

YAKALAMA BÖLGESİ YAKLAŞIMI İLE YAPILARA YILDIRIM ÇARPMA RİSKİNİN HESABI

Özcan KALENDERLİ

ozcan@elk.itu.edu.tr

Gürkan SOYKAN

gsoykan@hotmail.com

İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
Maslak-İstanbul

ABSTRACT

In this study, the models for geometric shapes which is used for computing the lightning strike probability are defined. A computer program is developed for vertical structure with obvious height and horizontal structure with obvious length by using the Matlab 5.0, and the results are examined. In these examinations, the ground flash density, peak value of lightning current, the ratio of negative and positive lightning, the height of vertical structure and the length of horizontal structure are taken as input variables. The lightning strike probabilities are computed for different values of input variables. According to these computations, when the lightning current increases, the lightning probability decreases, when the height of vertical structure, the length of horizontal structure and ground flash density increase, the lightning probability increases.

1. GİRİŞ

Yıldırım, doğada meydana gelen en tanınmış, en tehlikeli, en güçlü, en büyük elektrot açıklıklı elektriksel boşalma olayıdır. Bu olay, bulutların elektriksel yüklenmesi ve zıt kutuplu yük merkezleri arasındaki yüklerin boşalması şeklinde meydana gelir. Yıldırım, akım, gerilim, ısı, ışık, ses gibi özellikleri ile aşırı akım ve gerilimlere, elektrodinamik etkileri ile şekilsel bozulmalara, yangın, erime gibi aşırı ısıl zorlanmalara, görme ve duyma gibi duyularda bozulmalara sebep olur. Yıldırımın insanlar ve yapılar için tehlikeli ve zararlı etkilerinden korunabilmek için yıldırımdan koruma sistemleri kullanılır.

Yıldırımdan koruma sistemleri, yıldırım akımını güvenli olarak toprağa akıtma görevi yapan düzenlerdir. Bir yıldırımdan koruma sistemi oluşturulmadan önce korunacak yapıya yıldırım çarpma olasılığının bilinmesinde yarar vardır. Bu bilgi, yapının yıldırımdan korunmasına gerek olup olmadığına ve koruma gerekiyorsa koruma sisteminin türüne karar vermede etkili olur. Yapılara yıldırım çarpma olasılığını belirlemek için farklı yöntemler

kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en tanınmış olanları, yuvarlanan küre yöntemi olarak tanınan elektrojeometrik yöntem, yürüyen dalga yöntemi olarak ta bilinen elektromanyetik yöntem ve yakalama bölgesi yaklaşımına dayanan geometrik yöntemdir.

Genelde bu yöntemlere göre yapıların yıldırıma karşı korunmasında çarpma uzaklığı kavramına dayanan ampirik formüller kullanılmaktadır. Bu ampirik formüllerde, yıldırım boşalmasının adım adım yere doğru ilerlediği ve yeryüzündeki çarpma noktasının son adımda belirlendiği göz önüne alınır [1].

Topraklanmış yapılara yıldırım çarpma uzaklığının belirlenmesinde yıldırımın kutbiyetinin ve yapının geometrisinin büyük önemi vardır. Örneğin pozitif kutbiyetli yıldırım durumunda çarpma uzaklığı yapının yüksekliğine çok az bağlıdır. Buna karşılık negatif kutbiyetli yıldırımlarda da çarpma uzaklığı küçüktür. Olasılık hesaplarında yapılar, geometrik olarak basitleştirme amacıyla yarı elipsoid, küre veya silindir şeklinde kabul edilerek çözümlemeler yapılır. Sonuçta bu bilgilerle, yıldırım akımına, yapının yüksekliğine ve biçimine bağlı olarak yıldırım çarpma olasılığı bulunur [2, 3].

Örneğin bir enerji iletim hattına yıldırım çarpma olasılığını veya diğer bir deyişle yıldırım çarpma sıklığını hesaplamak için IEEE

$$N = 0,004T_d^{1,35}(a + 4H^{1,09}) \quad (1)$$

basitleştirilmiş bağıntısını vermiştir [4]. Bu bağıntıda N, 100 km'lik bir hatta bir yılda çarpan yıldırım sayısını; T_d yıllık fırtınalı-yıldırımlı gün sayısını; a koruma hatları arasındaki yatay uzaklığı (m) ve H koruma hatlarının ortalama yerden yüksekliğini (m) göstermektedir.

