

# PARAFUDRLARDA FARKLI KİRLENME KOŞULLARINDA GERİLİM DAĞILIMININ İNCELENMESİ

Mehmet Fatih ERBAŞ

erbasme@yahoo.com

Özcan KALENDERLİ

ozcan@elk.itu.edu.tr

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

## ÖZET

Bu çalışmanın amacı, bir metal oksit parafudr üzerinde, temiz ve çeşitli kirlenme durumlarında oluşan gerilim dağılımlarını kuramsal-sayısal olarak incelemektir. Kirlenme için, parafudrun etekleri üzerinde çeşitli kalınlıklarda su, buz ve farklı dielektrik özellikteki kir tabakaları bulunması durumları göz önüne alınmıştır. İncelemeler, sonlu elemanlar yöntemi ile üç boyutlu olarak yapılmıştır. Parafudrun temiz ve kirli durumları arasındaki gerilim dağılımı farkını değerlendirmek için parafudr yüzeyi boyunca hesaplanan gerilim dağılımları ve aynı noktalardan alınan potansiyel değerleri ve elektrik alan dağılımları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, parafudru kirleten maddenin bağıl dielektrik sabiti ne kadar büyükse, gerilim dağılımının da o kadar çok etkilendiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Metal Oksit Parafudr, Gerilim Dağılımı, Kirlenme

## 1. GİRİŞ

Enerji sistemleri tasarlanırken göz önünde bulundurulacak en önemli sorunlardan biri, sistemin aşırı gerilimlere karşı korunmasıdır. Yıldırım, anahtarlama, rezonans gibi çeşitli sebeplerden dolayı oluşan aşırı gerilimler sisteme zarar vermektedir. Bu durumlara karşı koruma sağlamak için kullanılan, en güvenilir koruma elemanları parafudrlardır. Parafudrların ilk nesli, silisyum karbür değişken dirençli, atlama aralıklı parafudrlardır. Bu parafudrlarda hem direncin hem de atlama aralıklarının, özellikle kirlenme koşullarında, parafudrun koruma verimini düşüren olumsuzlukları ile karşılaşmaktadır. Buna çözüm olarak metal oksit parafudrlar geliştirilmiştir. Günümüzde porselen ve polimer gövdeli metal oksit parafudrlar yaygın olarak kullanılmaktadır [1-3].

Çalışma koşulları içinde parafudrların kirlenmesi kaçınılmazdır. Kirlenme, kimi zaman ıslanma, kimi zaman buzlanma, kimi zamanda kuru veya nemli katı kirlerle kirlenme şeklinde olmaktadır. Bu durum hem parafudrun hem de bağlı olduğu ve koruduğu sistemin güvenliği ve verimli çalışmasının tehlikeye girmesi bakımından sorun oluşturmaktadır. Bu durumu değerlendirmek ve önlem almak için parafudrlarda kirlenme ve gerilim dağılımı incelemesi ile ilgili kuramsal ve uygulamalı pek çok çalışma yapılmaktadır [4-13].

Bu çalışmada, 21 kV'lık, polimer gövdeli, bir metal oksit parafudr üzerinde temiz ve kirlenme koşulları için sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan gerilim dağılımı hesapları açıklanmış ve sonuçları verilmiştir. Bulunan sonuçlar, gerilim dağılımı ile kirlenme koşulları arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla aralarında karşılaştırılmıştır.

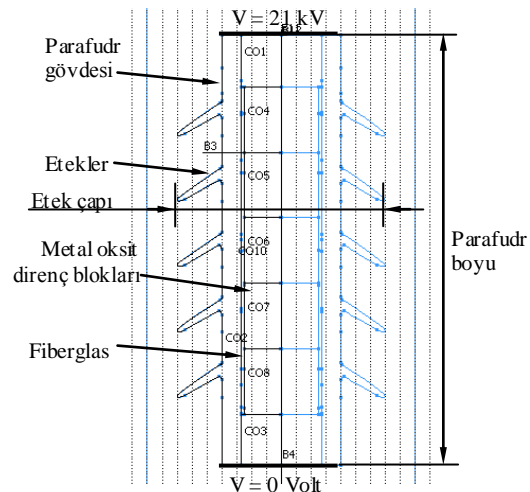
## 2. PARAFUDR MODELİ

İncelemede, Çizelge 1'de teknik bilgileri ve Şekil 1'de kesit resmi verilen, polimer gövdeli, 21 kV'lık bir metal oksit parafudr göz önüne alınmıştır [4, 5].

