

YILDIRIMIN ETKİNLİĞİ ÜZERİNE KUTBİYETİN ETKİSİ

Şule EMRE

Özcan KALENDERLİ

Muzaffer ÖZKAYA

İ.T.Ü. Elektrik - Elektronik Fakültesi
Fuat Külünk Yüksek Gerilim Laboratuvarı
80191 Gümüşsuyu / İSTANBUL

ÖZET

Yıldırım, doğal ve büyük bir boşalma olayıdır. Bu olayın oluşumu, gelişimi ve etkinliği konusunda açıklık kazandırıcı kuramsal ve deneysel çalışmalar sürmektedir. Bu çalışmada da yıldırımın kutbiyeti ile etkin olduğu bölge arasındaki ilişkiyi incelemek üzere yapılan deneysel bir çalışma ve sonuçları sunulmaktadır. Kurulan bir model düzen üzerinde gerçekleştirilen bu çalışmada, yer düzlemine yerleştirilen bina modellerine yıldırım kaynağından uzaklıkla atlama gerilimlerinin, gerilimin kutbiyetine bağlı olarak değişimleri ve davranışları incelenmiştir.

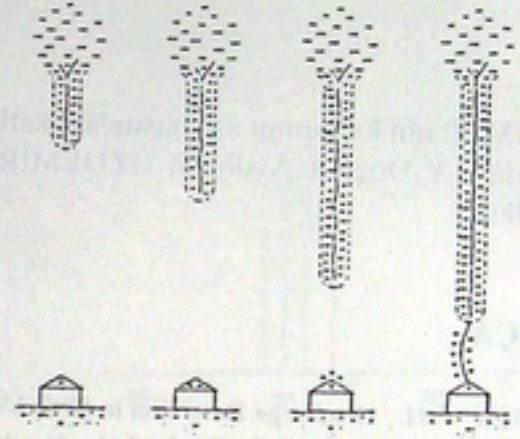
1. GİRİŞ

Yıldırım doğada karşılaşılan en büyük boşalma olayıdır. Bu olayın oluşumu, gelişimi ve etkinliği konusunda yapılan kuramsal ve deneysel çalışmalar sürmektedir. Yıldırımın darbe karakterinde ve çok büyük açıklıklarda oluşan bir boşalma olayı olması, modellemelerin hareket noktasıdır. Bu konudaki deneysel çalışmalar darbe gerilimi ile büyük açıklıklarda düzgün ve düzgün olmayan alanda pek çok etkeni göz önüne alarak genelde modeller üzerinde yapılmaktadır /1-4/. Bu çalışmada da yüklü yıldırım bulutu ve yerin düzlem elektrotlarla, öncü boşalmanın bir çubuk elektrotla ve yer yüzeyindeki binaların da düzenin ölçeğine uygun boyutlarda bina biçimi elektrotlarla modellendiği bir model düzen üzerinde yıldırımın kutbiyetinin yıldırımın etkinliği üzerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

2. YILDIRIM BOŞALMALARI

Yıldırım, büyük elektrot açıklıklarında kanal boşalması şeklinde oluşan bir boşalma olayıdır. Yüklü bir bulutta alan

şiddeti yeteri kadar yükseldiği zaman ya bulut - bulut yıldırımı (bulut yıldırımı) ya da bulut - yeryüzü yıldırımı (aşağıya doğru inen yıldırım) oluşur. Yeryüzündeki alanı bozan yüksek veya sivri yerler nedeniyle yeryüzü - bulut yıldırımı (yukarıya doğru çıkan yıldırım) oluşabilir (Şekil 1).



Şekil 1. Yıldırımın gelişimi.

Yeryüzü yıldırımları buluttaki artı veya eksi yüklü merkezlerden ya da yeryüzündeki artı veya eksi yüklü sivriliklerden ileri gelebildikleri için dört tür yıldırımdan söz edilebilir:

- 1) Eksi buluttan aşağıya doğru inen yıldırım,
- 2) Eksi buluta doğru yükselen yıldırım,
- 3) Artı buluttan aşağıya doğru inen yıldırım,
- 4) Artı buluta doğru yükselen yıldırım.

