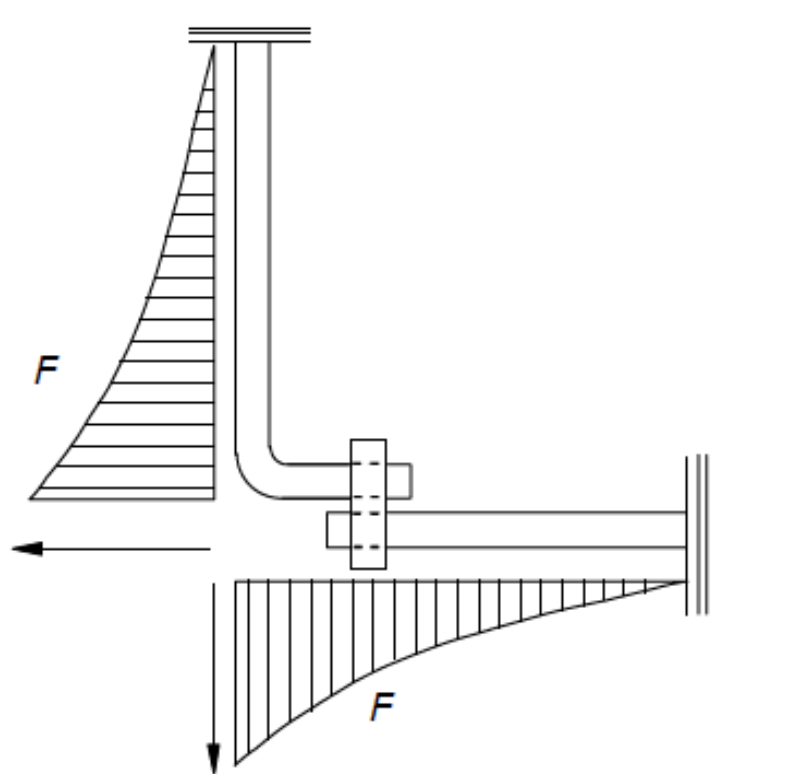
$$F(t) = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot i^2(t) \cdot \frac{l}{d} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot i^2(t) \cdot \frac{l}{d} \quad (1)$$

denklemini ile hesaplanabilir. Bu denklemde,

- $F(t)$ elektrodinamik kuvvet (N),
- $i(t)$ akım (A),
- μ_0 boşluğun manyetik geçirgenliği ($4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m),
- l iletkenlerin paralel bölümlerinin uzunluğu (m),
- d iletkenler arasındaki uzaklık (m).

YILDIRIMIN ETKİLERİ

Kuvvet, iletkenlerin kopmalarına yol açacak kadar şiddetli olabilir. Benzer kuvvetler, 90° açılı iletken dönüşlerinde de ortaya çıkar.



Şekil 1. Köşeli iletkenden, geçen akım nedeniyle oluşan kuvvetler.

YILDIRIMIN ETKİLERİ

Bir yapıya, tesise veya koruma sistemine yıldırım düştüğünde, çevresine göre büyük genlikli potansiyel çadırı oluşur.

Potansiyel çadırının genliği, yıldırım akımına ve akım yolunu oluşturan sistemin eşdeğer empedansına bağlıdır.