Çizelge 1: Metal oksit parafudrun özellikleri

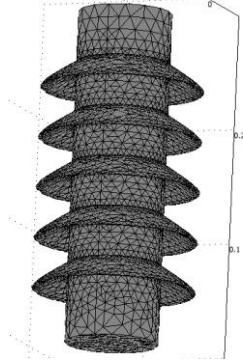
Özellik	Değer
İşletme gerilimi (faz-toprak)	21 kV
Parafudrun boyu	289 mm
Gövde izolatörünün etek sayısı	5
İzolatör eteklerinin çapı	140 mm
Gövde malzemesinin bağıl dielektrik sabiti	3,9
ZnO direnç disklerinin çapı	50 mm
ZnO disklerin bağıl dielektrik sabiti	800
Fiberglas kalınlığı	2 mm
Fiberglasın bağıl dielektrik sabiti	4,6

Bu veriler kullanılarak Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) ile analiz yapan bir bilgisayar programında, üç boyutlu çözümleme için, eksenel simetrik olarak parafudr modellenmiştir [14, 15]. Şekil 1'de parafudr modelinin kesit çizimi ve sınır koşulları gösterilmiştir.



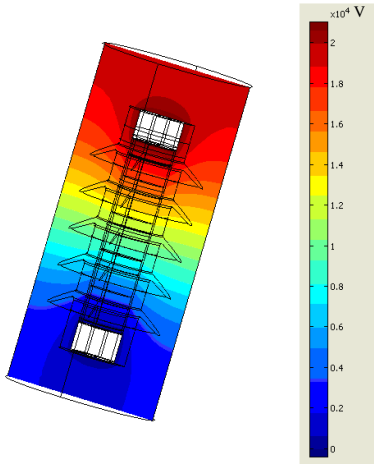
Şekil 1: Parafudrun boyuna kesiti

Parafudrun kesit çizimi üzerinde yapıdaki malzemelerin elektriksel özellikleri belirtilmiş ve problemin sınır koşulları tanımlandıktan sonra SEY çözümü için ağ elde edilmiştir. Şekil 2’de parafudr için elde edilen üç boyutlu SEY ağı gösterilmiştir.



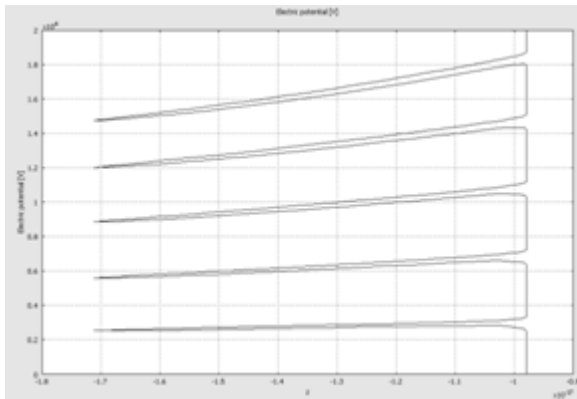
Şekil 2: Parafudrun elde edilen sonlu elemanlar ağı

Ağ oluşturulduktan sonra problem çözdürülerek parafudr üzerinde, Şekil 3’te gösterilen potansiyel dağılımı elde edilmiştir.

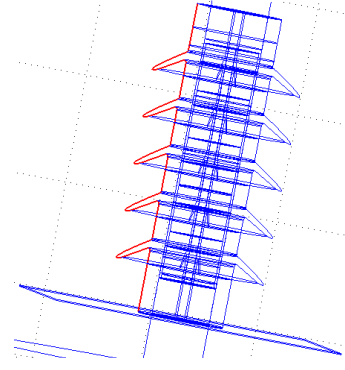


Şekil 3: Parafudr üzerindeki potansiyel dağılımı

Şekil 4’te temiz bir parafudr gövdesi üzerinde elde edilen gerilim dağılımı, Şekil 5’te ise bu dağılımı çizmek için parafudr üzerinde göz önüne alınan (kırmızı) sınır gösterilmiştir.