Yıldırım bulutu ile toprak arasındaki kuvvetli elektrik alanlarının kaynağı, yıldırım bulutundaki elektrik yükleridir. Bulutta var olan girdaplı hava akımları nedeniyle elektrik yükleri bulut içinde ayrı ayrı yerlerde toplanırlar. Yıldırım, elektrik alanının en büyük olduğu yük birikmesi durumunda başlar. Bir merkezin ön boşalması toprağa erişene kadar, bu merkezin potansiyeli

yaklaşık olarak sabit kalır ve buluttaki yük birikimleri arasında karşılıklı bir etki olmaz. Ana boşalmadan sonra bulutun birinci yük merkezi toprak potansiyelinde olur. Boşalma olan birinci merkezle komşu merkez arasında potansiyel farkı büyür; böylece bu iki merkez arasında boşalma oluşur. Boşalma komşu merkezden birinci boşalmanın kanalına eriştikten sonra, bu yol boyunca hızla bir ön boşalma oluşmaya başlar /5/.

Yıldırım darbe karakterinde tek kutbiyetli bir boşalma olayıdır. Kutbiyeti artı veya eksi olabilir. Doğada oluşan yıldırımların %70 ile %90'ı eksi kutbiyetlidir /6/.

Yıldırımın akımı da birkaç kiloamper ile 200 kA arasında oldukça geniş sınırlar içinde değişmektedir. Yıldırımların çoğunun akım şiddeti 20 kA'ın altındadır. Akımı 200 kA den büyük yıldırımlara az rastlanır /6-8/.

3. YILDIRIMIN GELİŞİMİ /4-8/

Büyük açıklıklarda boşalma olayları, kanal boşalma teorisi ile açıklanabilmektedir. Yıldırım da büyük elektrot açıklığında gerçekleşen bir boşalma olayı olarak kanal teorisi ile incelenebilir. Bu incelemede bulut ve yeryüzü, elektrotlar olarak düşünülebilir.

3.1. Düzgün Alanda Kanal Boşalması

Düzgün alanda kanal teorisine göre atmosfer basıncı veya daha yüksek basınçlarda ve büyük elektrot açıklıklarında katot yakınında oluşan her serbest elektron, anot doğrultusundaki devinimi sırasında bir elektron çığı oluşturur. Birbirlerine göre eşit ve yüksek hızda devinen elektronlar çığın başını (elektron bulutunu) oluştururlar. Elektronlara göre çok daha yavaş devinen iyonlar ise geri kalarak çığın artı yüklü gövdesi ile kuyruğunu oluştururlar /6/.

Artı iyonların oluşturduğu elektrik alanı, kolayca dış alan mertebesine erişebilir. Dolayısıyla çığ başında toplam alan, sıfır hatta ters yönde olabilir. Bu durumda çığ başındaki elektronlar artık anoda varamazlar, aksine frenlenirler ve artı yüklere doğru çekilirler. Böylece artı ve eksi yükler birbiri içine girerek boşalmanın

ikinci evresi olan plazma veya kanalı oluştururlar. Plazmada bulunan artı ve eksi elektrikli parçacıklar birbirleriyle birleşmeye ve fotoiyonlaşma ile yeni serbest elektronlar oluşturmaya başlarlar.

Çığın baş tarafından çıkan mor ötesi ışımanın yoğunluğu, elektron çığının önünden belirli bir uzaklıkta bir fotoelektron oluşturabilecek kadar büyür. Bu fotoelektron, dış alanla çığ alanının toplamından oluşan bir alan içinde bulunur. Fotoelektron bu alan etkisi ile anot doğrultusunda hızlanarak çarpma suretiyle iyonlaşma ve ayrı bir çığ (sekonder çığ) oluşturmaya başlar.

