

İZOLATÖR ZİNCİRİNDEKİ GERİLİM DAĞILIŞININ İZOLATÖR YÜZEYİNİN TEMİZ VE KİRLİ OLMASI DURUMLARI İÇİN PSPICE YARDIMIYLA İNCELENMESİ

Suat İLHAN¹

Aydoğın ÖZDEMİR²

^{1,2} Elektrik Mühendisliđi Bölümü
Elektrik-Elektronik Fakültesi

İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, Maslak/ İstanbul

¹e-posta: ilhan@elk.itu.edu.tr

²e-posta: ozdemir@elk.itu.edu.tr

Anahtar sözcükler: Gerilim Dağılışı, Zincir İzolatör, Kaçak Kapasiteler

ABSTRACT

Insulators for overhead lines have a great importance for the transmission systems through their ability to insulate the power lines to the ground and to carry the weight of the line conductors. The number of units in a string of suspension insulators depends on the transmission line voltage level. Line voltage is not equally shared by the insulator units due to the presence of stray capacitances. Moreover, the presence of pollution on the insulator surfaces considerably modifies the voltage distribution across the insulator units. This paper presents the voltage distribution on a 10 unit of insulator string which is used for our 154 kV national transmission system. The distribution for various pollution levels for different excitations are obtained by Spice simulations and the results are discussed from the point of insulation technology.

1. GİRİŞ

Bilindiđi gibi bir izolatörün görevi, gerilim taşıyan iletken sistemini toprağa karşı yalıtımdır. Yüksek gerilim enerji iletim sistemlerinde, iletkenlerin toprağa karşı yalıtılmasında ve hattın yükünün taşınmasında zincir izolatörleri kullanılır. İzolatör zincirindeki gerilim dağılışıncın incelenmesi, zincir elemanlarında meydana gelecek olası yüzeysel boşalmaların iletim sistemin tümüne yansıtacak arızalara sebebiyet vermesi bakımından önem arz etmektedir [1-2].

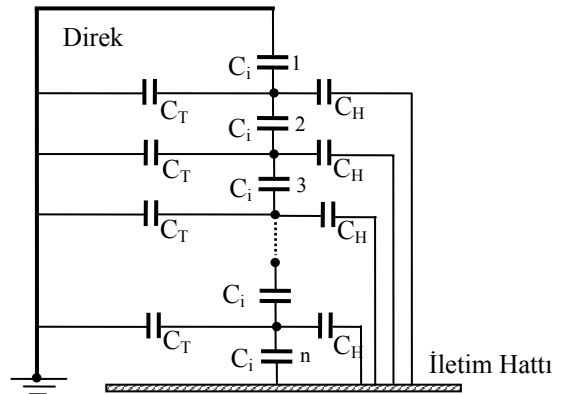
Sadece zincir izolatörü elemanı öz kapasitelerinin dikkate alındığı durumda iletim gerilimi elemanlar arasında eşit olarak paylaşılırken, ilaveten toprak kaçak kapasiteleri ve hat kaçak kapasitelerinin dikkate alınması halinde, gerilim dağılışı doğrusallıktan uzaklaşır. Ayrıca zincir elemanlarının

yüzeysel kirlilik durumu da gerilim dağılışıncın etkileyen diğer bir önemli etkidir. Zincir izolatördeki gerilim dağılışı, izolatör yüzey durumunun temiz ve kirli olması durumları için teorik olarak [1-2]'de ve sonlu elemanlar yöntemi, yük benzetim yöntemi ve sınır elemanları yöntemi kullanılarak [4-5]'de ele alınmıştır.

Bu çalışmada, 154 kV ulusal elektrik iletim sistemimizde kullanılan 10 elemanlı bir izolatör zincirindeki gerilim dağılışı Pspice devre çözüm programı kullanılarak incelenmiştir. Temiz ve kirli izolatör zincirlerinde, 50 Hz frekanslı alternatif gerilimler ve 1.2/50 µs zamanlamalı standart yıldırım darbe gerilimleri için gerilim dağılımları belirlenmiştir.