Şekil 4: Temiz parafudr üzerindeki gerilim dağılımı

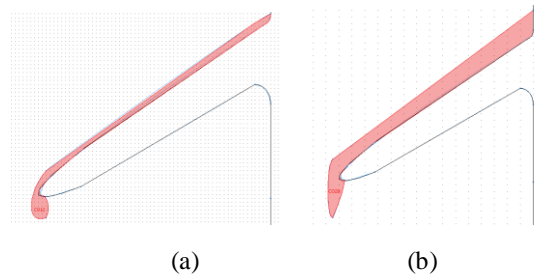


Şekil 5: Parafudr üzerinde gerilim dağılımının çizildiği (kırmızı) sınır

### 3. ÇEŞİTLİ KİRLENME DURUMLARI

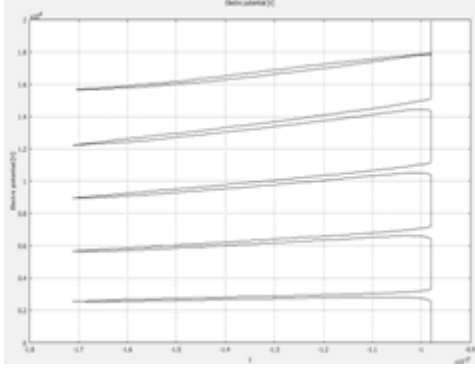
Parafudrlerin kirlenme durumlarının incelendiği çalışmalarda genellikle kirlenme parafudrun dışında eşit bir şekilde yayıldığı varsayılmaktadır [11, 12]. Bu durumda kirlenmenin etkisini göstermek için sadece dış yüzeyin elektriksel iletkenlik değeri değiştirilir. Fakat gerçekte parafudr dışındaki kirlenmenin her noktada eşit olması pek mümkün değildir. Buradaki çalışmada, gerçekte karşılaşılabileceği düşünülen çeşitli kirlenme durumları incelenmiştir. Bu durumlar, aşağıdaki gibi numaralandırılarak tanımlanmıştır:

- 1: Kirlenmenin olmadığı, temiz durum;
- 2: Sadece en üstteki etekte 1 mm kalınlığında su tabakası olması ve eteğin ucundan suyun ( $\epsilon_r = 80$ ) damladığı durum (Şekil 6a);
- 3: 5 etekte de 2 mm kalınlığında buz ( $\epsilon_r = 3.5$ ) olması durumu;
- 4: 5 etekte de 2 mm kalınlığında katı, kuru kir ( $\epsilon_r = 3$ ) olması durumu;
- 5: 5 etekte de 2 mm kalınlığında katı, nemli kir ( $\epsilon_r = 10$ ) olması durumu;
- 6: 5 etekte de 4 mm kalınlığında katı, nemli, ağır kir ( $\epsilon_r = 10$ ) olması durumu;
- 7: 5 etekte de 4 mm kalınlığında buz ( $\epsilon_r = 3.5$ ) olması ve eteğin ucundan buzun sarkıt şeklinde uzaması durumu (Şekil 6b).

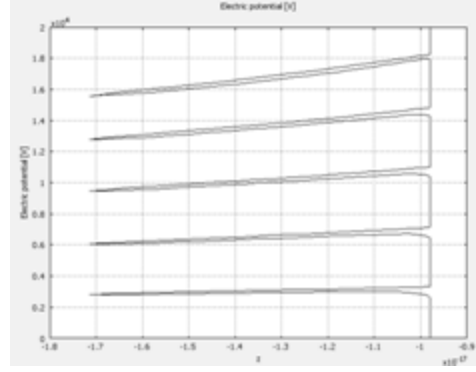


Şekil 6: Modeller; (a) Parafudr eteğinin ucundan suyun damlaması (b) Buzun sarkıt şeklinde uzaması

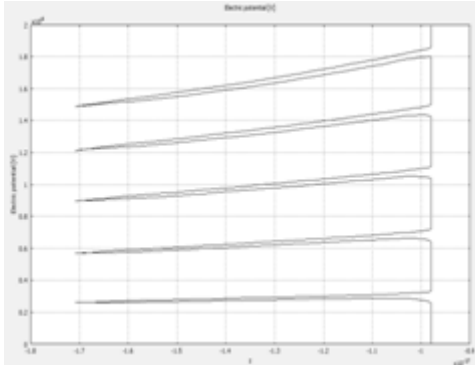
Model olarak alınan parafudr için 2. ile 7. arasındaki kirlenme durumlarına ilişkin SEY ile elde edilen gerilim dağılımı grafikleri, sırasıyla Şekil 7, 8, 9, 10, 11 ve 12’de verilmiştir.