Elektrojeometrik yöntem ile bir yapıya yıldırım çarpma olasılığının belirlenmesi amacıyla yapıların tüm geometrisi dikkate alınarak üç boyutlu inceleme yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem, enerji santralleri, iletim hatları ve binalar gibi her tür yapı için şekil ve

boyut sınırlanması olmadan geçerli olup yapının çevresindeki nesneleri ve yeryüzünün durumunu da göz önüne almaktadır [5]. Yine günümüzde giderek yaygınlaşan rüzgar çiftlikleri gibi özel yapılara, özellikle bu yapılar yüksek yıldırım sıklığına sahip yerlerde kurulduğu için, yıldırım çarpma riskini göz önüne alarak koruma yapmak gerekmektedir [6].

Bu çalışmada, yakalama bölgesi yaklaşımı ile bir yapıya yıldırım çarpma riskinin hesabı sunulmuştur. Hesaplarda, uygulamada sıkça karşılaşılan yatay ve düşey iletken şeklindeki iki temel yapı durumu ele alınmıştır. Yıldırım parametrelerinin çarpma olasılığı üzerindeki etkileri, hesapları geliştirilen bilgisayar programı yardımıyla yapılan, sayısal uygulama üzerinde gösterilmiştir.

2. YAKALAMA BÖLGESİ YAKLAŞIMI

Temel olgu, bulutun alt kısmından başlayan ve basamaklarla aşağı doğru inen öncü boşalmanın yere birleşme noktasının (çarpma noktasının), yere yaklaştığında belirlenmesidir. Yıldırımın yere doğru yaklaşırken çarpma noktasına doğru yöneldiği noktaya yönelme noktası, bu nokta ile yıldırımın çarpacağı nokta arasındaki uzaklığa da yönlendirme uzaklığı denir. Bir yapıdan yönlendirme uzaklığı içindeki bütün noktalar bir yapının yakalama bölgesini oluşturur.

N_g yıldırım yoğunluklu bir yerde, taban alanı ($\Delta x \cdot \Delta y$) olan ve Δz yüksekliğindeki prizmalardan oluşan yarı-sonsuz bir yakalama bölgesi içinde bir yapıya yıldırım çarpma olasılığı

$$\Delta N(z) = N_g \Delta x \Delta y \frac{dP}{dz} \Delta z \quad [\text{çarpma/yıl}] \quad (2)$$

olarak verilir. Burada dP/dz yönlendirme uzaklığı yoğunluk fonksiyonunu göstermektedir.

Yakalama bölgesi içindeki bir yönelme noktasından bir yapıya yıldırım çarpma olasılığı b ile gösterilecek olursa denklem (2)

$$dN = N_g b \frac{dP}{dr} dV \quad [\text{çarpma/yıl}] \quad (3)$$

olarak yazılır. Bu denklemle yönelme noktasının yakalama bölgesi içinde olduğu durumda yapıya bu noktadan yıldırım çarpma olasılığı hesaplanır. Bir yapıya çarpacak yıldırımların sayısını bulmak için bu diferansiyel büyüklüğün teorik olarak sıfırdan (yerden) sonsuza (bulutlara) kadar integrali hesaplanmalıdır. Ancak uygulama bakımından integralin sadece yapının yakalama bölgesi üst sınırına kadar hesaplaması yeterlidir. Bu yüzden çarpma sıklığı

$$N = N_g \int_V b \frac{dP}{dr} dV \quad [\text{çarpma/yıl}] \quad (4)$$

olarak yazılır. Bu eşitlikte

$$A_{eq} = \int_V b \frac{dP}{dr} dV \quad [m^2] \quad (5)$$

integral terimi, metrekare boyutunda bir büyüklük olup tanımladığı alana eşdeğer alan (A_{eq}) adı verilir. Eşdeğer alan hesabından yararlanarak bir yapıya yıldırım çarpma sıklığı, N

$$N = N_g \cdot A_{eq} \quad [\text{çarpma/yıl}] \quad (6)$$

bağıntısıyla bulunur. Buraya kadar verilen bilgilerden 1963 yılında Horvath'ın çalıştığı model ile belirlediği sabit b çizgileri kullanılarak yapılar için yakalama bölgesinin sınırları belirlenir [7]. Yakalama bölgesinin tanımlanması eşdeğer alanın hesaplanması için dolayısıyla çarpma sıklığının hesaplanması için öncelikli adımdır.