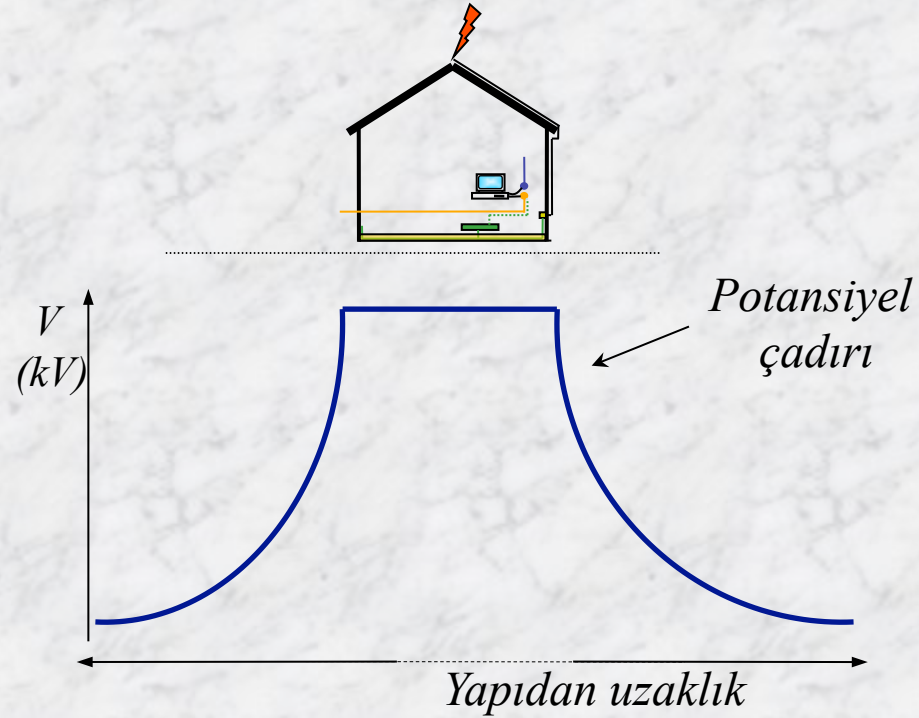
Potansiyel çadırının genliğinin yaklaşık olarak hesaplanmasında,

$$U(t) \cong R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di}{dt} \quad (2)$$

eşitliği kullanılabilir. Bu eşitlikte,

- $i(t)$ yıldırım akımı,
- R ve L , akım yolunun eşdeğer direnç ve endüktansı,
- $\frac{di}{dt}$ yıldırım akımının cephe dikliği.

YILDIRIMIN ETKİLERİ



Şekil 2. Yapıya, tesise veya koruma sistemine yıldırım düşmesi sonucu potansiyel çadırının oluşması.

YILDIRIMIN ETKİLERİ

Ortaya çıkan potansiyel farkları,

- Yapıdaki donanımlar arasında atlamalara,
- Bina içinde ve dışında tehlikeli adım ve dokunma gerilimlerinin oluşmasına,
- Çevreye yürüyen dalga biçiminde, enerji ve iletişim hatları vb üzerinden aşırı gerilimlerin yayılmasına yol açabilir.

Yapılarda farklı niteliklerde hasarlar oluşabilir. Hasarların düzey ve nitelikleri, yıldırım akımının yanısıra, yapının karakteristik özelliklerine de bağlıdır.

Koruma Yapılmamış Yalıtkan Malzemededen Yapı Üzerine Etkiler

Oluşabilecek bazı hasar ve riskler, aşağıdaki gibi sıralanabilir:

