

## **Korona Halkası Dizayn Parametrelerinin Elektrik Alan Dağılımına Etkisinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi**

### ***Investigation of the Effect of Corona Ring Design Parameters on Electric Field Distribution by Finite Element Method***

*Mete Uzar<sup>1</sup>, Yunus Berat Demiroğlu<sup>2</sup>, Mehmet Aytaç Çınar<sup>3</sup>, Bora Alboyacı<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>TEİAŞ Genel Müdürlüğü İşletme Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye  
mete.uzar@teias.gov.tr

<sup>2</sup>Genetek Güç Enerji Ltd., Kocaeli Üniversitesi Teknopark, Kocaeli, Türkiye  
yunusberat.demiroglu@genetek.com.tr

<sup>3</sup>Kocaeli Üniversitesi, İzmit Meslek Yüksek Okulu, Kocaeli, Türkiye  
aytac@kocaeli.edu.tr

<sup>4</sup>Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye  
alboyaci@kocaeli.edu.tr

#### **Özet**

Enerjinin iletiminde elektriksel izolasyonu sağlamak amacıyla ile izolatör ve yardımcı ekipmanlar kullanılmaktadır. Silikon izolatörler üzerinde oluşan yüksek elektrik alan dağılımı izolatörün hidrofobiklik özelliğinin azalmasına ve zamanla izolatörün yaşlanmasına sebep olmaktadır. İzolatörler ile birlikte elektrik alan dağılımını dengelemek amacıyla ile korona halkaları kullanılmaktadır. Kullanılan korona halkalarının metal çapı, kendisinin çapı ve yüksekliği değişebilmektedir. Bu çalışmada silikon izolatörlerde kullanılmakta olan korona halkasının tasarım parametreleri sonlu elemanlar analizi ile değerlendirilmektedir. Bu kapsamda ekipmanlar bilgisayar ortamında gerçek ölçekli olarak modellenip Ansys Electronics Suite sonlu elemanlar yazılımı programına aktarılmıştır. Uygun analiz ayarları ve malzeme tanımlamaları ile birlikte analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde farklı tasarım parametreleri incelenmiş ve sonuçlar yorumlanarak makale içerisinde detaylı olarak gösterilmiştir. Bu kapsamda enerji iletiminde kullanılan izolasyon sistemlerinin tasarımında sonlu elemanlar analizleri ile sistem değerlendirmesi yapılmasının gerekliliği belirtilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Korona halkası, Kompozit izolatör, Elektrik alan, Sonlu elemanlar analizi.

#### **Abstract**

Insulators and auxiliary equipment are used to provide electrical isolation in energy transmission. The high electric field distribution on the composite insulators causes a decrease in the hydrophobicity and increases the aging of the insulator over time. Corona rings are used to balance the electric field distribution with insulators. The corona rings used are designed according to thickness, diameter and height parameters. In this study, the design parameters of the corona ring used in composite insulators are evaluated by finite element analysis. In this context, different types of corona rings were modeled in real scale in the computer environment and transferred to the Ansys Electronics Suite finite element software program. Analyses were performed with appropriate analysis settings and material definitions. Different design parameters were examined in the analysis, and the results were interpreted and shown in detail in the article. In this context, the necessity of system evaluation with finite element analyses in designing insulation systems used in energy transmission has been demonstrated.

**Keywords:** Corona ring, Composite insulator, Electric field, Finite element analysis.

#### **1. Giriş**

Yüksek gerilim izolatörleri havai hatlarda direkler ile iletkenler arasındaki izolasyonu sağlamak amacı için kullanılmaktadır. Yüksek gerilimde kullanılan izolatörler porselen, cam veya kompozit malzeme kullanılarak imal edilebilirler. Kompozit malzemeden oluşan izolatörlerin hafiflik, esneklik, kir tutmama, darbe ve basınca karşı dayanıklılık gibi avantajları bulunmaktadır. Kompozit izolatörler için en önemli parametrelerden biri hidrofobiktir ve bu açıdan diğer izolatör çeşitlerine kıyasla özellikle kirliliğe ve nemli ortam şartlarında daha iyi yalıtım özelliği sağlamaktadır [1]. Ancak izolatör yüzeyinde veya izolatör yüzeyine yakın olan metal bağlantı noktalarında sürekli korona deşarjı gözlemlenmesi kompozit izolatörün hidrofobik özelliğinin azalmasına sebep olmaktadır.