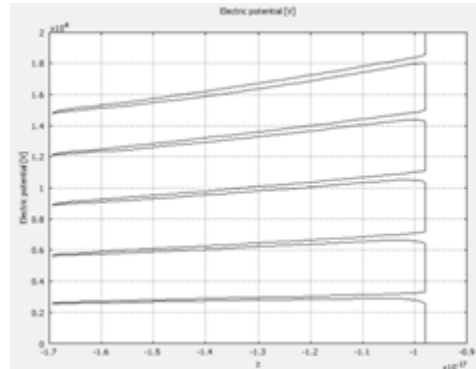
Şekil 7: En üst etekte 1 mm kalınlığında su ( $\epsilon_r= 80$ ) olması ve etek ucundan suyun damlaması durumu



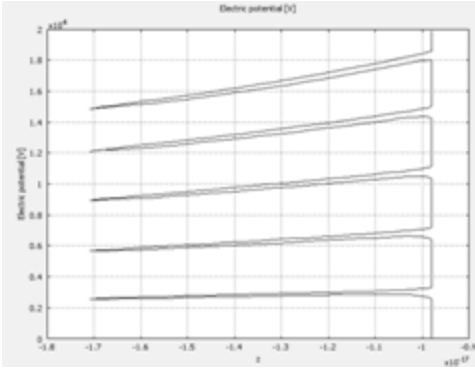
Şekil 11: Beş etekte de 4 mm kalınlığında kir ( $\epsilon_r= 10$ ) olması durumu



Şekil 8: Beş etekte de 2 mm kalınlığında buz ( $\epsilon_r= 3,5$ ) olması durumu

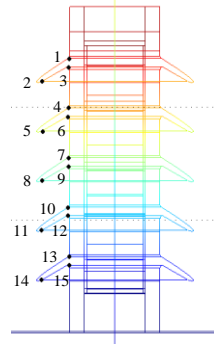


Şekil 12: Beş etekte de 4 mm kalınlığında buz ( $\epsilon_r= 3,5$ ) olması ve eteğin ucundan buzun sarkması durumu

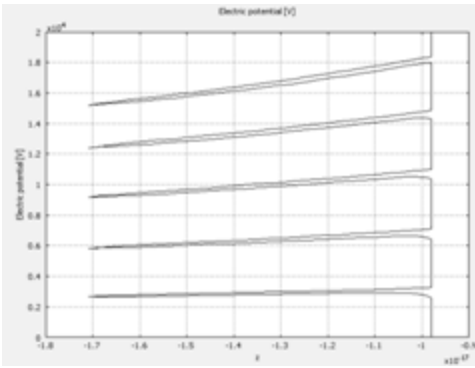


Şekil 9: Beş etekte de 2 mm kalınlığında kir ( $\epsilon_r= 3$ ) olması durumu

Şekil 13'te gerilim dağılımı incelenirken potansiyel değerleri alınan 15 nokta; Çizelge 2'de de incelenen yedi durum için, parafudr üzerinde, bu noktalarda bulunan potansiyel değerleri gösterilmiştir.



Şekil 13: Çeşitli kirlenme durumları için potansiyel değeri alınan 15 nokta



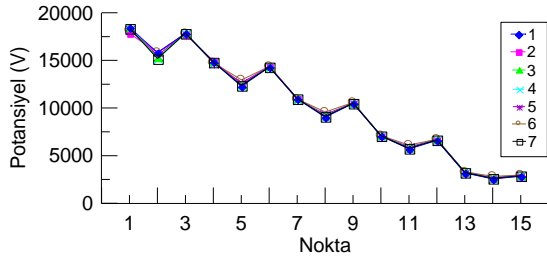
Şekil 10: Beş etekte de 2 mm kalınlığında kir ( $\epsilon_r= 10$ ) olması durumu

Her bir kirlenme durumu için elde edilen gerilim dağılımı grafikleri, birbirleriyle karşılaştırılarak farklar ve benzerlikler incelenmiştir. İlk olarak Şekil 14'te tüm durumların gerilim dağılımı grafikleri bir arada verilmiştir. Bu şekilden, durumlar arasında çok fark olmadığı görülmektedir. Bu da bize çok ağır olmayan kirlenme durumlarında, gerilim dağılımının fazla etkilenmediğini göstermektedir. Sadece, eteğin ucunda su damlası olan 2. durumda, en üst etekteki gerilim dağılımı biraz bozulmaktadır.