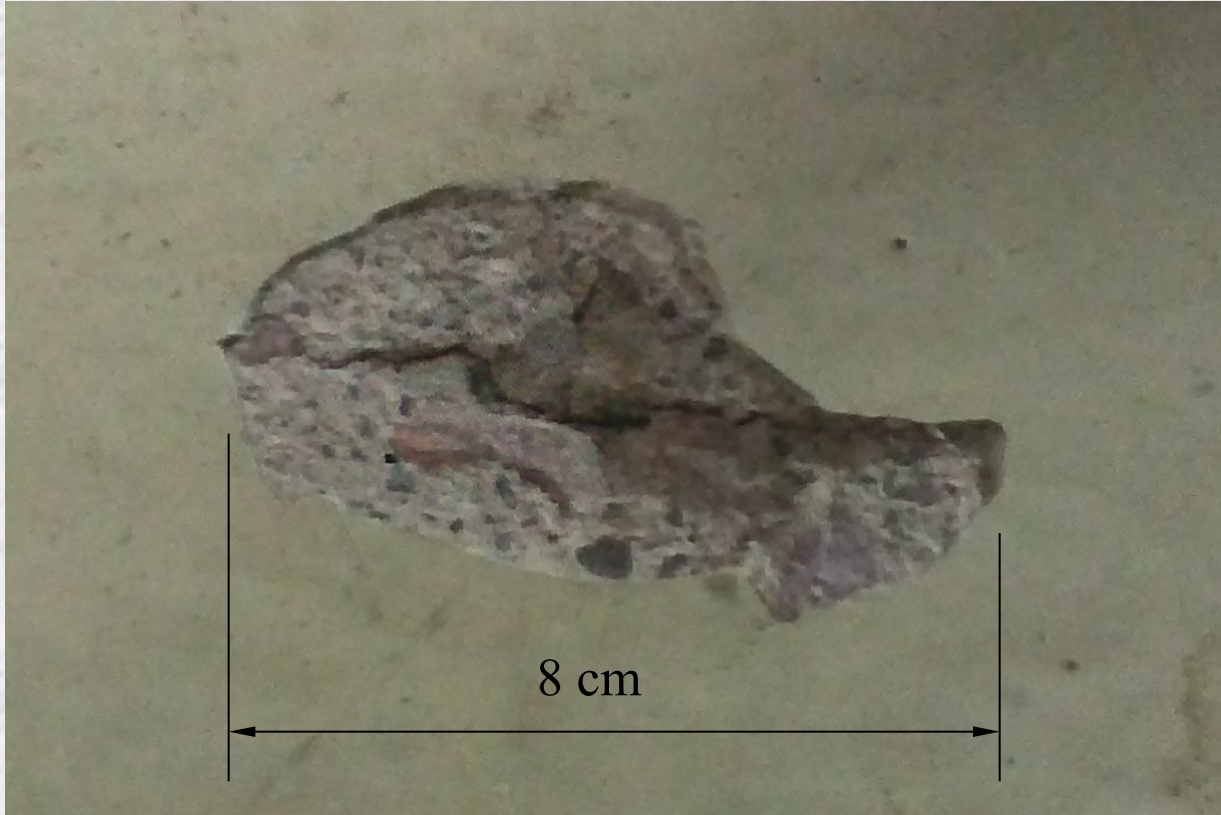
- Çarpma noktasında sentetik kaplama, ahşap gibi yanıcı malzemelerin tutuşarak yanması,
- Beton, tuğla, briket gibi iletken olmayan malzemelerin parçalanması,
- Potansiyel çadırı, tehlikeli adım ve dokunma gerilimlerinin oluşması,
- Bina içindeki aygıtlarda ve donanımlar arasında atlamaların meydana gelmesi,
- Aşırı gerilimlerin oluşması ve bunların yürüyen dalgalar biçiminde çevreye yayılması, vb.

Koruma Yapılmamış Betonarme Yapı Üzerinde Etkiler

Karşılaşılabilecek bazı hasar ve riskler:

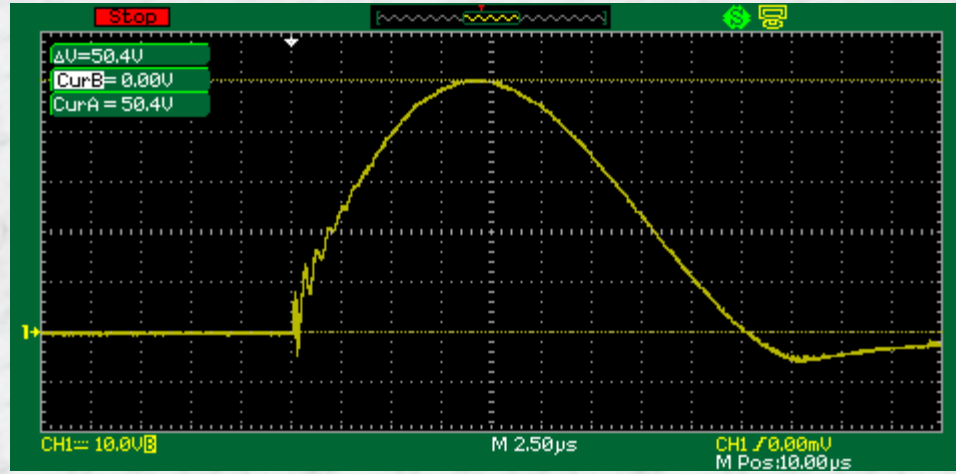
- Çarpma noktasında ve iletkenlikleri düşük armatür bağlantılarında betonun parçalanması, düşen parçaların yakın çevredeki kişiler için tehlike oluşturması,
- Potansiyel çadırı, tehlikeli adım ve dokunma gerilimlerinin oluşması,
- Yapı içindeki aygıt ve donanımlarda atlamaların meydana gelmesi,
- Aşırı gerilimlerin oluşması ve bunların yürüyen dalgalar biçiminde çevreye yayılması, vb.