Kompozit izolatörün hidrofobik özelliğini kaybetmesi izolatörün yaşlanması olarak değerlendirilir. Bu nedenle kompozit izolatör için kritik bölgelerdeki elektrik alan şiddeti daima kontrol altında tutulmalıdır. Kompozit izolatörün hidrofobik özelliğini kaybederek yaşlanmasına sebep olmaması adına hava ile temas halinde olan dış yüzeyi için maksimum elektrik alan şiddeti değerleri sınırlı olmakla beraber bazı çalışmalarda incelenmiştir. Buna göre 2005 yılında yayımlanan CIGRE broşür 284'e göre 6-10 kV/cm [2] olmalıdır. 2008 yılında çalışmalarını yayımlayan Power Research Institute (EPRI) için 4.5 kV/cm [3], 2011 yılında çalışmalarını yayımlayan STRI için 3.5 kV/cm [4] olarak belirtilmektedir. Yapay yaşlandırma deneyleri sonucunda farklı hava şartlarına göre bu değerlerin değiştiği belirtilmektedir [5].

Silikon izolatörün uç noktalarının yüzeylerinde oluşan elektrik alan dağılımını sınırlandırmak için korona halkası kullanılmaktadır [6]. Kullanılan korona halkasının tasarım parametrelerine göre silikon izolatör yüzeyinde oluşan elektrik alan dağılımı değişmektedir. Bunun yanında korona halkasının yüzeyinde oluşan elektrik alan dağılımı da önemli bir parametredir. Metal yapıda olan korona halkası yüzeyinde yüksek elektrik alan dağılımından kaynaklı korona deşarjı oluşabilmektedir. Bu kapsamda literatürde metal bileşenlerin yüzeyinde oluşabilecek maksimum elektrik alan dağılımı ile ilgili olarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Buna göre STRI için metal yüzeylerde oluşan elektrik alanın 18kV/cm değerinden büyük olması önerilmemektedir [4].

Korona halkası tasarımına yönelik olarak literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. [7] çalışmada cam izolatörlerde kullanılan korona halkalarının tasarım parametreleri analiz çalışmaları ve saha testleri ile birlikte değerlendirilip optimizasyona yönelik çıkarımlar yapılmıştır. [8-10] çalışmalarında silikon izolatörlerde kullanılan korona halkalarının tasarım parametrelerinin silikon izolatör yüzeyinde oluşan elektrik alan dağılımına etkileri incelenmiştir. [11] çalışmada silikon izolatörlerde kullanılan korona halkalarının izolasyon performansları laboratuvar ortamında test edilmiştir. [12] çalışmada cam izolatör

ve korona halkasının tasarım parametrelerinin elektrik alan dağılımı üzerindeki etkisi birlikte değerlendirilmiştir. [13] çalışmada silikon izolatörlere cam izolatör ekleme uygulamaları ve korona halkasının kullanımı değerlendirilmiştir.

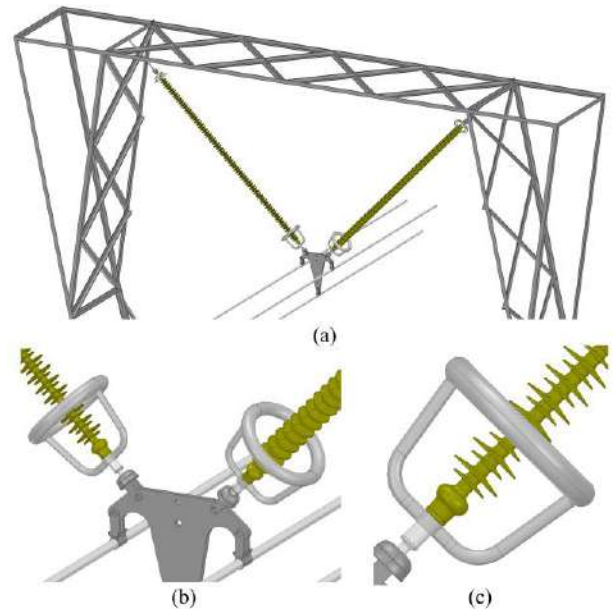
Bu çalışmada silikon izolatör sistemi modellenip, farklı tasarım parametrelerine göre hem silikon izolatör yüzeyindeki hem de korona halkası yüzeyindeki elektrik alan şiddetleri değerlendirilmiştir.