Birinci ve ikinci çığların ön yüzleri arasındaki bölge, birinci çığın elektronları ve ikinci çığın artı iyonlarıyla dolar ve bunlar kanal plazmasını oluştururlar. Fotoelektronlar yardımıyla sekonder çığların oluşumunu yeni fotonların üretimi izler ve böylece olayın kendi kendine devamı sağlanmış olur. Bu şekilde gelişen kanala katot kanalı adı verilir.

Eğer çığ evresinden plazma evresine geçiş elektrotlar arası açıklıkta, anot önünde olursa, bu durumda anot kanalı söz konusu olur /4/, /6/.

3.2. Düzgün Olmayan Alanda Kanal Boşalması

Düzgün olmayan alanda boşalma, eğrilik yarıçapı küçük olan elektrotta başlar ve elektrodun kutbiyetine bağlı olarak gelişir.

Eksi çubuk-artı düzlem elektrot durumunda, ilk elektron çığı doğrudan doğruya katottan başlar ve anot doğrultusunda büyür. Bu sırada çığ gövdesindeki artı iyonlar, elektrik alanını katot yönünde kuvvetlendirirken, anot yönünde de zayıflatırlar. Bunun sonucu, iyonlaşma bölgesi katoda doğru kayar, dolayısıyla kanalın anot yönünde gelişmesi güçleşir. Gerilimin yükseltilmesi durumunda, artı yüklerin anot yönündeki alanı zayıflatıcı etkisi azalır ve bir kanalın oluşması söz konusu olur. Kanal tamamen geliştikten sonra, çığ birinci iletken plazma ile dolar ve bu, katodun anoda doğru yaklaşması şeklinde etkir. Sonuçta plazmanın ucunda elektrik alanı

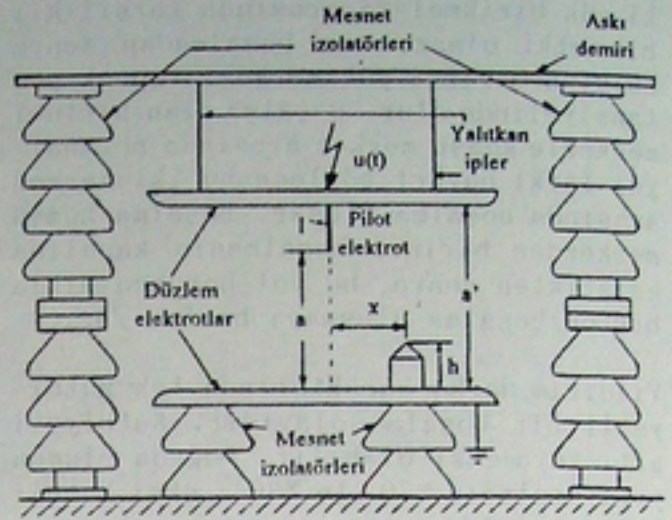
tekrar büyür ve dolayısıyla bu bölgeden anoda doğru yayılan yeni bir elektron çığı oluşur.

Eksi sivri uçtan başlayan kanal, toplam kanalın yayılma doğrultusuna zıt yönde gelişen bir sıra kanalcıktan oluşur. Artı sivri uç-eksi düzlem elektrot durumunda ise boşalma olayı başka bir karakter gösterir. Burada ilk çığ, çubuk elektrottan belirli bir uzaklıkta oluşur ve çubuk elektroda doğru gelişir. Çığın elektronları artı çubuk elektrotta nötralize olurken, artı iyonlar da eksi düzlem elektrot yönünde elektrik alanını kuvvetlendirirler. Bundan sonra iyonlaşma bölgesi eksi düzlem elektroda doğru kayar ve kanalın gelişmesi kolaylaşır. Burada ikinci bir çığın oluşması için birinci kanalın tam gelişmesine, yani birinci elektron çığının tamamen plazma ile dolmasına gerek yoktur, çünkü ilk çığın artı yükleri iyonlaşma olasılığı büyük olan yüksek alan şiddetli bölgeyi içe doğru genişletir ve yeni elektron çığlarının oluşumunu kolaylaştırır. Sonunda ikinci çığın başı plazmanın başına kadar yaklaşır ve bu çığın elektronları da artı çubuk elektrotta nötralize olurlar. Böylece sivri uçtan itibaren iletken kanalın gelişmesi, büyük bir hızla, sürekli biçimde olur ve eksi sivri uç durumundakinden daha küçük bir gerilime gereksinim gösterir. Bu durumda kanal, toplam kanalla aynı doğrultuda gelişen birçok kanaldan oluşur /4-8/.