2. ZİNCİR İZOLATÖRÜNÜN EŞDEĞER DEVRESİ

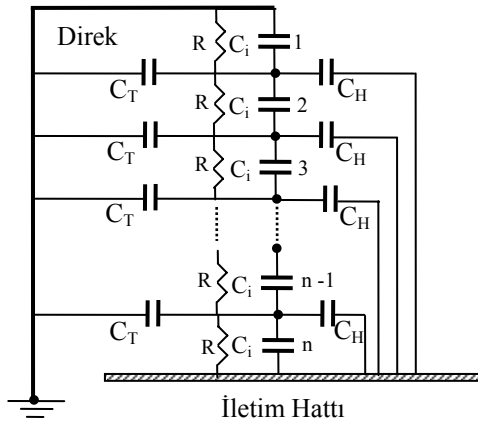
Bir izolatör zincirinin toplu parametrelili gösterilimi Şekil 1'de verilmiştir. C_i her bir izolatör elemanının öz kapasitesini, C_i izolatör başlığı ile iletim hattı arasındaki hat kaçak kapasitesini ve C_h ise izolatör başlığı ile hat arasındaki toprak kaçak kapasitesini göstermektedir.



Şekil 1. Zincir izolatörünün eşdeğer devresi

3. KİRLENMENİN MODELLENMESİ

İzolatör yüzeyinin kirli olması durumu gerilim dağılımını önemli ölçüde etkilemektedir. İzolatörlerdeki kirlenme, her bir zincir elemanının iç kapasitesine paralel bir kirlenme direnci, R_k , ile modellenir. Bu direncin değeri, kirlenme düzeyinin bir ölçüsü olarak da kullanılabilir. 50 Hz frekanslı alternatif gerilim ve standart yıldırım darbe gerilimi altındaki kirli zincir izolatörü lineer, zamanla değişmeyen RC devresi şeklinde düşünülebilir. Kirlenmeyi de içerecek eşdeğer devre Şekil-2'de gösterilmiştir. Düzgün kirlenme durumu, her bir elemana eklenen kirlenme direncinin eşit alınmasıyla, düzgün olmayan kirlenme durumu ise farklı kirlenme dirençleriyle modellenir. [3].



Şekil 2. n-elemanlı zincir izolatörünün eşdeğer devresi : Lineer kirlenme durumu

Pspice yardımı ile yapılan tüm analizlerde, her bir elemanın iç kapasitesi, C_i , 50 pF olarak alınmıştır. Hat kaçak kapasitesi, C_h , 2 pF'lık aralıklarla 0-6 pF arasında ve toprak kaçak kapasiteleri ise yine 2 pF'lık aralıklarla 0-8 pF arasında değiştirilmiştir. Analizlerde, izolatör yüzeyinin temiz olması durumu R_k direncini sonsuz olarak sağlanmış ve değişik kirlenme durumları ise bu direncin değerini belirli aralıklarda değiştirerek sağlanmıştır.

Normal kirlenen izolatörler için $R_k = 50 \text{ M}\Omega$, aşırı kirli izolatörler için ise $R_k = 25 \text{ M}\Omega$ seçilmiştir. Homojen olmayan kirlenme için kirlenme direnci 0-50 $\text{M}\Omega$ arasında 5'er $\text{M}\Omega$ 'luk aralıklarla değiştirilmiştir.

4. HAT KAPASİTESİ VE KİRLENMENİN ETKİSİ

50 Hz şebeke frekanslı alternatif gerilim için, hat kaçak kapasitelerinin gerilim dağılımı üzerine etkisi Şekil-3'te gösterilmiştir. Şekil-3 (a)'da görüldüğü

gibi, izolatör yüzeylerinin temiz olması durumunda, maksimum gerilim iletim hattına en yakın olan izolatör üzerinde olmaktadır ve hat kaçak kapasitesinin artması bu gerilim değerinin azalmasına neden olmaktadır. Normal-homojen kirlenme ve aşırı-homojen kirlenme durumlarında (Şekil 3 (b) ve (c)) gerilim dağılımı temiz durum ile benzerlik göstermekte; fakat kirlenmenin artmasıyla birlikte temiz duruma göre gerilim dağılımı biraz daha düzgün olmaktadır. Çok yoğun kirlenme durumlarında (küçük R_k), kondansatörlerin etkisi azalarak, her bir elemana düşen gerilim yaklaşık eşit olacak şekilde düzgün bir dağılım olur.