Çizelge 2: Çeşitli kirlenme durumları için aynı 15 noktadaki potansiyel değerleri (V)

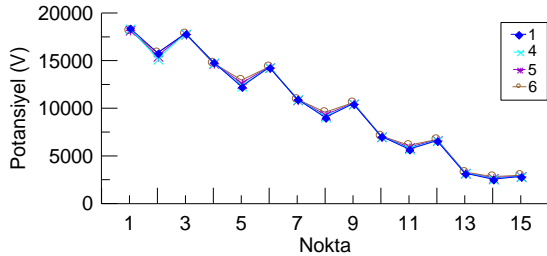
Nokta	Potansiyel değerleri (V)						
	Kirlenme durumları						
	1	2	3	4	5	6	7
1	18432	17828	18380	18392	18245	18138	18363
2	15789	13807	13221	13197	13497	13819	13176
3	17844	17714	17839	17840	17822	17805	17836
4	14842	14943	14827	14831	14757	14735	14832
5	12262	12475	12389	12367	12637	12939	12373
6	14291	14397	14306	14305	14319	14355	14318
7	10964	11019	10972	10974	10932	10944	10985
8	9028	9121	9130	9113	9328	9577	9125
9	10474	10520	10496	10493	10515	10569	10511
10	7049	7068	7066	7066	7049	7087	7086
11	5691	5742	5772	5759	5913	6111	5772
12	6599	6626	6637	6634	6659	6719	6657
13	3183	3197	3221	3218	3231	3299	3247
14	2552	2575	2607	2600	2684	2821	2620
15	2828	2839	2861	2857	2887	2962	2884

Benzer bir olayın olduğu 7. durumda ise bu kadar açık bir bozulma görülmemektedir. Buradan kirlenmeye yol açan maddenin dielektrik sabitinin ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 14: Tüm durumların gerilim dağılımları

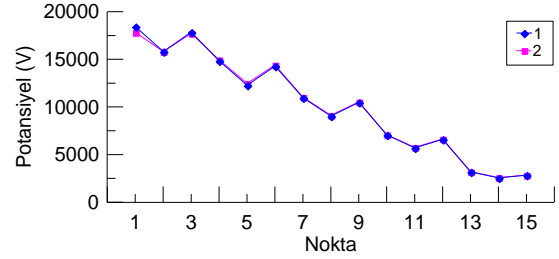
Üç farklı kirlenme durumuna Şekil 15'te bir arada bakarsak, üç durumunda birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Kir kalınlığı 4 mm, bağlı dielektrik sabiti de 10 olarak incelenen 6. durumda, gerilim dağılımında küçük bir miktar iyileşme olmaktadır. Buradan kirlenme ne kadar azsa gerilim dağılımına olan olumlu etkisinin de o kadar fazla olduğu görülmektedir.



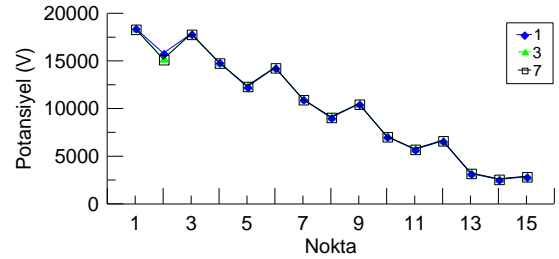
Şekil 15: Temiz durum ve üç farklı kirlenme durumunun gerilim dağılımları grafikleri

Şekil 16'da en üst etekte su olması ve eteğin ucundan suyun damlaması durumunun normal durum ile karşılaştırılması verilmektedir. Grafikten açıkça görüldüğü üzere bu durum sadece en üstteki eteğin gerilim dağılımını bir miktar bozmakta, geri kalan

kısımlara hiç etki etmemektedir. Bu sonuca Şekil 6'daki grafikten de ulaşılabilir. Şekil 17'de ise iki farklı buzlanma durumu görülmektedir. Burada eteklerin üzerinin 2 mm kalınlığında buz kaplandığı durum ile 4 mm kalınlığında buz kaplandığı ve eteğin ucunda buzun sarkıt halinde kaldığı durum arasında gözle ayırt edilebilecek bir fark olmadığı görülmektedir. Oysaki Şekil 15'te kirlenme durumları incelenirken, dielektrik sabitleri aynı, sadece kalınlığın 2 mm'den 4 mm'ye çıktığı 5. ve 6. durumların grafikleri arasında gözle görülür bir fark görülmektedir. Buradan bir kez daha anlaşılmaktadır ki, kirlenmeye yol açan maddenin dielektrik sabiti ne kadar küçükse, kalınlığı fazla bile olsa parafudrun gerilim dağılımına önemli bir etkisi olmamaktadır. Bu durumda en fazla etkiyi bağlı dielektrik sabiti 80 olan suyun yaptığı söylenebilir. Zira bu durum Şekil 16 ve 17'de açıkça görülmektedir.