4. DENEYLER

4.1. Deney Düzeni

Yıldırımın etkinliği üzerine kutbiyetin etkisini incelemek amacıyla olayın laboratuvar koşullarında modellenmesi yoluna gidilmiştir (Şekil 2). Bu amaçla, İ.T.Ü. Fuat Köllük Yüksek Gerilim Laboratuvarında gerçekleştirilen deneysel çalışmada, yüklü yıldırım bulutu ve yeryüzü, $85 \times 185 \text{ cm}^2$ boyutlarında, birbirine paralel iki düzlem elektrotla (bulut ve yer elektrotları); öncü (pilot) boşalma, bulut elektrodunun ortasına yerleştirilmiş $21,5 \text{ cm}$ uzunluğunda ve $1,8 \text{ mm}$ çapında bir çubuk elektrotla (pilot elektrot) ve yer yüzeyindeki binalar da düzenin ölçeğine uygun boyutlarda yapılmış bina biçimi elektrotlarla modellenmiştir.

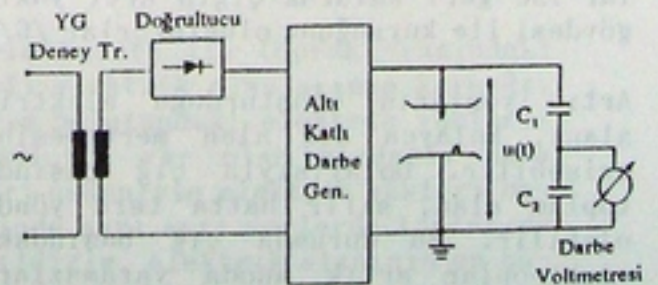


Şekil 2. Model düzeni.

Yeryüzünü modelleyen düzlem elektrot ile toprak arasına ölçü direnci bağlayabilmek amacıyla yer elektrodu mesnet izolatörleri üzerine yerleştirilmiştir.

Bulut elektrodu, yerden yalıtımını sağlamak ve elektrot açıklığını ayarlayabilmek amacıyla, dört adet mesnet izolatörü üzerine tutturulan askı demirlerine yalıtkan iplerle asılmıştır. Bulut elektrodu bir darbe üreticinin çıkışına bağlanmıştır. Bulut elektrodun ortasına yerleştirilmiş olan pilot elektrodun uzunluğu (l), atlamalar pilot elektrodun ucundan olacak şekilde, deneysel olarak saptanmıştır.

Bulut ile yer elektrodu arası açıklık sabit ($a' = 50,5 \text{ cm}$) tutulmuş, buna göre pilot elektrodun alt ucu ile yer elektrodu arasındaki açıklık (a) 29 cm olmuştur. Model düzende yeryüzündeki binaları modellemek amacıyla, yer elektrodunun ortasına, sırasıyla $1,3 - 2,3 - 3,3 - 4,3$ ve $5,3 \text{ cm}$ yüksekliklerinde (h), bina biçimi elektrotlar yerleştirilmiştir.



Şekil 3. Deney düzeni.

Model düzen, Şekil 3 de gösterilen yıldırım darbe gerilimlerinin elde edildiği ve ölçüldüğü, 1 MV, 50 kJ'luk Marx bağlamı tipinde altı katlı bir darbe üretici ve ölçme düzenine (C_1 , C_2 ve darbe voltmetresine) bağlanmıştır.