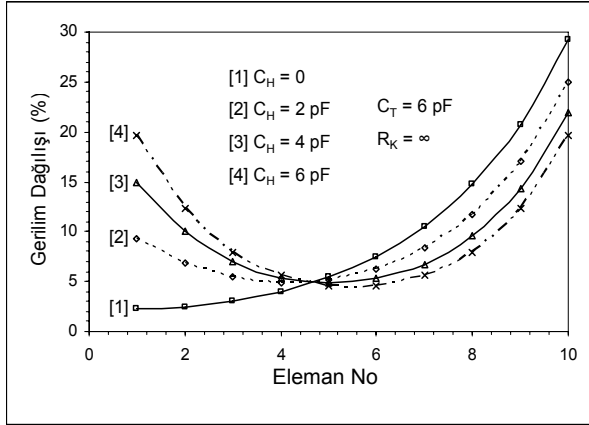
Homojen olmayan kirlenme durumu Şekil 3 (d) ve (e)'de gösterilmiştir. Şekil 3 (d)'de traversten iletim hattına yaklaşıldıkça artan kirlilik seviyesine ilişkin gerilim dağılımları verilmiştir. Bu durumda, kirlilik seviyesi yüksek olan izolatörlere düşen gerilimlerin azaldığı görülmüştür. Traversten iletim hattına yaklaştıkça azalan kirlenme düzeyi için gerilim dağılımları Şekil 3 (e)'de gösterilmiştir. Yine, yüzeyleri daha temiz olan izolatörlerin gerilimlerinin arttığı görülmüştür.

Aşırı yağış altındaki izolatörlerde, yağmur suyu traverse yakın olan izolatörden iletim hattına doğru birikerek artacağından [3] bu durumu Şekil 3 (d) ile benzeştirebiliriz. Şekil 3 (f)'de ise, ortasındaki iki eleman temiz, diğerleri homojen kirli bir zincirde gerilim dağılımlarını göstermektedir. Yüzeyi temiz olan izolatörlerdeki gerilimin Şekil 3 (b) durumuna göre arttığı gözlenmiştir.

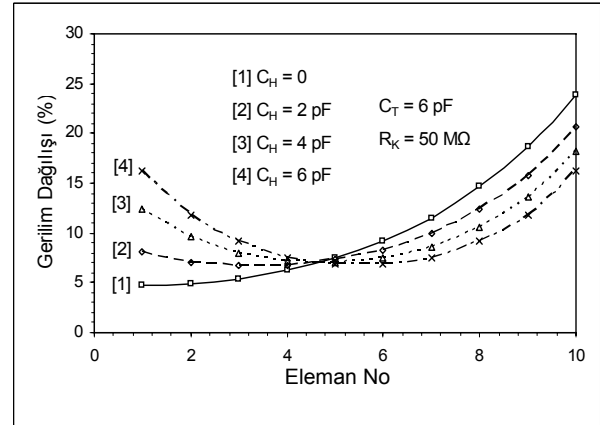
5. TOPRAK KAPASİTESİ VE KİRLENMENİN ETKİSİ

Şekil 4 toprak kaçak kapasitesinin gerilim dağılımı üzerine etkileri gösterilmiştir. Hat kaçak kapasitelerinin artması traverse yakın olan izolatörlerdeki gerilim yüzdesini artırırken, hatta yakın olan izolatörlerdeki gerilim yüzdesini azaltmaktadır (Şekil 4 (a)). Homojen ve homojen olmayan kirlenmenin gerilim dağılımına etkisi Şekil 3 ile benzerlik göstermektedir. Kirlenme düzeyi arttıkça, gerilim dağılımı lineerliğe yaklaşır ve aşırı kirlilik durumunda hat gerilimi her bir izolatör elemanı arasında eşit olarak paylaşılır. İzolatör elemanlarının homojen kirlenmesi ve zincir ortasındaki iki elemanın temiz olması durumu Şekil 4 (f)'de gösterilmiş ve temiz olan izolatörlerin gerilim yüzdesinin normal kirli duruma göre arttığı görülmüştür.