## 2. Modelleme Çalışmaları

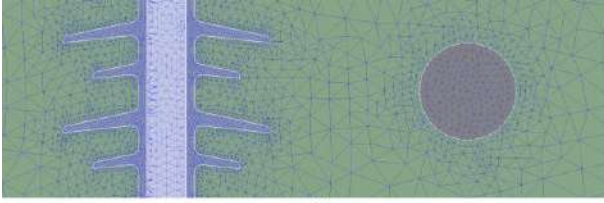
Güç sistemi ekipmanlarının karmaşık geometrik yapısından dolayı elektrik alan hesaplamaları için teorik yöntemler yetersiz kalmaktadır. Bu kapsamda sonlu elemanlar yöntemi gibi nümerik yöntemler kullanılabilir. Sonlu elemanlar yöntemi ile, ilgili geometri üzerinde sonlu sayıda bir ağ yapısı oluşturulmakta ve bu ağ yapısı üzerinde Maxwell denklemleri çözülmektedir. Bu çalışmada Ansys Electronics Suite sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yazılımında analizlerin gerçekleştirilebilmesi için model geometrilerinin oluşturulması ve uygun malzeme tanımlamalarının yapılması gerekmektedir. Analizler ile incelenen izolasyon sisteminin 3D görünümü Şekil 1 üzerinde gösterilmiştir. Silikon izolatör özellikleri Tablo 1 üzerinde gösterilmiştir.

**Tablo 1. Silikon izolatör özellikleri**

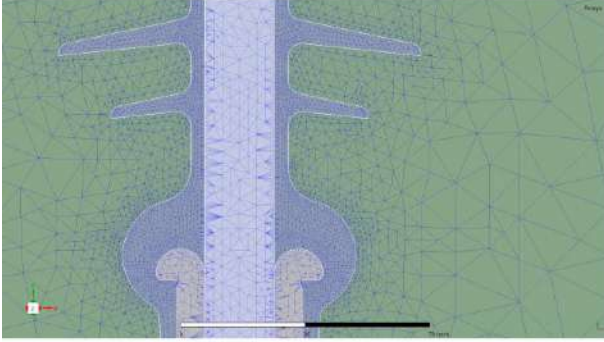
Yıldırım darbe dayanım gerilimi	>1665 kV
Sistem frekansı dayanım gerilimi	>680 kV
Krepaj mesafesi	10570 mm
Ark mesafesi	3040 mm
Mekanik yük dayanımı	210 kN
Toplam bakla sayısı	135



**Şekil 1.** İzolasyon sisteminin 3D modeli (a) Direk-izolatör yapısı (b) Korona halkası görünüm-1 (c) Korona halkası görünüm-2



(a)



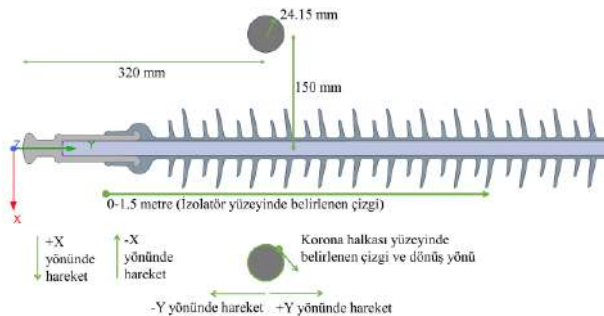
(b)

Şekil 2. Modellerde oluşturulan mesh yapısı (a) görünüm-1 (b) görünüm-2

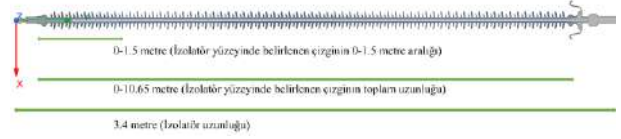
Ekipmanlar üzerinde oluşturulan mesh yapısı Şekil 2 üzerinde gösterilmiştir. Analizlerin gerçekleştirildiği iş istasyonunda “128 Gb 1866 Mhz” bellek, “NVIDIA Quadro K2000” ekran kartı ve iki adet “Intel(R) Xenon(R) CPU E5-2683 v3 işlemci kullanılmıştır.

### 3. Analiz Çalışmaları

Analizler ile birlikte korona halkasında üç adet parametrenin değişimi ayrı ayrı ve birlikte incelenmiştir. Bu kapsamda korona halkasının metal yarıçapı değişimi (referans modelde 24.15 mm), yarıçap değişimi (referans modelde 150 mm) ve yükseklik değişimi (referans modelde 320 mm) incelenmektedir. Bu parametrelerin her birinin etkisi ayrı ayrı incelenmiş ve daha sonra tüm parametrelerin birlikte değerlendirildiği bir analiz gerçekleştirilmiştir. Silikon izolatör ve korona halkası Şekil 3 ve Şekil 4 üzerinde gösterilmiştir. Analizler iki boyutlu çalışma düzleminde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3 üzerinde gösterilen yapı, Şekil 1-c üzerinde gösterilen yapının kesit görünümüdür. Korona halkasının geometrik yapısındaki değişim minimum ark mesafesini de etkilemektedir. Bu çalışmada ark mesafeleri incelenmemiş, sadece elektrik alan dağılımları incelenmiştir. Sistem tasarımında korona halkası tasarımına bağlı olarak oluşan minimum ark mesafeleri de sistem tasarımında değerlendirilmeye alınmalıdır.