4.2. Deney Sonuçları

Bu model elektrot düzeninde bulut-yer düzlem elektrotları arası açıklık (a') sabit tutularak, bina modeli elektrodun yüksekliği (h) ve öncü boşalmayı modelleyen çubuk elektrodun eksenine göre uzaklığı (x) değiştirilerek deneyler yapılmıştır.

Deneyler, kutbiyet etkisini incelemek amacıyla hem artı hem de eksi kutbiyetli, 1,2/50 μ s'lik standart darbe gerilimleri ile yapılmıştır. Her deneyden önce sıcaklık, basınç ve nem ölçülerek ortam koşulları göz önünde bulundurulmuştur.

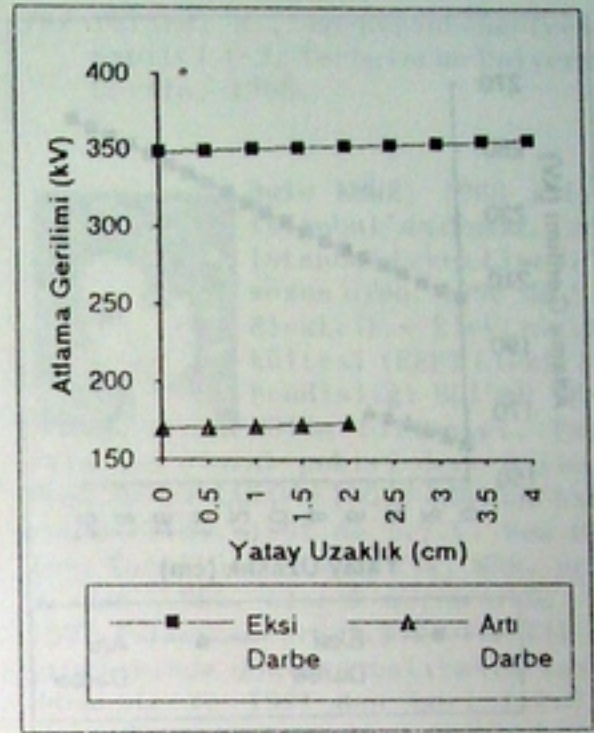
Farklı bina modeli elektrot yükseklikleri ve uzaklıkları için pilot elektrot ile bina modeli arasındaki %50 atlama gerilimleri saptanmıştır. Bu amaçla model düzene her elektrot durumu için belirli sayıda darbe gerilimi uygulanmış ve uygulanan darbelerin %50'sinin deney düzeninde atlama oluşturduğu gerilimler ölçülmüştür. Boşalmalar pilot elektrot ile yer elektrodu veya bina modeli ile bulut elektrodu arasında olmaya başladığında, deneye son verilmiştir.

Şekil 4'den Şekil 8'e kadar 1,3 cm - 2,3 cm - 3,3 cm - 4,3 cm ve 5,3 cm yüksekliğindeki bina modeli elektrotlar için artı ve eksi kutbiyetli darbe gerilimlerinde elde edilen %50 atlama gerilimlerinin, öncü boşalmayı modelleyen çubuk elektrodun eksenine olan yatay uzaklığına göre değişimleri verilmiştir.