Şekil 16: Temiz durum ile en üst etekte su olması durumlarının grafikleri



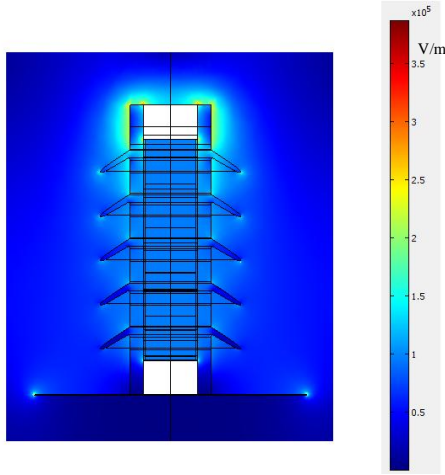
Şekil 17: Temiz durum ile eteklerde buz birikmiş durumların grafikleri.

Parafudrun kirlenme durumundaki potansiyel dağılımı çalışma kararlılığı ve güvenilirliği açısından çok önemlidir. Hafif kirlenme durumlarında fazla bir bozulma olmasa da, parafudrun büyük bir bölümünü kar tabakasının kaplaması gibi çok ağır kirlenmelerin gerilim dağılımını önemli ölçüde etkileyebileceği unutulmamalıdır [3].

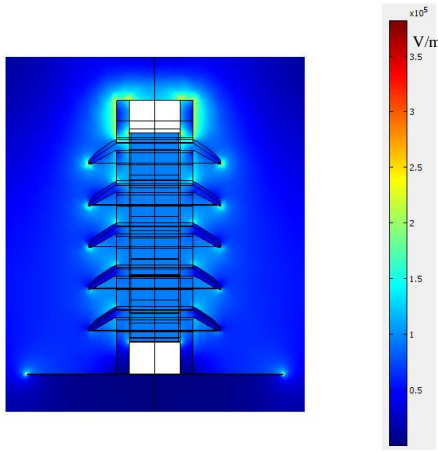
#### 4. ALAN DAĞILIMLARI

Parafudrdaki gerilim dağılımı incelemeleri yanında elektrik alan dağılımı incelemeleri de yapılmıştır. Örnek olarak, Şekil 18'de metal oksit parafudrun temiz durumdaki ve Şekil 19'da da eteklerinin üzeri 4 mm kalınlığında, bağlı dielektrik sabiti  $\epsilon_r = 10$  olan kir tabakasıyla kaplı olduğu durumdaki elektrik alan dağılımları gösterilmiştir. Şekil 18 ve 19'daki elektrik alan dağılımı şekillerinden görüldüğü üzere, kirlenme durumu elektrik alan dağılımını hem genlik hem de

dağılım olarak fazla etkilememekte, sadece kirli durumda etek uçlarında bir miktar artış görülmektedir.



Şekil 18: Temiz parafudrda elektrik alan dağılımı.



Şekil 19: Eteklerde 4 mm kalınlığında kir ( $\epsilon_r = 10$ ) olduğundaki elektrik alan dağılımı.

## 5. SONUÇLAR

Genelde, yapılan kirlenme durumu analizlerinde, kir tabakasının parafudrun dışında eşit kalınlıkta ve düzgün bir şekilde dağıldığı varsayılmaktadır. Fakat gerçek koşullarda kirlenme, böyle düzgün dağılımlı olmamaktadır. Bu çalışmada, gerçekte karşılaşılan çeşitli kirlenme durumları için modeller yapılmıştır. Bunların sonucunda ise, çok ağır kirlenme dışındaki durumların parafudr yüzeyindeki gerilim dağılımına fazla bir etkilerinin olmadığı görülmüştür. Bununla birlikte, kirlenmeye sebep olan maddenin, kalınlığı az olsa bile, dielektrik sabiti ne kadar büyükse gerilim dağılımına da o kadar fazla etki ettiği anlaşılmıştır. Bu durumda en fazla etkiyi suyun (bağlı dielektrik sabiti 80) yaptığı söylenebilir.