HASAR ÖRNEKLERİ



Şekil 3. Yaklaşık 5 kA ve 8/20 μ s'lik akım darbesinin laboratuvar zemininde oluşturduğu hasar.

HASAR ÖRNEKLERİ



Şekil 4. Standart yıldırım darbe akımının osilogramı
(8/20 μs , akım: $I_m \cong 5 \text{ kA}$, yük miktarı : $Q \cong 0,06 \text{ C}$).

Gerçek bir yıldırımında,

$$I_m \cong 2 \text{ kA} - 200 \text{ kA},$$
$$Q \cong 0,5 \text{ C} - 20 \text{ C}$$

olabilmektedir.

HASAR ÖRNEKLERİ



Şekil 5. Odun deposunda yıldırım kaynaklı hasar.

18 Ekim 2019

HASAR ÖRNEKLERİ



Şekil 6. Ağaçta yıldırım kaynaklı hasar.

HASAR ÖRNEKLERİ



Şekil 7. Yıldırım kaynaklı çatı yangını.

YILDIRIMA KARŞI KORUMA SİSTEMLERİ

Yıldırıma karşı koruma sistemleri, dıŐ ve iç sistemler olarak gruplandırılır.

- DıŐ sistemler, yapılarda oluşabilecek fiziksel hasarları ve olası kayıpları azaltmaya yönelik önlemleri içerir.
- İç sistemler ise genel olarak elektrik ve elektronik sistemlerinde ortaya çıkabilecek arızaları önlemek/azaltmak için alınan koruma önlemlerini kapsar.

YILDIRIMA KARŞI KORUMA SİSTEMLERİ

DıŐ koruma sistemleri, olası yıldırım akımlarına düşük empedanslı **yollar** oluşturmak üzere tesis edilir ve aşağıdaki üç temel bölümden oluşurlar:

- Hava sonlandırma uçları (sistemi),
- Topraklama sistemi,
- Hava sonlandırma uçlarını topraklama sistemi ile birleŐtiren iletken donanım.

Yıldırım çarpmalarının, yapı içinde oluşabilecek ikincil etkilerini azaltmaya yönelik eşpotansiyel kuşaklama sisteminin de göz önüne alınması gerekir.

Uygulamada, geleneksel (konvansiyonel) ve geleneksel olmayan yıldırımdan korunma sistemleri biçiminde iki farklı sistemle karşılaşılmaktadır.

Geleneksel Yıldırımdan Koruma Sistemleri

Geleneksel sistemlerde,

- Hava sonlandırma için Franklin çubuklarının kullanılması,
- Birleştirme ve iniş iletkenleri ile kafes yapısı oluşturulması,
- Uygun topraklama ve eşpotansiyel kuşaklama yapılması öngörülmektedir.

Tecrübe ve gözlemler, uygun biçimde tasarlanıp tesis edilmiş geleneksel sistemlerin, oluşabilecek hasarları önemli ölçüde azaltılabildiğini göstermektedir.

Geleneksel sistemlerin tasarım ve uygulamaları, gerek ulusal gerekse uluslararası standartlarda ayrıntıları ile tanımlanmıştır.

Konu ile ilgili birincil referans,

“TS EN 62305 / 2011-2012 – Yıldırımdan Korunma” standart dizisidir.

