

# GSM Anten Direği Karakteristik Empedansının Hesabı

Özcan Kalenderli  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
Elektrik Mühendisliği Bölümü  
80626 Maslak, İstanbul  
ozcan@elk.itu.edu.tr

**Özet:** GSM anten direkleri, yıldırımların öncelikli hedeflerindedir. Yıldırıma maruz kalmış bir direkten yıldırım akımı toprağa akarken direğin darbe empedansı üzerinde yürüyen dalga davranışı sergiler. Bir direğin darbe (karakteristik) empedansı, ya ölçme ile deneysel olarak ya da devre veya elektromanyetik alan teorisinden kuramsal olarak belirlenir. Kuramsal hesaplamada genellikle geometrik yaklaşımlar kullanılır. Bu çalışmada da, bu yaklaşımlardan yararlanarak yapılan, GSM projelerinde kullanılan 30-40-50 m yüksekliğindeki anten direklerinin darbe empedansı hesapları sunulmuştur. Hesaplardan söz konusu anten direklerinin karakteristik empedansları 100-180  $\Omega$  arasında bulunmuştur.

## 1. Giriş

GSM haberleşmesi ögelerinde biri olan anten direkleri, genelde çelikten kafes şeklinde yapılmış yüksek yapılardır. Anten direği gibi topraklı yüksek yapılar, doğadaki en tanınmış boşalma olaylarından biri olan yıldırımların öncelikli hedeflerindedir. Bulutla yer arasında olan yıldırımlar, öncelikle bu aralığı azaltan, bulutla yer arasındaki elektriksel yük transferini kolayca gerçekleştireceği, elektriksel iletkenliği yüksek yapıları yol olarak seçer. Yapı hedefini bulan yıldırım, yapı üzerinden toprağa boşalır. Bu boşalma sırasında gerek yapı gerekse toprakta karşılaştığı dirençle orantılı olarak canlılar ve diğer varlıklar için tehlikeli olabilecek akım ve gerilimler yaratır. Bu bakımdan, üzerindeki antene, direk ile temastaki nesne ve kişilere ve çevresine zarar vermeden direk üzerinden güvenli şekilde yıldırım akımını toprağa akıtmak çok önemlidir. Bu amaçla direklerde yakalama ucu, indirme iletkeni ve topraklama elektrodundan oluşan bir yıldırımdan koruma sistemi veya en azından topraklama sistemi kullanılır. Bu sistemler, yıldırım akımını güvenle akıtabilecek kesitte ve uçlarında tehlikeli gerilim oluşturmayacak direnç veya empedansta olmalıdır. Yıldırıma maruz kalmış bir direk üzerinden veya direk yıldırımının indirme iletkeni üzerinden, darbe şeklinde değişen, kısa süreli, büyük genlikli ve tek yönlü (pozitif veya negatif polariteli) bir akım olan yıldırım akımı toprağa akarken yürüyen dalga davranışı sergiler. Yıldırım akımının aktığı yol boyunca karşılaştığı dirence, darbe direnci veya bu yolun ohmik direnci, endüktansı, kapasitesi ve frekans etkili olduğundan darbe empedansı veya karakteristik empedans adı verilir. Anten direği de kendi yapısına, boyutlarına, şekline ve yıldırım akımına bağlı olarak yıldırım akımına karşı bir darbe empedansı gösterir. Bu empedansın belirlenmesi pek çok çalışmaya konu olmuştur [1] - [8]. Bu çalışmalar, direk karakteristik empedansının ya deneysel olarak ya da kuramsal olarak belirlendiği bilgileri sunmaktadır.

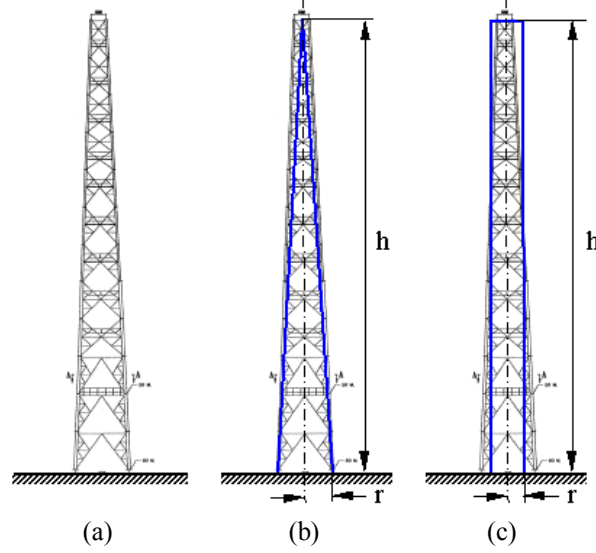
Bu çalışmada da farklı yaklaşımlara dayanan direk empedansı hesaplama bağıntıları ve GSM projelerinde kullanılan 30-40-50 m yüksekliğindeki çelik kafes anten direklerinin bu bağıntılarla hesaplanan darbe empedansları sunulmuştur.