3. ÇARPMA SIKLIĞININ HESABI

Yakalama bölgesi içindeki her bir nokta için yıldırımın çarpma olasılığı $b = 1$, yakalama bölgesi dışında ise $b = 0$ olarak kabul edilir. Ayrıca r bağımsız değişken olarak alınarak

$$A_{eq} = \int_V \frac{dP}{dr} A(r) dr \quad [m^2] \quad (7)$$

$$\frac{dP}{dr} = \frac{P}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{r} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{P}{s} \ln \frac{r}{r_m} \right)^2} \quad [1/m] \quad (8)$$

yazılır. $A(r)$, yakalama bölgesi içinde yapıdan r kadar uzaklıktaki noktaların tanımladığı yüzeyin alanıdır. Bu integrali hesaplamak için en büyük yönlendirme uzaklığı ile en küçük yönlendirme uzaklığı arasındaki bölge eşit kalınlıklı alt bölgelere bölünür. Alt bölge kalınlığı, yapı yüksekliğinden büyük olacak şekilde seçilir. Bir bölgenin alt sınırında yönelme uzaklığı r_L , yüzey alanı A_L ve üst sınırında yönelme uzaklığı r_U , yüzey alanı A_U ise $A(r)$ için yaklaşık bağıntı

$$A(r) = A_L + \frac{A_U - A_L}{r_U - r_L} (r - r_L) \quad [m^2] \quad (9)$$

olur. Hesaplarda aşağıdaki genel denklem kullanılır.

$$A(r) = K_1 r^c + K_2 r^{c+1} \quad (10)$$

Burada

$$K_1 = \frac{f_L r_U - f_U r_L}{r_U - r_L} \quad \text{ve} \quad K_2 = \frac{f_U - f_L}{r_U - r_L} \quad (11)$$

dir. Bu denklemlerde f_L ve f_U , bölgenin alt ve üst sınırlarındaki $f(r)$ değerleridir. $f(r)$ işlevi yüzey alanı ile yönelme uzaklığı arasındaki bir ilişkiyi gösteren bir işlevdir. Denklem (10) denklem (7)'de yerine yazılırsa, eşdeğer alan

$$A_{eq} = K_1 \int_{r_L}^{r_U} \frac{dP}{dr} r^c dr + K_2 \int_{r_L}^{r_U} \frac{dP}{dr} r^{c+1} dr \quad [m^2] \quad (12)$$

şeklinde elde edilir. Burada $0 \leq c \leq 2$ aralığında değişmektedir. Bu integrallerin belirsiz hali,

$$\int \frac{dP}{dr} r^n dr = \frac{P}{s\sqrt{2\pi}} \int r^{n-1} e^{-\frac{1}{2}(\frac{P}{s} \ln \frac{r}{r_m})^2} dr \quad (13)$$

şeklinde yazılır. Bunun 0 dan r' 'ye integrali ise

$$\int_0^r \frac{dP}{dr} r^n dr = r_m^n e^{\frac{1}{2}(n \cdot s/P)^2} \Phi\left(\frac{P}{s} \ln \frac{r}{r_m} - \frac{n \cdot s}{P}\right) \quad (14)$$

olarak yazılabilir. Bu denklemlerden yararlanarak, eşdeğer alan

$$A_{eq} = P(+).A_{eq}(-) + P(-).A_{eq}(-) \quad [m^2] \quad (15)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Bu bağıntıda $P(+)$ buluttan yere doğru olan pozitif yıldırımların toplam yıldırım sayısı içindeki yüzdesini, $P(-)$ de buluttan yere doğru olan negatif yıldırımların yüzdesini göstermektedir.

Eşdeğer alan hesaplandıktan sonra yıldırım çarpma sıklığı, N

$$N = N_g \cdot A_{eq} \quad [\text{çarpma/yıl}] \quad (16)$$

bağıntısıyla bulunur. Bu bilgilerden yararlanarak bir yatay ve bir düşey iletken için yakalama bölgesi sınırları ve N değerinin hesabı gösterilecektir.

3.1 Yerden h yüksekliğinde yatay iletken durumu

Bu durumda yakalama bölgesi doğrultman bir eğrinin paralel yer değiştirmesi ile ortaya çıkmış bir tekneye benzer (Şekil 1). Bu doğrultmanın denklemi

$$\cos \phi = \epsilon - h/r \quad (17)$$

dir. Bu denklemde $\phi = \arccos(\epsilon - h/r)$ [radyan] ve

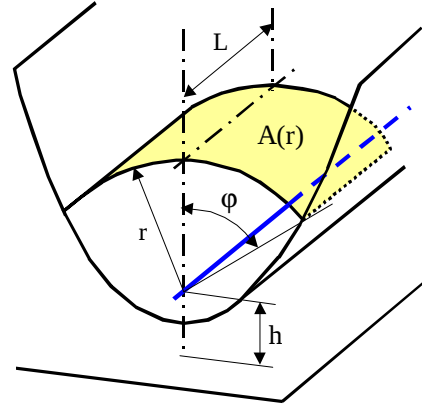
$$(\epsilon - h/r) < -1 \text{ ise } \phi = \pi \quad (18.a)$$