Geleneksel Yıldırımdan Koruma Sistemleri

TS EN 62305 – Yıldırımdan Korunma” standart dizisi dört bölümden oluşmaktadır:

- **TS EN 62305-1 / Haziran 2012 – Bölüm 1: Genel Kurallar,**
Yapıların, tesisatlarının, içindekilerin yıldırımdan korunmasında izlenmesi gereken genel ilkeleri,
- **TS EN 62305-2 / Temmuz 2012 – Bölüm 2 : Risk Yönetimi,**
Yapılarda veya hizmet tesisatlarında yıldırım kaynaklı risklerin değerlendirilmesini,
- **TS EN 62305-3 / Temmuz 2012 – Bölüm 3: Yapılarda Fiziksel Hasar ve Hayati Tehlike,**
Yapının fiziksel hasara karşı korunması ve oluşan dokunma ve adım gerilimlerinden kaynaklanan zararın önlenmesi ile ilgili kuralları,
- **TS EN 62305-4 / Kasım 2011 – Bölüm 4: Yapılardaki Elektrik ve Elektronik Sistemler,**
Bir yapıdaki elektrik ve elektronik sistemler için yıldırım elektromanyetik darbe risklerine karşı koruma sistemlerinin tasarım, tesis, bakım ve deneyleri kapsamaktadır.

Geleneksel Yıldırımdan Koruma Sistemleri

Bu standart serisi özet olarak,

- Risk analizi yapılmasını,
- Franklin çubukları ve kafes yapısının kullanılmasını,
- Eşpotansiyel kuşaklama tesis edilmesini,
- Uygun topraklama yapılmasını,
- Darbe koruma aygıtlarının tesis edilmesini tanımlamaktadır.

Geleneksel Olmayan Yıldırımdan Koruma Sistemleri

Ülkemizde aktif başlıklı sistemler olarak tanımlanmaktadırlar. Aktif başlıkların, yıldırıma karşı etkin davranış gösterdikleri varsayılmaktadır.

Bunlar :

- Radyoaktif başlıklar,
- Yıldırım önleyici diziler,
- Erken atış uyarımlı (early streamer emission–ESE) başlıklar biçiminde tanımlanmaktadırlar.

Aktif başlıklarla ilgili referans,

NF C 17-102 / Septembre 2011 Protection contre la foudre
Fransız standardıdır.

Geleneksel Olmayan Yıldırımdan Koruma Sistemleri

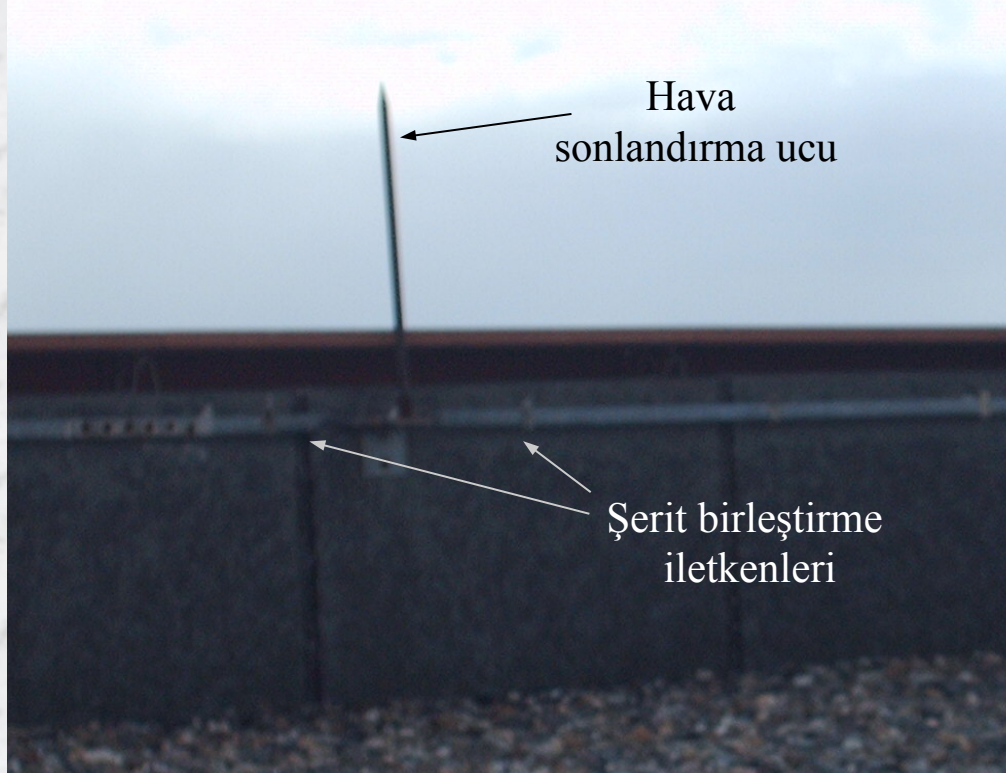
NF C 17-102 / Septembre 2011 Protection contre la foudre-Systèmes de protection contre la foudre à dispositif d' amorçage.