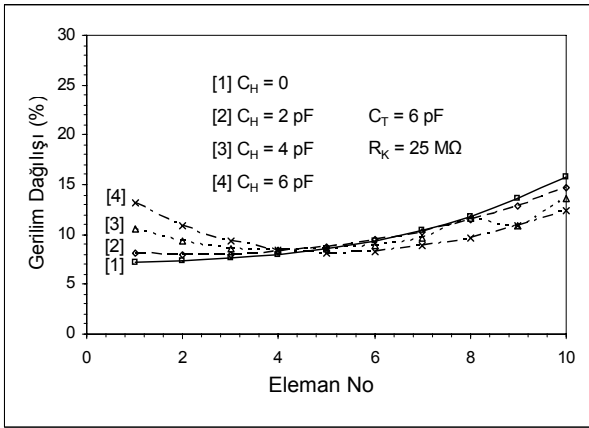
İletim hattının 1.2/50 μs 'lik standart yıldırım darbe gerilimine maruz kalması durumunda kaçak kapasitelerinin ve kirlenmenin gerilim dağılımı üzerine etkileri Şekil 5'te gösterilmiştir.



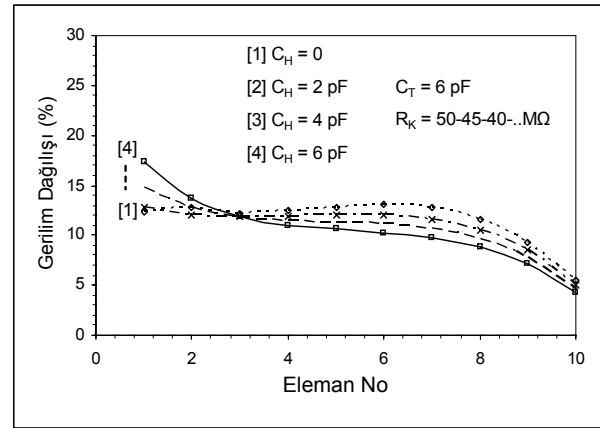
a)



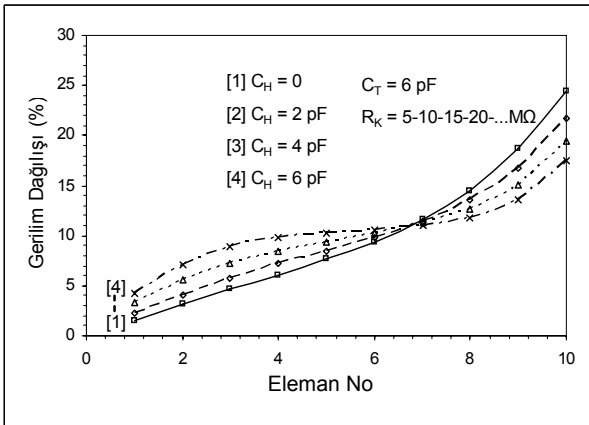
b)



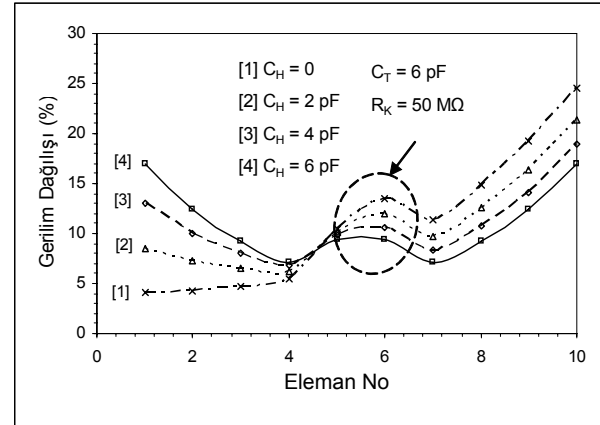
c)



d)