$$(\epsilon - h/r) > 1 \text{ ise } \phi = 0 \quad (18.b)$$

alınır. ϵ pozitif kutbiyetli yıldırım için 1,06 negatif kutbiyetli yıldırım için 0,88 olarak alınan bir sabittir. Yakalama bölgesinin yüzeyi, silindirselsel bir yüzey parçasıdır. Bu durumda $A(r)$ nin ifadesi

$$A(r) = L \cdot r \cdot \phi(r) \quad [m^2] \quad (19)$$

olur.



Şekil 1. Yerden h yüksekliğindeki yatay bir iletkenin yakalama bölgesi

3.2. h yüksekliğinde düşey iletken durumu

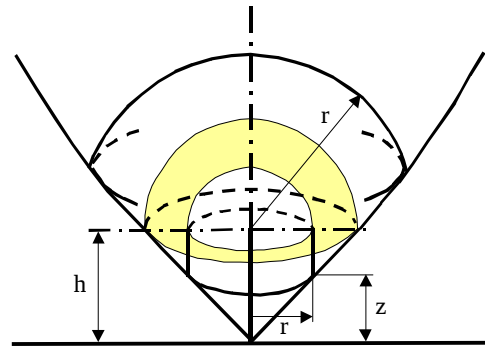
Bu durumda yakalama bölgesi içinde, iletkenden eşit uzaklıktaki yüzey bir silindirdir (Şekil 2). Bu silindirin uzunluğu $(h-z)$ 'dir. Yakalama bölgesi iletkenin tepesinin üstünde yarım küre şeklindedir. Sözü edilen kısımların eşdeğer alanı

$$A(r) = 2\pi h r + 2\pi(1-\epsilon)r^2 \quad (20)$$

olur. Eşdeğer alanın ikinci kısmı tas şeklinde bir yüzey alanı olup bunun ifadesi ise

$$A(r) = 2\pi[h \cdot r + (1-\epsilon) \cdot r^2] \quad (21)$$

dir. İkinci kısmın hesabında $r_L = h/\epsilon$ olarak alınır. Eğer $r_L > h/\epsilon$ ise hesaplama sadece ikinci kısım için yapılır.

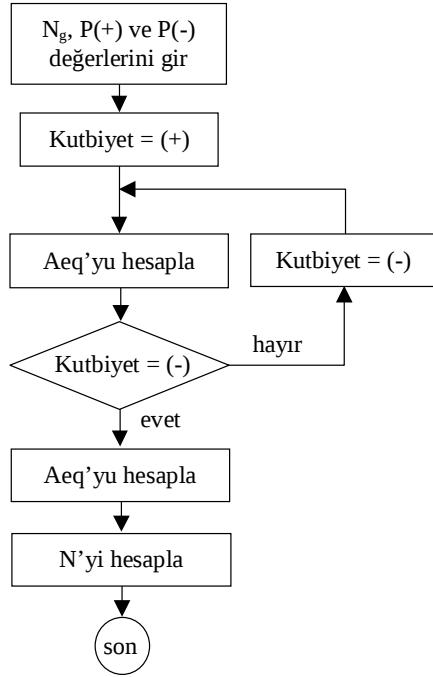


Şekil 2. h yüksekliğindeki düşey bir iletkenin yakalama bölgesi

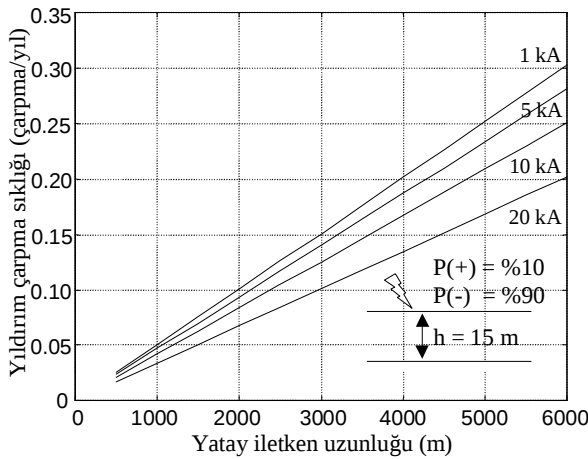
4. BİLGİSAYAR UYGULAMASI

Şekil 3'teki akış diyagramı kullanılarak Matlab 5.0 da yazılan bir bilgisayar programı yardımıyla farklı yıldırım parametreleri için bir yatay ve bir düşey iletkene yıldırım çarpma olasılığı hesaplanmıştır.