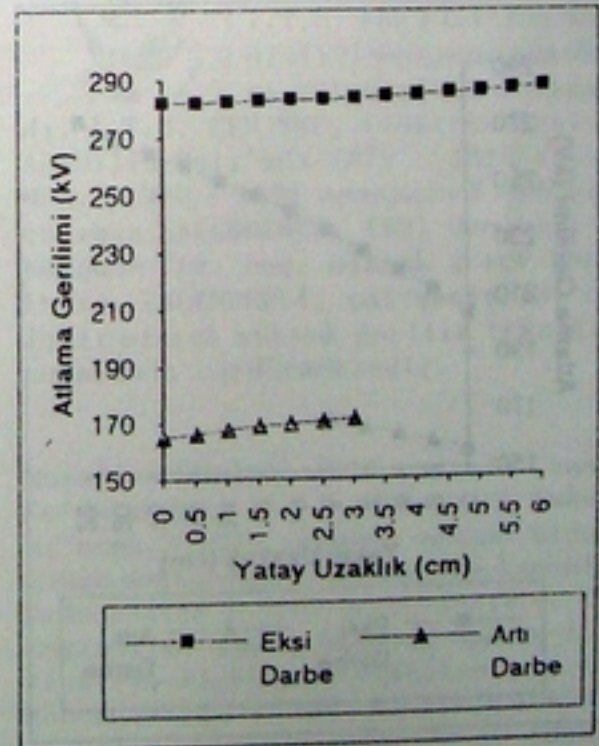
5. SONUÇLAR

Bina modeli elektrotların çeşitli yükseklik ve açıklıkları için atlama gerilimlerine kutbiyetin etkisinin deneysel olarak araştırıldığı bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

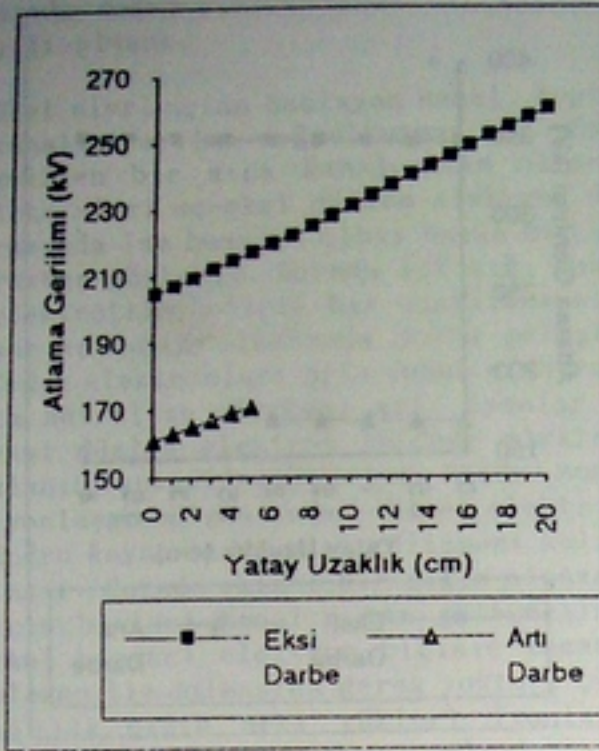
- 1) Artı darbe geriliminde açıklık arttırıldıkça %50 atlama gerilimi de artmaktadır. Ancak boşalma, belirli



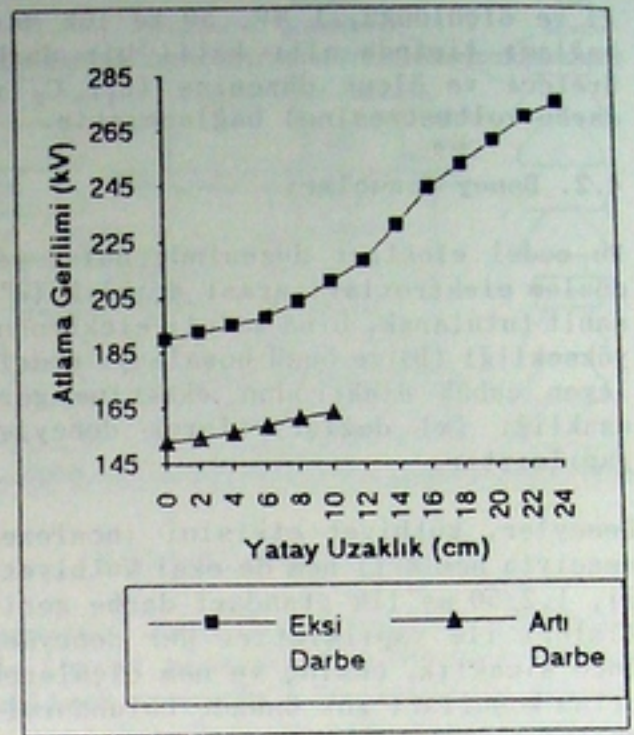
Şekil 4. 1,3 cm yüksekliğindeki bina modeli için artı ve eksi darbe geriliminde elde edilen %50 atlama gerilimlerinin yatay uzaklık ile değişimleri.