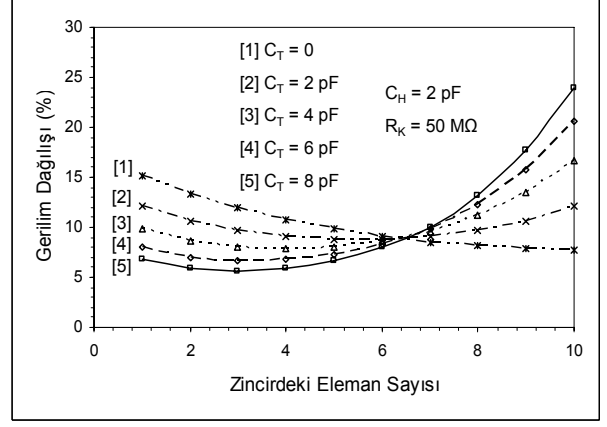
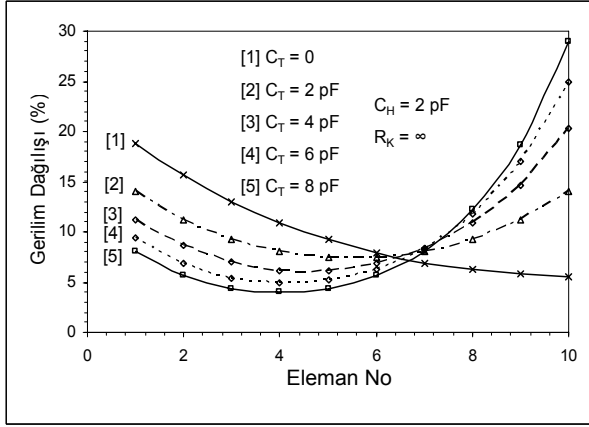
e)



f)

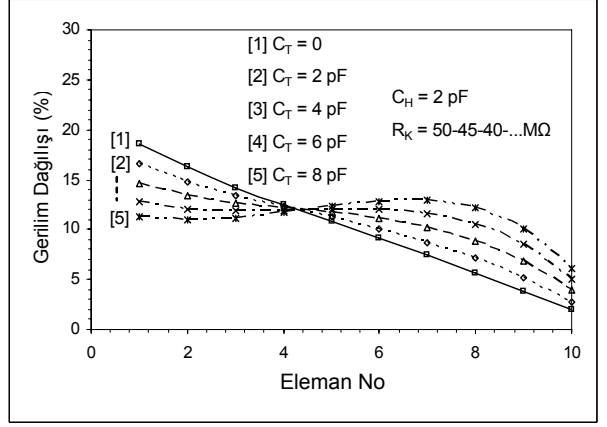
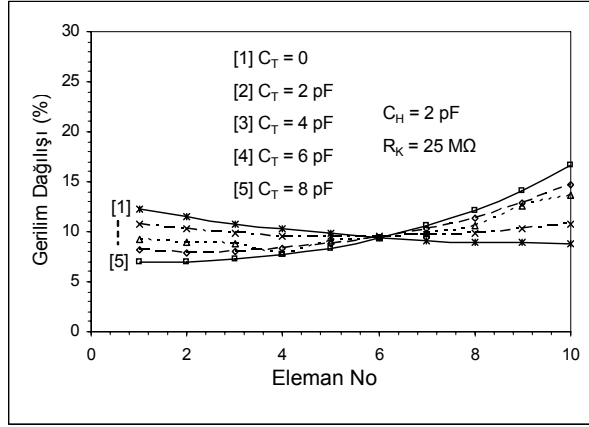
Şekil 3. Alternatif gerilimlerde, hat kaçak kapasitelerinin ve kirlenmenin gerilim dağılışı üzerine etkileri.

a) İzolatör yüzeylerinin temiz olması durumu **b)** Normal homojen kirlenme durumu **c)** Aşırı homojen kirlenme durumu **d)** Homojen olmayan kirlenme durumu: Hatta yakın olan izolatörler daha kirli **e)** Homojen olmayan kirlenme durumu: Hatta yakın olan izolatörler daha temiz **f)** Homojen kirlenme durumu ve zincir ortasındaki iki izolatörün temiz olması durumu