Hesaplarda $P(+) = \%10$, $P(-) = \%90$ ve yatay iletkenin yerden yüksekliği $h = 15$ m alınmış ve Şekil 4 ve 5'te görülen, yatay iletkenin uzunluğuna, düşey iletkenin de boyuna bağlı olarak bu yapılara yıldırım çarpma sıklıkları elde edilmiştir.



Şekil 3. Yıldırım çarpma olasılığının hesaplanmasına ilişkin akış diyagramı

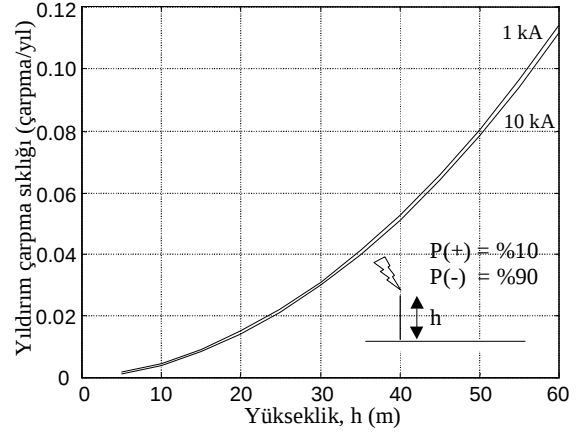


Şekil 4. Yerden 15 m yüksekliğindeki bir yatay iletkene farklı akım (I_m) değerli yıldırımların çarpma olasılıklarının iletken uzunluğu ile değişimi ($N_g = 1$ yıldırım/km²)

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada yakalama bölgesi yaklaşımı ile yıldırım çarpma sıklığının hesaplanması için geliştirilen bir bilgisayar programı yardımıyla, çeşitli yıldırım parametreleri için, yıldırım çarpma sıklığı N 'nin

yükseklik (h), uzunluk (L) gibi yapısal özelliklere bağlı olarak değişimleri elde edilmiştir.



Şekil 5. İki farklı yıldırım akımı için düşey bir iletkene yıldırım çarpma olasılığının iletken yüksekliği ile değişimi ($N_g = 1$ yıldırım/km²)

Elde edilen sonuçlardan yıldırımın akım şiddeti arttıkça yatay bir iletkene yıldırım çarpma olasılığının hızla azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi akım büyüdükçe yıldırım çarpma uzaklığının da büyümesi sonucu, yeryüzünde yıldırımın çarpabileceği nokta sayısının artması dolayısıyla yapıya yıldırım çarpma olasılığının da azalmasıdır. Düşey yapılara, yapı yüksekliği arttıkça yıldırım çarpma sıklığında artış olacağı ancak bunun yıldırım kutbiyetine bağlılığının ihmal edilecek kadar küçük olduğu görülmüştür. Bu davranışın, her kutbiyet için yapılan koruma bölgesi tanımından kaynaklandığı anlaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Dellera, L., Garbagnati, E., "Lightning stroke simulation by means of the leader progression model", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 5, No. 4, 1990, pp. 2009-2021.
- [2] Petrov, N. I., Waters, R. T., "Striking distance of lightning to earthed structures: Effect of stroke polarity", The 11th Int. Symp. on High Voltage Eng., London, England, 23-27 Aug. 1999, p. 2.220.
- [3] Petrov, N. I., Waters, R. T., "Striking distance of lightning to earthed structures: Effect of structure geometry", The 11th Int. Symp. on High Voltage Eng., London, England, 23-27 Aug. 1999, p. 2.393.
- [4] Eriksson, A. J., "The incidence of lightning strikes to power lines", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. PWRD-2, No. 3, 1987, pp. 859-864.
- [5] Jankov, V., "Modeling of the objects in lightning incidence calculation", The 9th Int. Symp. on High Voltage Eng., Graz, Austria, 28-30 Aug. 1995, p. 6.787.
- [6] Aguado, M., Hermoso, B., Cid, P. M., "Risks assessment for lightnings strokes in wind farm installation", The 11th Int. Symp. on High Voltage Eng., London, England, 23-27 Aug. 1999, p. 2.357.
- [7] Horvath, T., "Computation of Lightning Protection", Research Studies Press Ltd., Taunton, Somerset, 1991.