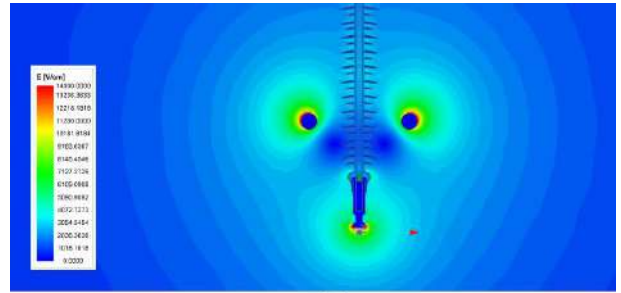
Şekil 3. Korona halkası parametreleri



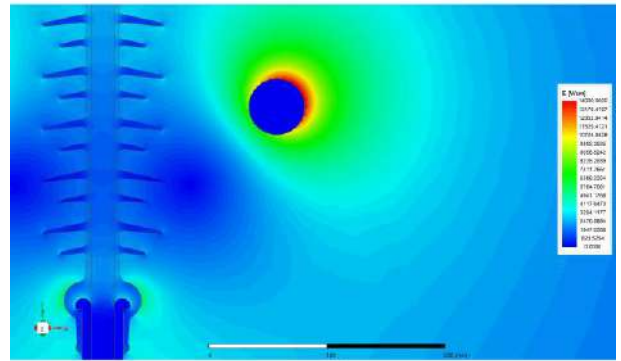
Şekil 4. Silikon izolatör boyutları

### 3.1. Metal Yarıçapı Değişiminin İncelenmesi

Referans durumda oluşan elektrik alan dağılımı Şekil 5 üzerinde gösterilmiştir. Korona halkasının metal yarıçapı değişimi bu bölümde incelenmiştir. Referans değeri 24.15 mm olan parametre 12.075 mm ile 36.225 mm arasında değiştirilmiştir. Silikon izolatör ve korona halkası yüzeyinde oluşan elektrik alan dağılımı profili referans değer ve uç değerler için Şekil 7-d üzerinde gösterilmiştir. Maksimum elektrik alan değerleri ise Şekil 7-f üzerinde gösterilmiştir. Korona halkası metal çapının artmasının elektrik alan dağılımı açısından silikon izolatör ve korona halkasında olumlu etki yarattığı görülmektedir.



(a)