## 2. Direk Karakteristik Empedansının Hesabı

Bir direğin darbe empedansı (veya karakteristik empedansı), ya ölçme ile deneysel olarak ya da devre veya elektromanyetik alan teorisinden kuramsal olarak belirlenir. Bu işlem, ya gerçek direk üzerinde ya da direğin ölçekli bir modeli üzerinde gerçekleştirilir. Deneysel olarak darbe empedansının belirlenmesinde direk tepesinden genliği ve şekli belli bir darbe akımı uygulanıp direk uçlarında oluşan gerilim ölçülür. Uygulaması zor olan bu yöntemle literatürde ölçülmüş direk darbe empedansı değerleri bulunmaktadır [2], [8]. Bu değerler, direk darbe empedansını vermek yanında kuramsal hesap sonuçlarını doğrulamak açısından önemlidir. Deneysel darbe empedansı belirlemenin zorluğu yanında kuramsal hesaplama, kolay, ucuz ve daha az zaman alıcı olması nedeniyle daha çok tercih edilmiştir [3], [4], [7]. Kuramsal hesaplamada çelik kafes direk yapısının modellenmesi için genelde geometrik modeller veya geometrik yaklaşımlar diye bilinen ve daha çok ölçme sonuçları ile karşılaştırılarak sonuçları uyumlu olacak şekilde belirlenmiş darbe empedansı hesaplama bağıntılarından yararlanır. Bu çalışmada da bu yol kullanılmıştır.

### 3. Geometrik Yaklaşım ile Empedans Hesabı

Direklerin darbe empedansını hesaplamak için geometrik modellenmesinde iki temel yaklaşım göz önüne alınmaktadır [2], [4]. Bunlardan biri, yüksekliği direk yüksekliğine, taban alanı direk taban alanına eşit olan koni yaklaşımıdır (Şekil 1b). Diğerisi ise, yine yüksekliği direk yüksekliğine eşit ve r yarıçaplı silindir yaklaşımıdır (Şekil 1c).



Şekil 1. Çelik kafes GSM anten direği ve darbe topraklama empedansını hesaplamak için yaklaşımlar

- a) Çelik kafes GSM anten direği
- b) Koni yaklaşımı
- c) Silindir yaklaşımı

Silindir ve koni yaklaşımlarına dayanan, pek çok araştırmacı tarafından önerilmiş direk darbe empedansı hesaplama bağıntısı vardır. Bağıntular arasındaki farklar, hesapta yıldırım akımının dalga şeklini ve akımın direktteki yayılma hızını göz önüne almaktan ve ölçme sonuçlarına uydurmak için kullanılmış düzeltme terimlerinden ileri gelmektedir. Aşağıda her iki yaklaşıma dayanan farklı empedans hesaplama bağıntıları verilmiştir.

#### 3.1. Koni Yaklaşımı

Koni yaklaşımında direk, kendi uzunluğuna eşit yükseklikte bir koni gibi göz önüne alınmaktadır (Şekil 1b). Koni yaklaşımına dayanan ve çok kullanılan bağıntılardan birisi

$$Z = 30 \ln 2(1 + h^2 / r^2) \text{ ohm} \quad (1)$$

dir [1], [2]. Bu bağıntıda r direğin taban yarıçapı, h ise direğin yüksekliğidir. Direğin ya da koninin taban yarıçapı, direğin taban alanı A dan yararlanarak  $r = \sqrt{A/\pi}$  işlemi yapılarak hesaplanır. Kısa ve uzun kenar uzunlukları a ve b olan dikdörtgen bir direk tabanının alanı  $A = a \times b$  olur. Kare tabanlı direklerde  $a = b$  dir. Koni yaklaşımına dayanan bağıntılardan bir diğeri ise

$$Z = 60 \ln(\sqrt{2} / \sin \alpha) \text{ ohm} \quad (2)$$

dir [2], [4]. Burada  $\alpha$  koninin yarı tepe açısıdır.  $\sin \alpha \approx \tan \alpha \approx r/h$  için (2) bağıntısı

$$Z = 60 \ln(h\sqrt{2} / r) \text{ ohm} \quad (3)$$

olur. Burada da r alanı direk taban alanına eşit olan dairenin yarıçapı, h direğin yüksekliğidir.