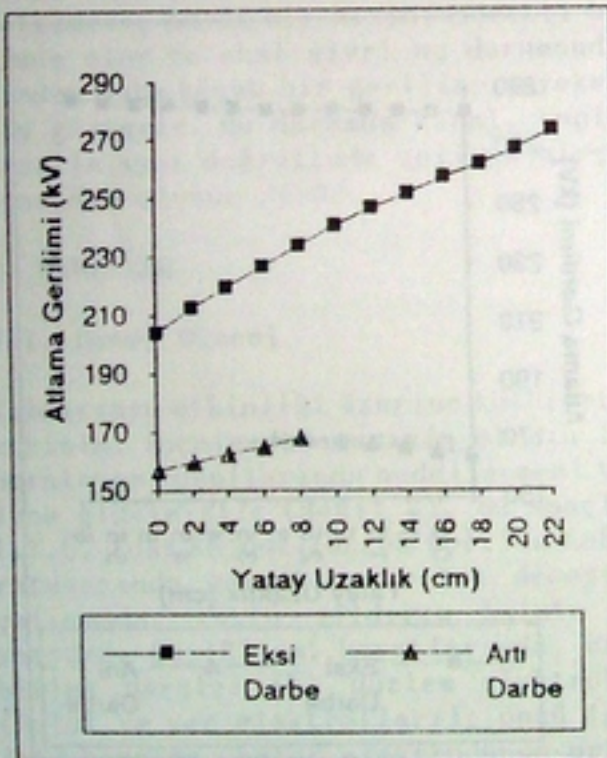
Şekil 5. 2,3 cm yüksekliğindeki bina modeli için artı ve eksi darbe geriliminde elde edilen %50 atlama gerilimlerinin yatay uzaklık ile değişimleri.



Şekil 6. 3,3 cm yüksekliğindeki bina modeli için artı ve eksi darbe geriliminde elde edilen %50 atlama gerilimlerinin yatay uzaklık ile değişimleri.



Şekil 8. 5,3 cm yüksekliğindeki bina modeli için artı ve eksi darbe geriliminde elde edilen %50 atlama gerilimlerinin yatay uzaklık ile değişimleri.



Şekil 7. 4,3 cm yüksekliğindeki bina modeli için artı ve eksi darbe geriliminde elde edilen %50 atlama gerilimlerinin yatay uzaklık ile değişimleri.

bir açıklıktan sonra, bulut elektrodu ile bina modeli arasında olmaktadır. Yani artı kutbiyetli yıldırımların binalara düşme olasılığı, binaların yıldırımın öncü boşalmasına yakınlığı ile artmakta, ancak öncü boşalma binalardan uzaklaştıkça atlama gerilimi ve olasılığı hızla azalarak çok dar bir bölgeden sonra sıfıra düşmektedir.

2) Eksi darbe geriliminde de yatay uzaklık arttırıldıkça, %50 atlama gerilimi artmaktadır. Bu durumdaki atlama gerilimi değerleri, artı darbe gerilimindekilere göre daha yüksek elde edilmiştir.

3) Eksi darbe geriliminde bina modeli elektrodun yatay açıklığı, artı darbedekine göre daha fazla arttırılabilmektedir. Yani eksi kutbiyetli yıldırımların binalara düşme olasılığı, yıldırımın genliği arttıkça artmakta ve artı kutbiyetli yıldırıma göre daha geniş bir bölge içinde yıldırım düşme olasılığını sürdürmektedir.