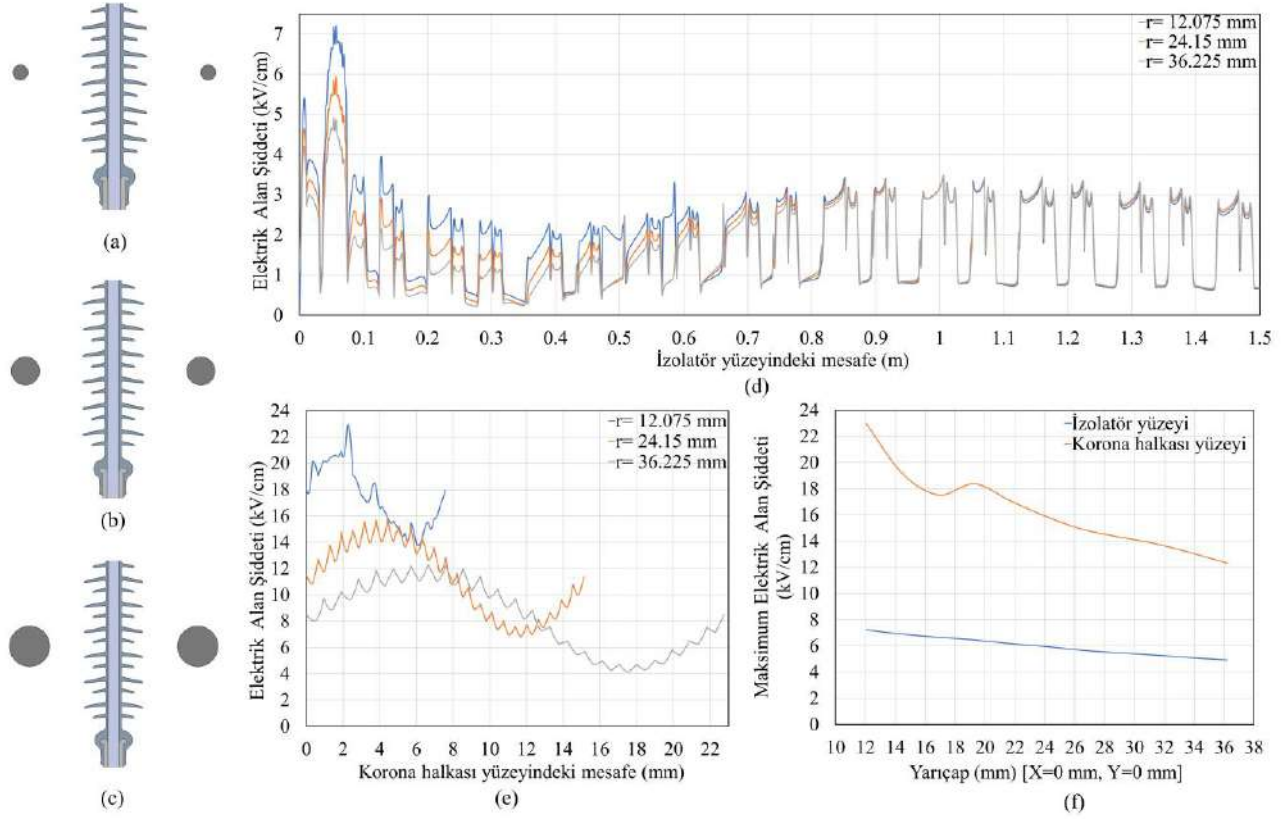


(b)

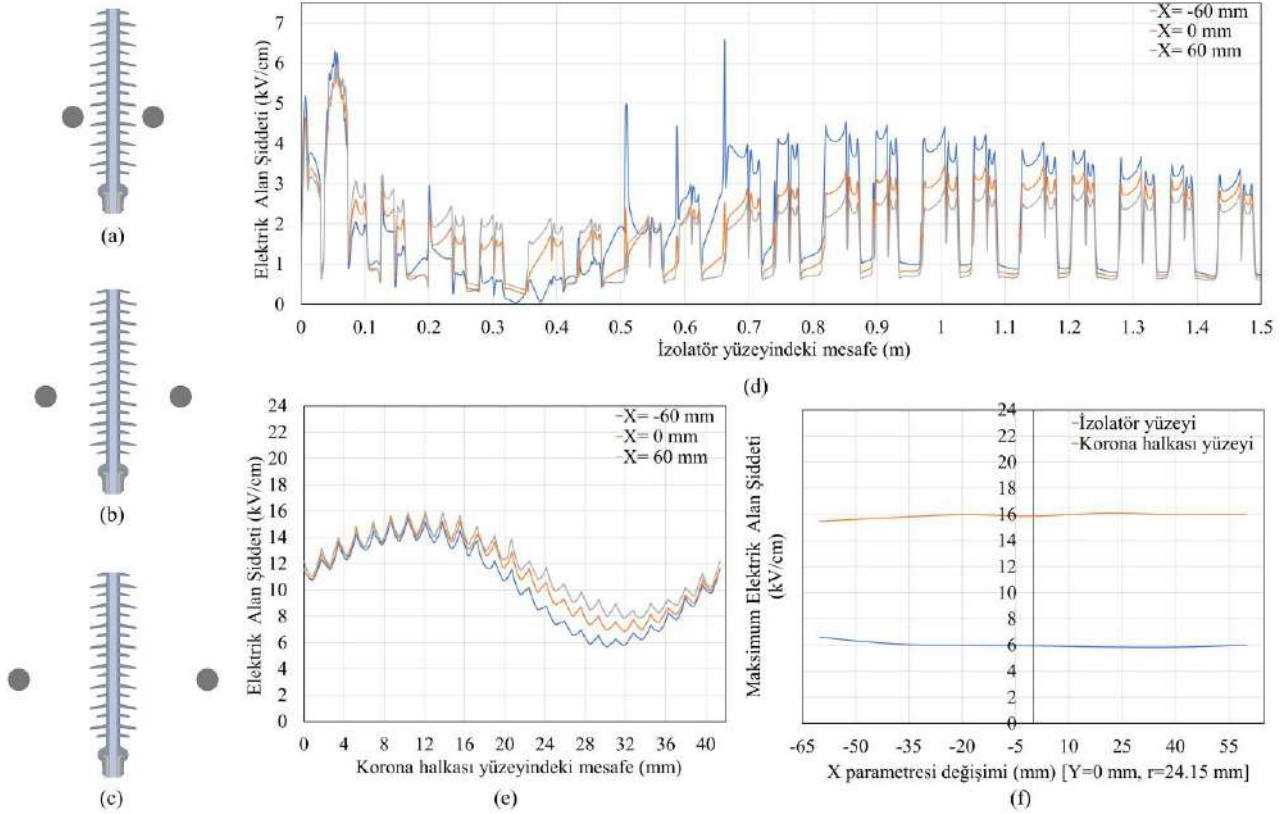
Şekil 5. Referans durumda oluşan elektrik alan dağılımı görseli (a) görünüm-1 (b) görünüm-2