### 3.2. Silindir Yaklaşımı

Silindir yaklaşımında da direk, kendi uzunluğuna eşit uzunlukta bir silindir olarak göz önüne alınmaktadır (Şekil 1c). Silindir yaklaşımına dayanan bağıntılardan birisi

$$Z = 60 \ln h / r + 90 r / h - 60 \text{ ohm} \quad (4)$$

dir [1], [2]. Bu bağıntıda  $r$  silindir yarıçapı veya direğin çevre uzunluğunun  $2\pi$  ye bölümü,  $h$  direğin yüksekliğidir. Bir diğer bağıntı

$$Z = 60 \ln 2h / r \text{ ohm} \quad (5)$$

bağıntısıdır [4]. Bu bağıntıda  $h$  direğin yüksekliği,  $r = (r_{\text{taban}} + r_{\text{tepe}})/2$  olarak hesaba alınan silindir yarıçapıdır. Bir farklı silindir yaklaşımında ise akımın dalga şekli de göz önüne alınmıştır [2]: Örneğin bu yaklaşımların birinde dikdörtgen şeklindeki akım dalgası için

$$Z = 60 \ln (2\sqrt{2} h / r) \text{ ohm} \quad (6)$$

rampa şeklindeki akım dalgası için

$$Z = 60 [\ln (2\sqrt{2} h / r) - 1 + (r / 4h) + (r / 4h)^2] \text{ ohm} \quad (7)$$

veya  $h \gg r$  için

$$Z = 60 \ln (2\sqrt{2} h / r) - 60 \text{ ohm} \quad (8)$$

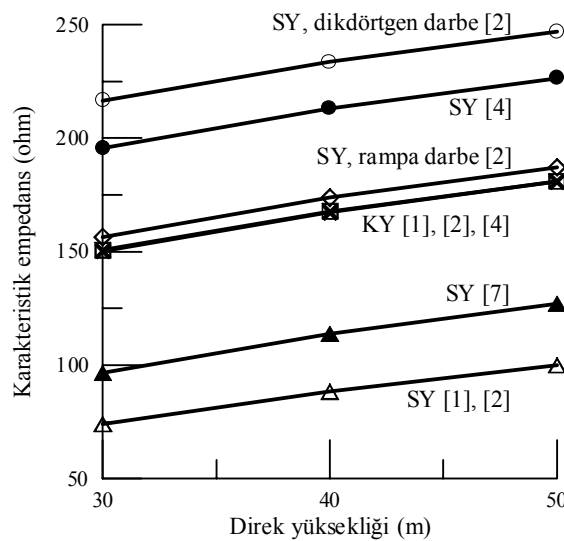
bağıntısı verilmiştir. (6), (7) ve (8) bağıntılarında  $r$  silindir yarıçapı,  $h$  de silindirin veya direğin yüksekliğidir. Bir başka silindir yaklaşımında da

$$Z = 60 [\ln (2\sqrt{2} h / r) - 2] \text{ ohm} \quad (9)$$

bağıntısı verilmiştir [7]. Bu bağıntıda da  $r$  silindir yarıçapı,  $h$  silindir yüksekliğidir.

### 4. GSM Direklerinin Karakteristik Empedansı

Karakteristik empedansı hesaplanacak olan çelik kafes anten direklerinin genel şekli Şekil 1a'da gösterilmiştir. Uygulamadakine benzer olarak, kare kesitli olan bu direklerin taban genişlikleri 6155 mm, tepe genişlikleri 2000 mm, yükseklikleri de sırasıyla 30 – 40 ve 50 m alınmıştır. 3. bölümde sunulan yaklaşımlarda verilen bağıntılar kullanılarak söz konusu direk boyutları ile yapılan karakteristik empedans hesap sonuçları, Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Farklı bağıntılarla hesaplanan, farklı yükseklikteki GSM anten direklerinin karakteristik empedansları (KY: koni yaklaşımı, SY: silindir yaklaşımı)

Direkleri yıldırımdan koruma tesisatında indirme iletkeni olarak 2 x 50 mm<sup>2</sup> kesitli yuvarlak dolu bakır iletken kullanılmaktadır. Ele alınan 30-40 ve 50 m yüksekliğindeki direklerde, 1 x 50 mm<sup>2</sup> kesitli (r = 4 mm yarıçaplı) bu tür bir iletkenin kullanılması durumunda karakteristik empedansları, (4) ve (8) bağıntılarına göre hesaplanırsa Çizelge 1'deki sonuçlar elde edilir.