4) Binaların yüksekliğinin de yıldırımların binalara düşme olasılığında payı vardır. Yüksek binalara yıldırımların düşme olasılığı her durumda alçak binalara göre daha yüksektir. Ayrıca, deneyler sırasında da gözlemlendiği gibi yıldırımların bina modellerinin yalnızca en yüksek noktalarına değil, bazı durumlarda yan yüzlerine de düştüğü görülmüştür. Bu durum, özellikle modellerin çubuk elektrottan (öncü boşalmadan) uzak olduğu, yani boşalmalarda kararsızlıkların görülmeye başladığı uzaklıklarda gözlenmiştir. Uygulamada, yüksek binaların yıldırıma karşı korunmasında bu durumun göz önüne alınması gerekir.

KAYNAKÇA

- /1/ SUZUKI, T., MIYAKE, K., KISHIZIMA, I., Study on Experimental Simulation of Lightning Strokes, IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-100, No. 4, pp. 1703-1711, Apr. 1981.
- /2/ DELLERA, L., GARBAGNATI, E., Lightning Stroke Simulation by Means of The Leader Progression Model, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 5, No. 4, pp. 2009-2022 - pp. 2023-2029, Oct. 1990.
- /3/ SUZUKI, T., MIYAKE, K., SHINDO, T., Discharge Path Model in Model Test of Lightning Strokes to Tall Mast, IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-100, No. 7, pp. 3553-3562, July 1981.
- /4/ EMRE, Ş., Yıldırım Boşalmaları ve Etkinlik Bölgelerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1992.
- /5/ KHALIFA, K., High-Voltage Engineering, Theory and Practice, Marcel Dekker, Inc., New York, 1990.
- /6/ BEYER, M., BOECK, W., MÖLLER, K., ZAENGL, W., Hochspannungstechnik, Theoretische und Praktische Grundlagen, Springer Verlag, Berlin, 1986.
- /7/ ZAENGL, W., Hochspannungstechnik, Die Blitzenladung, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich, 1985.

/8/ PEISER, R., Hochspannungstechnik, Kapitel 1-2, Technische Universität Berlin, 1990.



Şule EMRE, 1968 yılında İstanbul'da doğdu. 1986'da İstanbul Erkek Lisesi'nden mezun oldu. 1990'da İ.T.Ü. Elektrik - Elektronik Fakültesi (EEF) Elektrik Mühendisliği Bölümü (EMB)yi Bölüm birincisi, Fakülte ikincisi olarak pekiyi derece ile Ord. Prof. Bedri KARAFAKIOĞLU ödülünü kazanarak bitirdi. 1992'de İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü (FBE), Elk. Müh. programından Y.Müh. olarak mezun oldu. EMRE, 1992 yılından beri İ.T.Ü. FBE Elk. Müh. programında doktora çalışmalarını sürdürmekte ve 1991'den beri İ.T.Ü. EEF EMB, Elektrik Tesisleri Anabilim Dalında Araş. Gör. olarak çalışmaktadır.



Özcan KALENDERLİ, 1956 yılında İstanbul'da doğdu. İ.T.Ü. EEF'den 1978'de Müh., 1980'de Y.Müh. olarak mezun oldu. 1990'da İ.T.Ü. FBE Elektrik Mühendisliği programında doktora çalışmalarını tamamladı. İ.T.Ü. EEF EMB, Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı'nda 1979 - 1980 arasında Müh., 1980 - 1991 arasında Y.Müh. olarak çalışan KALENDERLİ, 1991'den beri aynı Bölümde Yrd. Doç. olarak görev yapmaktadır. KALENDERLİ, çalışmalarını ağırlıklı olarak yüksek gerilim tekniği konularında sürdürmektedir.

Muzaffer ÖZKAYA, 1927 yılında Çanakkale'de doğdu. İ.T.Ü. Elektrik Fakültesi'nden Y.Müh. olarak mezun olduktan sonra doktorasını Almanya'da tamamladı. Uzun yıllar İ.T.Ü. de Dekanlık ve Bölüm Başkanlığı yapan ÖZKAYA, halen İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı'nda profesör ve Anabilim Dalı Başkanı olarak görev yapmaktadır. ÖZKAYA'nın yüksek gerilim tekniği ve aydınlatma tekniği konularında basılmış çok sayıda kitabı bulunmaktadır.