### 3.2. Yarıçap Değişiminin İncelenmesi

Korona halkasının yarıçapı değişimi bu bölümde incelenmiştir. Referans değeri 150 mm olan parametre  $\pm 60$  mm arasında ötelenmiştir. Silikon izolatör ve korona halkası yüzeyinde oluşan elektrik alan dağılımı profili referans değer ve uç değerler için Şekil 6-d üzerinde gösterilmiştir. Maksimum elektrik alan değerleri ise Şekil 6-f üzerinde gösterilmiştir. Korona halkası çapının artmasının silikon izolatör yüzeyinde oluşan elektrik alan dağılımını daha dengeli bir duruma getirdiği görülmektedir. Çapın azalması durumunda maksimum elektrik alan değerinde önemli bir değişim olmamasına

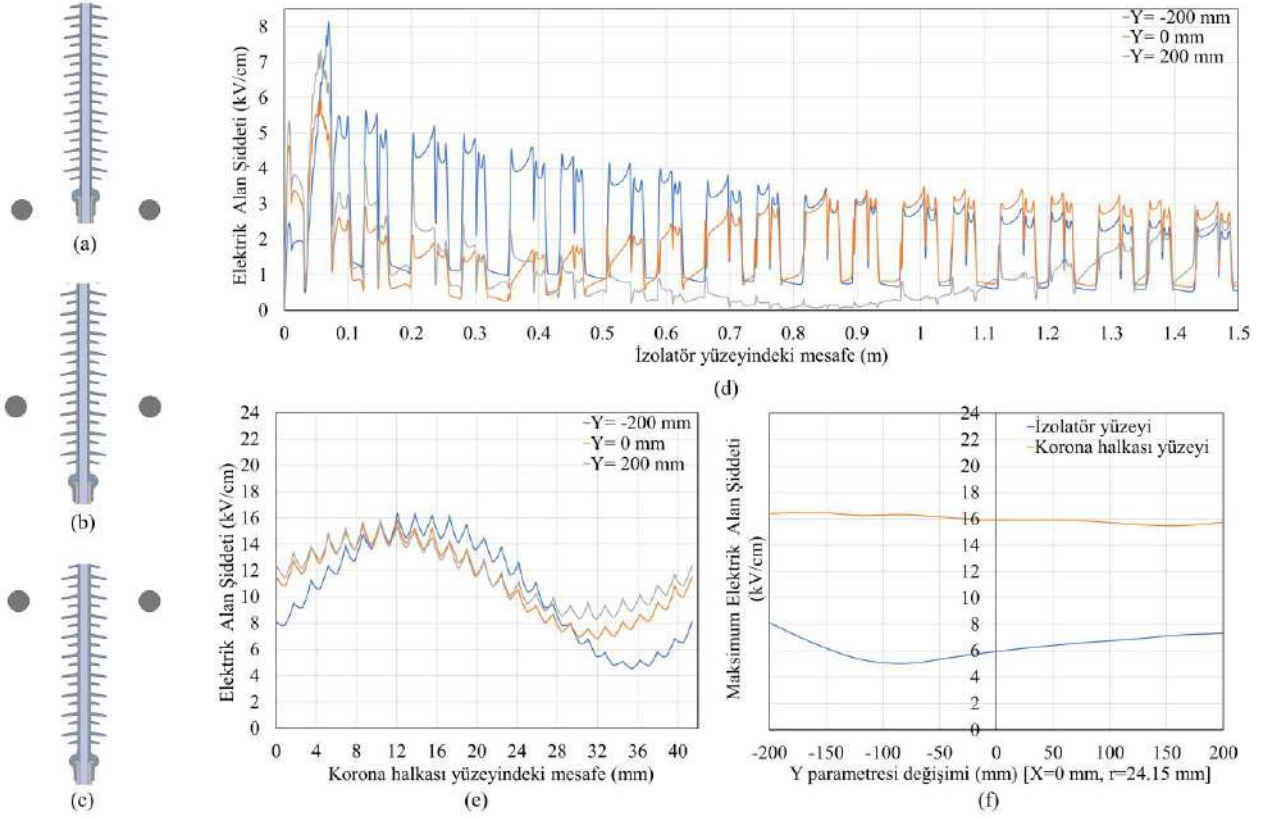


Şekil 7 . Korona halkası metal yarıçapının değişimine göre elektrik alan dağılımları



Şekil 6 . Korona halkası yarıçapının değişimine göre elektrik alan dağılımları

rağmen korona halkası hizasından sonraki baklalar



Şekil 8. Korona halkası yüksekliğinin değişimine göre elektrik alan dağılımları

üzerinde oluşan elektrik alan dağılımının yükseldiği görülmektedir. Çaptaki değişimin korona halkası yüzeyinde oluşan maksimum elektrik alan şiddetine önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir.