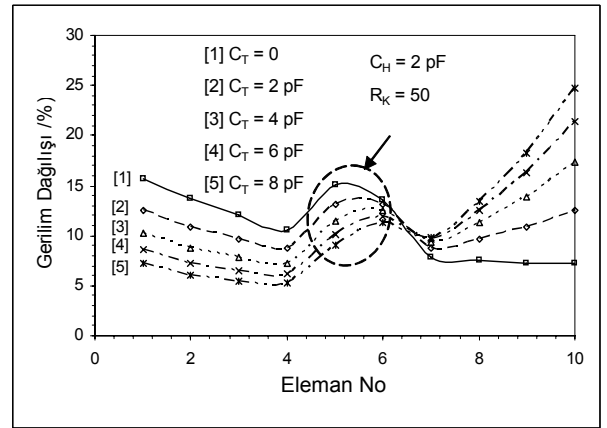
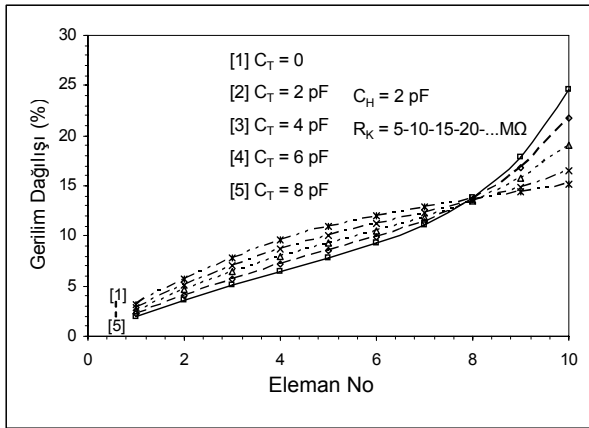
b)

a)



c)

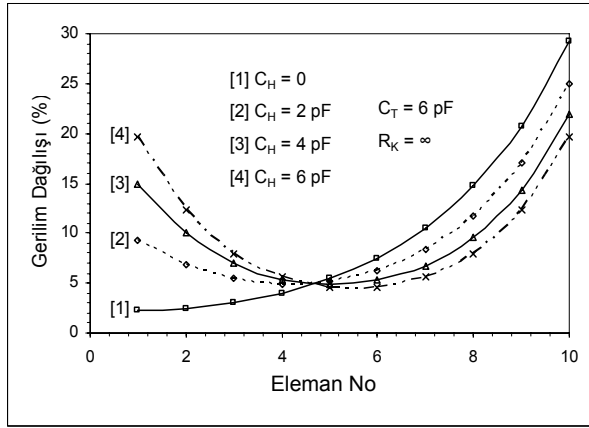
d)



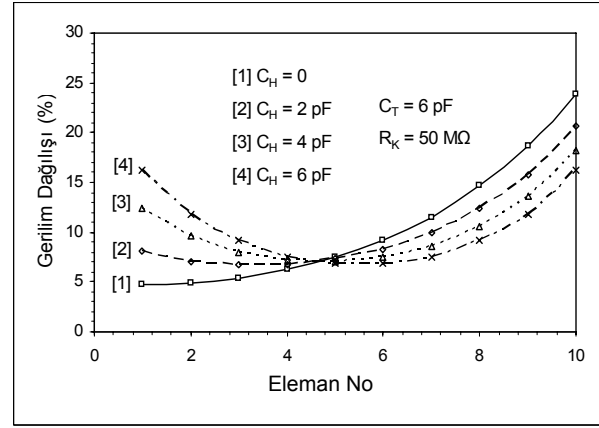
e)

f)

Şekil 4. Alternatif gerilimler için, toprak kaçak kapasitelerinin ve kirlenmenin gerilim dağılışı üzerine etkileri. **a)** İzolator yüzeylerinin temiz olması durumu **b)** Normal homojen kirlenme durumu **c)** Aşırı homojen kirlenme durumu **d)** Homojen olmayan kirlenme durumu: Hatta yakın olan izolatorler daha kirli **e)** Homojen olmayan kirlenme durumu: Hatta yakın olan izolatorler daha temiz **f)** Homojen kirlenme durumu ve zincir ortasındaki iki izolatorün temiz olması durumu



a)



b)

Şekil 5. Standart yıldırım darbe gerilimi için hat kapasitelerinin ve kirlenmenin gerilim dağılışına etkileri **a)** İzolatörlerin temiz olması durumu **a)** Normal homojen kirliliği durumu.