(Yıldırımdan korunma-Erken atış uyarımlı yıldırım koruma sistemleri)

Buna göre:

- Aktif başlık, aynı koşullarda tekil bir yakalama çubuğuna göre daha erken iyonizasyon yapar.
- Aktif başlığın etkinliği, $\Delta T = 10 \mu s - 60 \mu s$ arasında olmalıdır.
- Her bir başlık için **en az iki** iniş iletkeni tesis edilmelidir.
- Akım dağılımını sağlamak için, iniş iletkenleri **farklı cephelere** yerleştirilmelidir.
- Eşpotansiyel kuşaklama yapılmalıdır.

KORUMA UYGULAMALARI



Şekil 8. Düz çatıda hava sonlandırma ucu ve birleştirme iletkenleri (Yatay birleştirme iletkenleri duvarın üst yüzeyine yerleştirilmeli).

KORUMA UYGULAMALARI



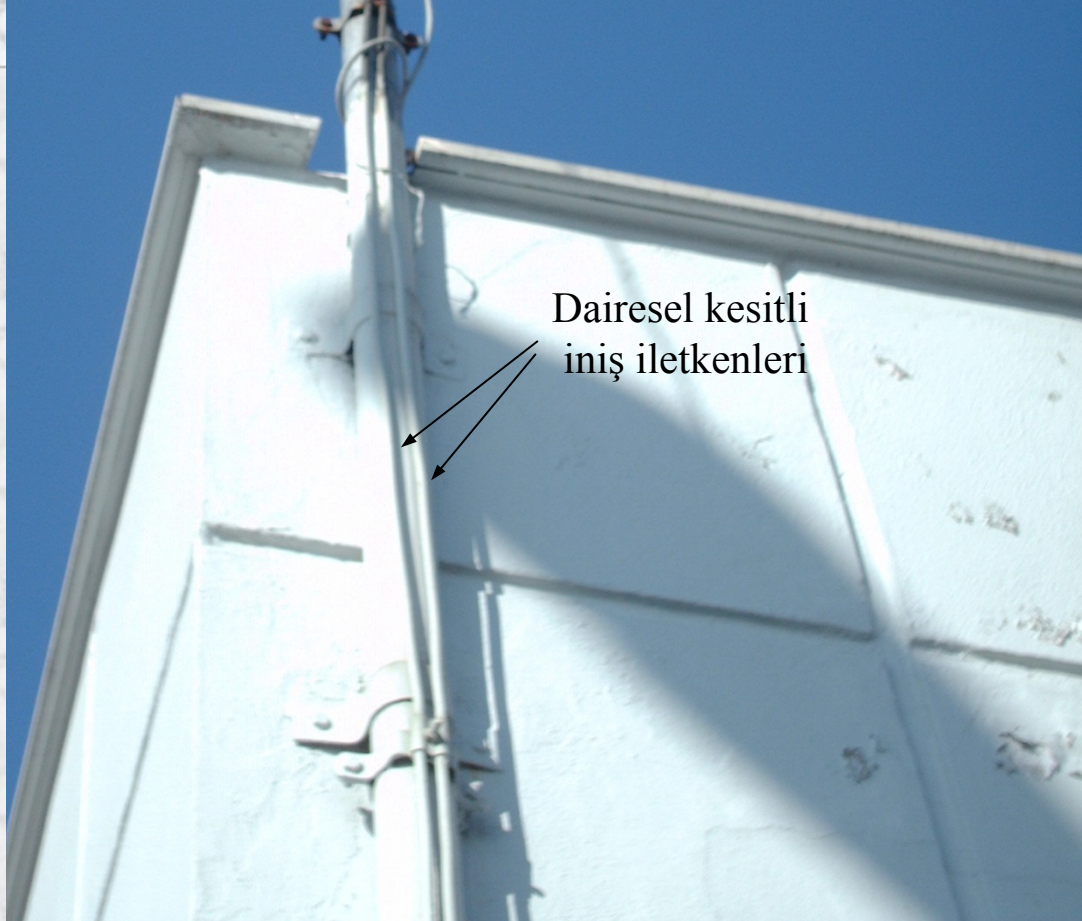
Şekil 9. Eğimli çatıda hava sonlandırma ucu ve birleştirme iletkenleri (İletkenler dar açı yapmamalı, dirsek yarıçapları 20 cm'den büyük olmalı ve en az iki iniş iletkeni tesis edilmelidir).