Tablo 2. İncelenen durumlarda parametre değerleri

Durum	X (mm)	Y (mm)	r (mm)
1	0	-120	24.15<r<36.225
2	0	-80	24.15<r<36.225
3	0	-40	24.15<r<36.225
4	0	0	24.15<r<36.225
5	20	-120	24.15<r<36.225
6	20	-80	24.15<r<36.225
7	20	-40	24.15<r<36.225
8	20	0	24.15<r<36.225
9	40	-120	24.15<r<36.225
10	40	-80	24.15<r<36.225
11	40	-40	24.15<r<36.225
12	40	0	24.15<r<36.225
13	60	-120	24.15<r<36.225
14	60	-80	24.15<r<36.225
15	60	-40	24.15<r<36.225
16	60	0	24.15<r<36.225

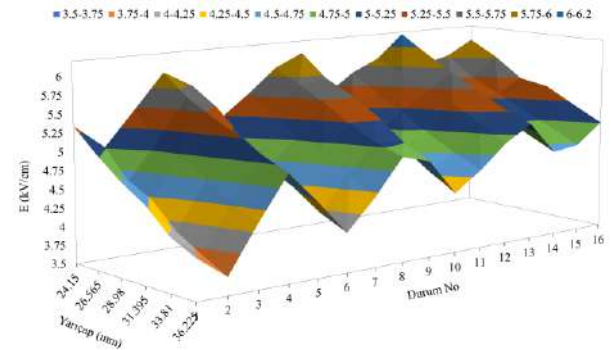
### 3.3. Yükseklik Değişiminin İncelenmesi

Korona halkasının yükseklik değişimi bu bölümde incelenmiştir. Referans değeri 320 mm olan parametre  $\pm 200$  mm arasında ötelenmiştir. Silikon izolatör ve korona halkası yüzeyinde oluşan elektrik alan dağılımı profili referans değer ve uç değerler için Şekil 8 üzerinde

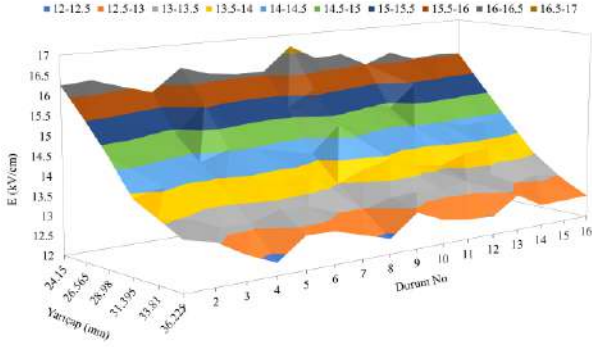
gösterilmiştir. Maksimum elektrik alan değerleri ise Şekil 8-f üzerinde gösterilmiştir. Yükseklik değişimi maksimum elektrik alan şiddetine ve alan profiline etki etmektedir. Şekil 8-f üzerinde görüleceği üzere silikon izolatör üzerinde oluşan değişim lineer değildir.

### 3.4. Tüm Durumların Birlikte Değerlendirilmesi

Tüm durumların etkisinin aynı anda anlaşılabilmesi için 3 adet parametreye bağlı olarak toplamda 96 adet tasarım değerlendirilmiştir. Değerlendirilen durumlar Tablo 2 üzerinde gösterilmiştir. Bu durumlarda silikon izolatör üzerinde oluşan elektrik alan dağılımı Şekil 9 üzerinde, korona halkası üzerinde oluşan elektrik alan dağılımı Şekil 10 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 9. 96 farklı durum için silikon izolatör yüzeyi üzerinde oluşan maksimum elektrik alan dağılımları