Benzetim sonuçlarına baktığımızda, izolatörlerin temiz olması durumunda iletim hattına yıldırım darbe gerilimi uygulandığında elde edilen gerilim dağılışı alternatif gerilim için elde edilen ile bire bir aynıdır. Fakat, alternatif gerilimlerde kirlenen izolatlara düşen gerilim azalırken, burada kirlenme durumu gerilim dağılımını değiştirmemiştir. Kirlenen izolatörlerin dayanım düzeylerinin azalacağı dikkate alındığında, böylesi bir dağılım, izolatör zincirinin kirlenmesi halinde yıldırım darbe gerilimlerine karşı dayanım düzeylerinin kritikleşeceği sonucu verir. Bunun uygulama açısından anlamı, kirliliği bölgelerde, dış aşırı gerilimlerin oluşma riski yüksek olan kötü hava koşullarında, kirlenmeden kaynaklanan geçici açılmaların oluşabileceğidir.

6. SONUÇLAR

İzolatör zincirindeki gerilim dağılışı kaçak kapasitelere ve kirlenme durumuna bağlı olarak lineerlikten önemli ölçüde uzaklaşır. Bu çalışmada, 154 kV ulusal elektrik iletim şebekemizde kullanılan 10 elemanlı bir izolatör zincirindeki gerilim dağılımı, farklı kaçak kapasiteler ve farklı kirlenme durumları için, Pspice yardımı ile incelenmiştir. Dağılımlar hem 50 Hz frekanslı alternatif gerilimler, hem de 1.2/50 us'lik standart yıldırım darbe gerilimleri için çıkarılmıştır.

Hat kaçak kapasitesinin artması, iletim hattına yakın olan izolatörlerdeki gerilim yüzdesini azaltırken, toprak kaçak kapasitelerinin etkisi ters yönde olmaktadır. Homojen kirlenme durumunda, kirlilik düzeyinin artmasıyla birlikte gerilim dağılışı lineerliliğe yaklaşırken, homojen olmayan kirlenme durumunda ise yüzeyleri daha temiz olan izolatörlerdeki gerilim yüzdesinin normal duruma göre arttığı sonucuna varılmıştır.

Analizlerden de görüldüğü gibi, iletim hattına yakın olan izolatörler maksimum zorlanmaya maruz kalırlar ve olası yüzeysel boşalma ve delinmelerin bu

elemanlarda oluşması muhtemeldir. Zincir verimliliğinin artırılması için gerilim dağılışı lineerliliğe yaklaştırılması oldukça önemlidir.

Diğer yandan, kirlenme, yıldırım darbe gerilimleri durumunda gerilim dağılımına etki etmemektedir. Kirliliği izolatörlerin azalan darbe dayanım düzeyleri nedeniyle, kirliliği izolatör zincirlerinde, dış aşırı gerilimler durumunda geçici açılmalar olabilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Dhalaan, S.M.A.; Elhribawy, M.A.; *Investigation on the characteristics of a string of insulator due to the effect of dirt*, Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2003 IEEE PESVolume 3, 7-12 Sept. 2003 Page(s):915 - 920 vol.3
- [2] Dhalaan, S.M.A.; Elhribawy, M.A.; *Simulation of voltage distribution calculation methods over a string of suspension insulators* Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2003 IEEE PESVolume 3, 7-12 Sept. 2003 Page(s):909 - 914 vol.3
- [3] Farag, A.S.A.; Zedan, F.M.; Cheng, T.C.; *Analytical studies of HV insulators in Saudi Arabia-theoretical aspects* Electrical Insulation, IEEE Transactions on [see also Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on] Volume 28, Issue 3, June 1993 Page(s):379 - 391
- [4] Bo Zhang; Jinliang He; Rong Zeng; Shuiming Chen; Lin Cao; Shanqiang Gu; *Potential Distribution along Long Ceramic Insulator Strings on the Head of High Voltage Transmission Tower* Electromagnetic Field Computation, 2006 12th Biennial IEEE Conference on 2006 Page(s):369 - 369
- [5] V.T.; Gonos, I.F.; Stathopoulos, I.A.; Michaelides, A.M.; *Measurement and Verification of the Voltage Distribution on High Voltage Insulators* Kontargyri, Electromagnetic Field Computation, 2006 12th Biennial IEEE Conference on 2006 Page(s):326 - 326