KORUMA UYGULAMALARI



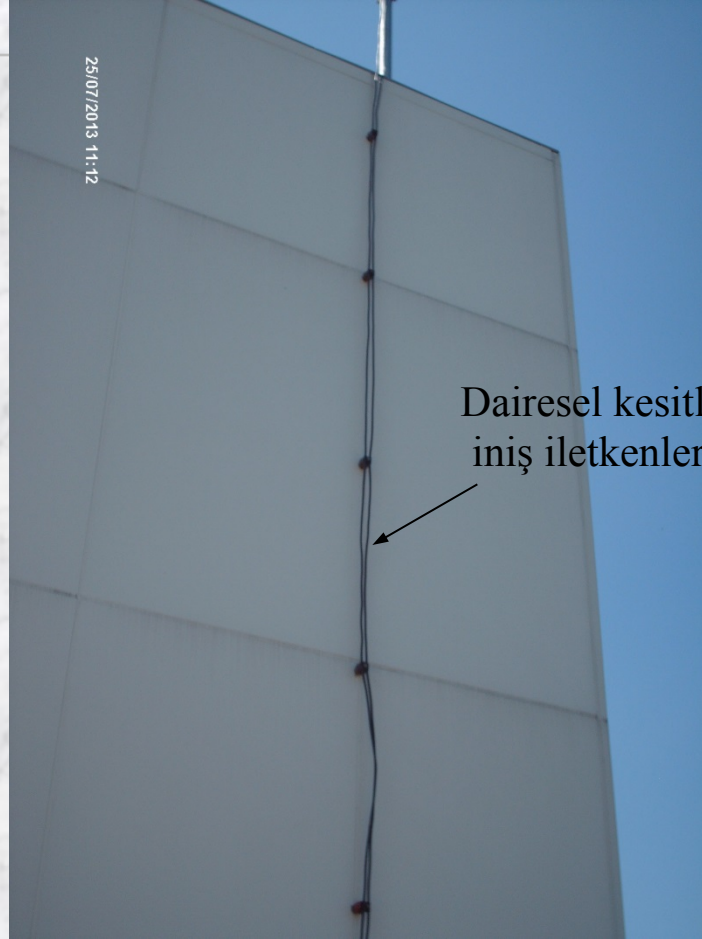
Şekil 10. Aktif yıldırımılık uygulama örneği.

KORUMA UYGULAMALARI



Şekil 11. Aktif sistemde iniş iletkenleri
(İniş iletkenleri farklı cephelere yerleştirilmeli).

KORUMA UYGULAMALARI



Şekil 12. Aktif yıldırımılık uygulamasında iniş iletkenleri.

KORUMA UYGULAMALARI



Şekil 13. Aktif yıldırımılık ve iniş iletkenleri.

DEĞERLENDİRME



Şekil 14. Korumasız bir ağaç

(İki yanında aktif başlıklarla korunan yapılar mevcuttu).