**Şekil 10.** 96 farklı durum için korona halkası yüzeyi üzerinde oluşan maksimum elektrik alan dağılımları

#### 4. Sonuçlar

Gerçekleştirilen analizler sonucunda korona halkası tasarım parametrelerinin hem izolatör yüzeyi üzerinde hem de korona halkası üzerinde elektrik alan dağılımına etki ettiği görülmektedir. Korona halkası metal çapının artırılması durumunda hem silikon izolatör hem de korona halkası yüzeyindeki elektrik alan dağılımının azaldığı görülmektedir. Korona halkası çapının maksimum elektrik alan şiddetine önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir. Buna karşın çapın, elektrik alan dağılımı formunu değiştirdiği görülmektedir. Çapın artması durumunda elektrik alan dağılımı daha dengeli olmaktadır. Korona halkasının yüksekliği maksimum elektrik alan dağılımına ve alan dağılımı formuna etki etmektedir. Korona halkasının yüksekliğine göre elektrik alan dağılımı lineer olarak değişmemektedir. Bu çalışma kapsamında korona halkasının tasarım parametrelerinin elektrik alan dağılımına etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre izolasyon sistemi tasarımı yapılırken sonlu elemanlar yöntemi ile elektrik alan analizlerinin gerçekleştirilip yorumlanmasının gerekliliği gösterilmiştir.

#### 5. Kaynaklar

- [1] Lan, L. ve Gorur, RS., “Computation of ac wet flashover voltage of ceramic and composite insulators”, *IEEE Trans Dielectr Electr Insul*, 15(5), 1346–1352, 2008. Doi: 10.1109/TDEI.2008.4656243
- [2] Tourreil, C. Brocard, E. Sklenicka, V., “Cigre Brochure 284: Use of corona rings to control the electrical field along transmission line composite insulators”, *Cigre Brochure*, 1-25., 2005.
- [3] Phillips, A. Kuffel, J. Baker, A. Burnham, J. Carreira, A., Cherney, E., Chisholm, W., Farzaneh, M. Gemignani, R. Gillespie, A. Grisham, T. Hill, R. Saha, T. Vancia, B. Yu, J., “Electric fields on AC composite transmission line insulators”, *IEEE Trans Power Deliv*, 23(2), 823–30, 2008. Doi: 10.1109/TPWRD.2007.911127
- [4] Gutman, I. Lungquist, J. Dubickas, V. Carlshem, L. Kleveborn, R., “Design of corona/arcing rings when replacing cap-and-pin insulators by composite insulators”, *XVII International Symposium on High*

*Voltage Engineering*, Honnover, Germany, 1–6, 2011.

- [5] Phillips, AJ. Maxwell, AJ. Engelbrecht, CS. Gutman, I., “Electric-field limits for the design of grading rings for composite line insulators” *IEEE Trans Power Deliv*, 30(3):1110–8, 2015. Doi: 10.1109/TPWRD.2014.2362074
- [6] IEEE Guide for Application of Composite Insulators, 2001. Doi: 10.1109/mspec.1975.6368794
- [7] Ilhan, S. Ozdemir, A., “380 kV corona ring optimization for AC voltages”, *IEEE Trans Dielectr Electr Insul*, 18(2), 408–17, 2011. Doi: 10.1109/TDEI.2011.5739444
- [8] Li, J. Peng, Z. Feng, Y. Fu, X. Xie. T. “Electric field calculation and grading ring optimization of composite insulator for 500kV AC transmission lines”, *Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Solid Dielectrics*, Potsdam, Germany, 1–4, 2010
- [9] Kalimurugan, MS. Maheswari, RV., “Investigation of electric field distribution on A C composite insulator using corona ring”, *IEEE International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems*, Coimbatore, India, 1–6, 2015
- [10] M’Hamdi, B. Tegar, M. Mekhaldi, A., “Optimal design of corona ring on HV composite insulator using PSO approach with dynamic population size”, *IEEE Trans Dielectr Electr Insul*, 23(2), 1048–57, 2016. Doi: 10.1109/TDEI.2015.005383
- [11] Ilhan, S. Ozdemir, A. Ismailoglu, H., “Impacts of corona rings on the insulation performance of composite polymer insulator strings”, *IEEE Trans Dielectr Electr Insul*, 22(3), 1605–12, 2015. Doi: 10.1109/TDEI.2014.004753
- [12] Akbari, E. Mirzaie, M. Asadpoor, MB. Rahimnejad, A., “Effects of disc insulator type and corona ring on electric field and voltage distribution over 230-kV insulator string by numerical method” *Iran J Electr Electron Eng*, 9(1), 58–66, 2013
- [13] Alboyacı, B. Çınar, MA. Demiroglu, YB. Uzar, M., “Reducing the failures with adding glass insulators to composite insulators of 400 kV transmission line at high altitude”, *Engineering Failure Analysis*, 2022. Doi: 10.1016/j.engfailanal.2022.106678