Sonuç olarak, çok ağır koşullar veya sürekli kir birikme sonucu giderek artan bir kirlenme olmadığı sürece gerilim dağılımını düzeltmek için fazla bir önlem alınmasına gerek görülmemektedir. Fakat çok ağır kirlenme durumlarına mutlaka dikkat edilmesi

gerekir [6]. Bu çalışmadaki incelemelerde kirin elektriksel iletkenliği veya direnci doğrudan göz önüne alınmamıştır. Kirin dielektrik özellikleriyle parafudrlardaki gerilim dağılımına baskın etkisi görünmemekle birlikte, iletkenlik özelliğinin, parafudrlardaki elektriksel yalıtımın bozulmasında etkili olacağı göz önünde tutulmalıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] De Nigris, M., Sironi, A., Bonfanti, I., Giornelli, F., Valagussa, C., and Shing, L. K., "Most Recent Developments in Surge Arresters Technology and Testing", *Powercon'98 Int. Conf. on Power System Technology*, Beijing, China, pp. 194-200, 18-21 Aug. 1998.
- [2] IEEE Standard for Metal-Oxide Surge Arresters for AC Power Circuits (> 1 kV), IEEE Std C62.11-2005.
- [3] Bialek, T., "Insulation System Protection with Zinc Oxide Surge Arresters", *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Vol. 15, No. 1, pp. 5-10, 1999.
- [4] Vahidi, B., Nasab, R. S., Moghani, J. S., and Hosseinian, S. H., "Three Dimensional Analyses of Electric Field and Voltage Distribution on ZnO Surge Arrester with Broken Sheds", *IEEE/PES Transm. and Distribution Conf. & Exhibition, China*, pp. 1-2, 2005.
- [5] Vahidi, B., Nasab, R. S., Moghani, J. S., and Hosseinian, S. H., "Electric Field and Voltage Distribution on ZnO Surge Arrester", *IEEE*, Tehran, Iran, pp. 367-368, 2004.
- [6] Kojima, S., Oyama, M., and Yamashita, M., "Potential Distributions of Metal Oxide Surge Arresters Under Various Environmental Conditions", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 3, No. 3, pp. 984-989, 1988.
- [7] Meng, B., Zhang, B., and He, J., "Potential Distribution Analysis and Improvement of 1000 kV Gas Insulated Switch Metal Oxide Arrester", *Int. Conf. on Electrical Machines and Systems*, Seoul, Korea, pp. 1321-1325, 8-11 Oct. 2007.
- [8] Alame, N., and Melik, G., "Axial Voltage and Gradient Distribution of Metal Oxide Surge Arrester", *Int. Conf. on Properties and Applications of Dielectric Materials*, Tokyo, Japan, July 8-12, pp. 1149-1151, 1991.
- [9] Kumar, U., and Mogaveera, V., "Voltage Distribution Studies on ZnO Arresters", *IEEE Proc.-Gener. Transm. Distrib.*, Vol. 149, No. 4, pp. 457-460, 2002.
- [10] Shirakawa, S., Yamada, S., Tanaka, S., Ejiri, I., Watahiki, S., and Kondo, S., "Improved Zinc Oxide Surge Arresters Using High Voltage Gradient 300 V/mm, 400 V/mm ZnO Elements", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 15, No. 2, pp. 569-574, 2000.
- [11] Singh, R. P., and Singh, T. V. P., "Influence of Pollution on the Performance of Metal Oxide Surge Arresters", *IEEE Canadian Conf. on Electrical & Computer Engineering*, India, pp. 224-229, 2002.
- [12] Chrzan, K., Pohl, Z., Grzybowski, S., and Köhler, W., "Pollution Performance of 110 kV Metal Oxide Arresters", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 12, No. 2, pp. 728-733, 1997.
- [13] Csendes, Z. J., and Hamann, J. R., "Surge Arrester Voltage Distribution Analysis by the Finite Element Method", *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-100, No. 4, pp. 1806-1813, 1981.
- [14] Kalenderli, Ö., "Elektrik Mühendisliğinde Sonlu Elemanlar Yöntemi", Ders Notları, İTÜ, İstanbul, 1995.
- [15] Zimmerman, W. B. J., "Multiphysics Modelling with Finite Element Methods", World Sci., Singapore, 2006.