DEĞERLENDİRME



Şekil 15. Yıldırım düşmesi sonucu oluşan hasar

(Yıldırımın düştüğü nokta, mevcut iki aktif başlığın koruma bölgesi içinde).

SONUÇ

- Konu ile ilgili gözlem ve çalışmalar, uygun biçimde tasarlanıp, kurulum ve bakımları düzenli yapıldığında, geleneksel koruma sistemlerinin yeterince güvenli olduğunu göstermektedir.
- Tesis ve yapılarda yıldırım bakımından risk analizi yapılmalıdır.
- Risk analizi sonucuna göre (gerekli ise), koruma düzeyi belirlenmeli, buna uygun sayı ve nitelikte yakalama ucu ve iniş iletkenleri tesis edilmelidir.
- Topraklama sistemi, tehlikeli adım gerilimleri oluşabileceği dikkate alınarak düzenlenmelidir.
- Güvenilir bir koruma sistemi için eşpotansiyel kuşaklama yapılmalı ve tesislerde darbe koruma aygıtları kullanılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] A. Braunstein, The Lightning, AEAI Journal, No. 1, pp. 5-8, 1992.
- [2] O., GAM, Effects of Lightning on Assets, Facilities and Structures, NLSI-National Lightning Safety Institute, [Structural Lightning Safety](http://www.lightningsafety.com/index.html) (<http://www.lightningsafety.com/index.html>).
- [3] IEC 62305-1 Ed. 2.0 / 2010-12, Protection against lightning – Part 1: General principles.
- [4] TS EN 62305-1/Haziran 2012, Yıldırımdan korunma - Bölüm 1: Genel kurallar.
- [5] H., İSMAİLOĞLU, M., YEGİN, Yıldırımdan Koruma Sistemleri Standartlar, Yönetmeliklerimiz ve Uygulamalar, II. Ulusal Elektrik Tesisat Kongresi, 24-27 Kasım 2011, İzmir.
- [6] V., COORAY, “[Non Conventional Lightning Protection Systems](#)”, (Invited Lecture), 30th ICLP- 30th International Conference on Lightning Protection, Cagliari, Italy, Sept. 2010.
- [7] C., BOUQUEGNEAU, The Lightning Protection International Standard IEC 62305, ICLP 2006 (Invited Lecture), Kanazawa, Japan, September 18-22, 2006.
- [8] NFPA 780/2000, Standard for the installation of lightning protection systems, (National Fire Protection Association), (2011 yılında güncellenmiştir).
- [9] IEC 62305-2 Ed. 2.0 / 2010-12, Protection against lightning – Part 2: Risk management.
- [10] TS EN 62305-2 / Temmuz 2012, Yıldırımdan korunma - Bölüm 2: Risk yönetimi (İngilizce Metin).
- [11] IEC 62305-3 Ed. 2.0 / 2010-12, Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard.

KAYNAKLAR

- 1 [12] TS EN 62305-3 / Temmuz 2012, Yıldırımdan korunma - Bölüm 3: Yapılarda fiziksel hasar ve hayati tehlike.
- 2 [13] IEC 62305-4 Ed. 2.0 / 2010-12, Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures.
- 3 [14] TS EN 62305-4 / Kasım 2011, Yıldırımdan korunma - Bölüm 4: Yapılarda bulunan elektrik ve elektronik sistemler (İngilizce metin).
- 4 [15] V., COORAY (On Behalf of CIGRE Working Group C4.405), Lightning Interception - Non Conventional Lightning Protection Systems, Electra, No. 258, pp.36-41, October 2011.
- 5 [16] Z., FAYDALI, Yıldırımdan Koruma: Çeşitli Yöntemler, Üstünlükleri ve Sakıncaları, Y.L. Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- 6 [17] V. A., RAKOV, “Lightning Discharge and Fundamentals of Lightning Protection”, Journal of Lightning Research, Vol. 4, pp. 3-11, 2012.
- 7 [18] NF C 17-102/July 1995, Lightning protection- Protection of structures and open areas against lightning using early streamer emission air terminals.
- 8 [19] NF EN 62305-1(to -4)/Décembre 2006, Protection contre la foudre, Norme française.