

380 kV V - Askı Takımlarının Alternatif Gerilim Performansına Korona Halkalarının Etkisinin İncelenmesi

Investigation of Corona Rings Effects on Alternating Voltage Performance of 380 kV V - Suspension Sets

Suat İlhan¹, Aydoğan Özdemir²

^{1,2} Elektrik Mühendisliği Bölümü

Elektrik - Elektronik Fakültesi

İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469 Maslak / İstanbul

ilhan@elk.itu.edu.tr, ozdemir@elk.itu.edu.tr

Özet

Bu çalışma, ülkemiz enerji iletim sisteminde kullanılan porselen ve cam izolatör birimlerinden oluşmuş 380 kV V - askı takımının alternatif gerilim performansının değişik korona halkaları altında incelenmesini içermektedir. DeneySEL ve benzetim çalışmaları, 5 farklı modelde korona halkası durumu için yapılmıştır. Üç boyutlu modelleme ve benzetimlerin tümünde sınır elemanları yöntemi ile çözüm yapan Coulomb isimli lisanslı yazılım kullanılmıştır. Benzetim çalışmalarında, izolatör zinciri boyunca gerilim dağılışı ile korona halkası üzerindeki maksimum elektrik alan şiddetleri hesaplanmıştır. DeneySEL çalışmalar İstanbul Teknik Üniversitesi Fuat Köllük Yüksek Gerilim Laboratuvarı'nda yapılmıştır. DeneySEL çalışmalarda, kuruda ve yaşta alternatif gerilim atlama değerleri ile korona halkası üzerindeki görünür korona başlangıç değerleri belirlenmiştir.

Abstract

This study presents alternating voltage performance of 380 kV V - insulator string composed of cap and pin type glass and porcelain insulator units utilized in Turkish Power Transmission Systems. Simulations and experiments were conducted for five different corona rings settings. Coulomb commercial software based on boundary element method was used all three dimensional modelling and simulations. In the simulation studies, potential distribution along the string and maximum electrical field on the corona rings were calculated. Experimental studies were conducted at Fuat Köllük High Voltage Laboratory of Istanbul Technical University. Dry - wet power frequency flashover voltages of the strings and visible corona inception voltage on the corona rings were obtained by experimentally.

1. Giriş

Korona halkaları izolatör zincirlerinin elektriksel performanslarını arttırmak için kullanılırlar. Bu halkalar yardımı ile izolatör zinciri ve bağlantı elemanlarına ilişkin korona boşalmaları, duyulabilir ses düzeyleri, radyo ve televizyon girişim düzeyleri ve iletim hattına en yakın izolatör

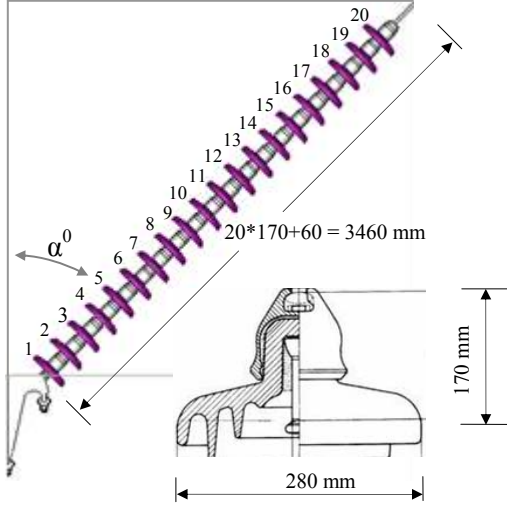
elemanlarına düşen gerilim yüzdeleri önemli şekilde azaltılabilir [1,2].

380 kV iletim sistemimizde, porselen ve cam izolatör izolatör birimlerinden oluşmuş V - askı takımları ile birlikte değişik geometrilerde korona halkaları kullanılmaktadır. V - askı takımlarında meydana gelen arızaların büyük bir bölümünü korona halkaları ile iletim direği arasında meydana gelen boşalma olayları oluşturmaktadır.