Çizelge 1. Farklı uzunluklarda 1 x 50 mm<sup>2</sup> kesitli yuvarlak dolu bakır iletkenin karakteristik empedansı

h (m)	30	40	50	Açıklama
Z (Ω)	475,4	492,6	506,0	Denklem (4)
	537,7	555,0	568,4	Denklem (8)

Yukarıda farklı bağıntılardan elde edilen ve grafik şeklinde sonuçları verilen hesaplardan çelik kafes GSM anten direklerinin darbe (karakteristik) empedanslarının 30 m yüksekliğindeki direk için  $Z = 73,9 - 216,5 \Omega$  arasında; 40 m yüksekliğindeki direk için  $Z = 88,2 - 233,7 \Omega$  arasında; 50 m yüksekliğindeki direk için  $Z = 99,8 - 247,1 \Omega$  arasında değiştiği görülmektedir. 1 x 50 mm<sup>2</sup>'lik yuvarlak dolu bakır iletkenin darbe topraklama empedansı ise  $Z = 475,4 - 579,3 \Omega$  arasındadır.

### 5. Değerlendirme ve Sonuç

Hesaplarda koni yaklaşımına dayanan (3) bağıntısı ile silindir yaklaşımına dayanan (9) bağıntılarının sonuçları, literatürde verilen gerçek ölçme sonuçları ile uyumu nedeniyle daha fazla kullanılmaktadır. Buna göre söz konusu anten direklerinin darbe empedanslarının 100-180  $\Omega$  arasında olacağı görülmektedir. Bunun yanında 1x50 mm<sup>2</sup>'lik yuvarlak dolu bakır iletkenin darbe empedansının ortalama 500  $\Omega$  civarında, 2x50 mm<sup>2</sup>'lik yuvarlak dolu bakır iletkenin darbe topraklama empedansının da 250  $\Omega$  civarında olacağı bulunmuştur.

Hesaplamalarda kullanılan yaklaşımlar, varsayımlarına ve koşullarına bağlı olarak farklı sonuçlar vermektedir. Genelde ölçme ve deney sonuçlarını sağlayacak şekilde değişiklikler yapılarak verilmiş bu bağıntıların gerçek sonuçlara uyumu için daha çok ölçme verisine gereksinim vardır. Bunun için çeşitli özelliklerde ve farklı akım genlik ve şekilleri için gerçek direkler üzerinde ölçmeler yapmak gerekir veya günümüz bilgisayar olanaklarını ve yöntemlerini bu konuda kullanmaya eğilmek gerekir. Ancak uygulama amaçları için verilen bağıntıların ve bulunan empedans değerlerinin bir fikir vermesi açısından yararlı olduğu açıktır.

Sonuç olarak, elektriksel iletkenlik sürekliliği sağlanmış bir çelik kafes anten direğinin darbe empedansının ortalama 140  $\Omega$ , 2x50 mm<sup>2</sup>'lik yuvarlak dolu bakır iletkenin darbe empedansının da ortalama 250  $\Omega$  olduğu dolayısı ile direğin empedansının indirme iletkeninin empedansından daha küçük olduğu görülmektedir. Bu, aynı tepe değerli yıldırım akımı için yıldırımlık indirme iletkeninde direk gövdesindekinden daha büyük bir gerilim oluşacağını ve yıldırım akımı bakımından indirme iletkenine göre daha küçük empedansa sahip olan direk gövdesinin tercih edileceğini hatta bu tür direklerde indirme iletkeni kullanılmayıp doğrudan direk metal gövdesinin akım yolu olarak kullanılabilceğini göstermektedir.

### 6. Kaynaklar

- [1] Diesendorf W., *Insulation Co-ordination in High Voltage Electric Power Systems*, Butterworth, s. 56, 1974.
- [2] Sargent M. A., Darveniza M., "Tower surge impedance", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 88, No. 5, s. 680-687, 1969.
- [3] Jordan C. A., "Lightning Computations for Transmission Lines with Overhead Wires", *General Electric Review*, 37, No. 3, s. 130-137, 1934.
- [4] Le Roy G., Gary C., Hutzler B., Lalot J., Dubanton C., *Les Propriétés Diélectriques de l'air les très Hautes Tensions*, Collection de la Direction des études et Recherches Délectricité de France, Eyrolles, Paris, s. 165-171, 1984.
- [5] Denno K., *High Voltage Engineering in Power Systems*, CRC Press, Boca Raton, Florida, s. 241-242, s. 301-303, 1992.
- [6] Ishii M., Baba Y., "Numerical electromagnetic field analysis of tower surge response", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 12, No. 1, s. 483-488, 1997.
- [7] Hara T., Yamamoto O., "Modelling of a transmission tower for lightning surge analysis", *IEE Proceedings, Generation - Transmission - Distribution*, Vol. 143, No. 3, s. 283-289, 1996.
- [8] Hara T., Yamamoto O., Kitagawa M., Ono S., "Flashover analysis of 500 kV transmission tower when struck by lightning", *Ninth International Symposium on High Voltage Engineering*, Graz, Paper No. 6771, 1995.