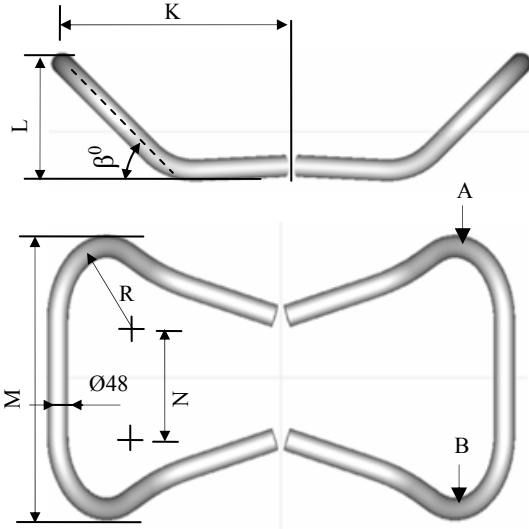
Bu çalışmada, değişik geometrilerde 5 farklı korona halkası için porselen ve cam izolatörlerden oluşmuş 380 kV V - askı takımının alternatif gerilim performansı deneySEL ve benzetim yoluyla incelenmiştir. Benzetim çalışmalarında, korona halkaları üzerindeki maksimum elektrik alan şiddetleri, korona halkası kullanımının izolatör yüzeyi boyunca gerilim ve elektrik alan dağılımına etkileri farklı V - askı açıları altında porselen ve cam izolatör durumları için ayrı ayrı incelenmiştir. Laboratuvar modelinin gerçek sistemdeki modele uygunluğunu belirlemek için bir dizi benzetim yapılmıştır. 3 boyutlu benzetim çalışmaları için sınır elemanları yöntemi ile çözüm yapan Coulomb V6.4 isimli lisanslı yazılımdan faydalanılmıştır. Alternatif gerilim altında yapılan deneySEL çalışmalarda, korona halkaları üzerindeki görünür korona başlangıç gerilimleri ve her bir korona halkası için izolatör zincirindeki atlama gerilimleri porselen ve cam izolatör durumları için kuruda ve yaşta belirlenmiştir. DeneySEL çalışmalar ile benzetim çalışmalarını karşılaştırmak için korona halkaları üzerindeki görünür korona başlangıç gerilimi değerleri referans olarak alınmış ve sonuçların uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir.

2. Çalışmalarda Kullanılan İzolatörler ve Korona Halkaları

Şekil 1'de porselen izolatör elemanlarından oluşmuş 20 elemanlı izolatör zincirinin bir parçası ve zincir izolatörüne ilişkin temel büyüklükler verilmiştir. Bu model 1272 MCM 3'lü demet iletkenli yapıyı temsil etmektedir. Benzetim ve deneySEL çalışmalarda gerçek iletim hattını temsil etmek için 35 mm çapında alüminyum borular kullanılmıştır. DeneySEL ve benzetim çalışmalarında kullanılan 5 farklı yapıda raket tipi korona halkalarına ilişkin temel büyüklükler Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Porselen veya cam izolatöre ilişkin temel büyüklükler, izolatörler numaraları ve V-askı açısı



Model	Model parametreleri (mm)					
	K	L	M	N	R	β⁰
Model-1	535	315	600	240	180	27
Model-2	480	250	500	130	185	30
Model-3	460	240	500	-	250	25
Model-4	420	265	700	260	220	70
Model-5	410	320	700	270	215	30

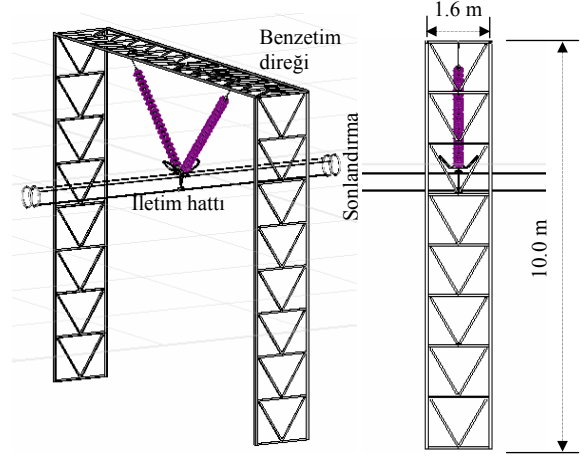
Şekil 2. Benzetimlerde ve deneylerde kullanılan 5 farklı korona halkasına ilişkin geometrik boyutlar

Her bir korona halkası 48 mm çapındadır. Her bir korona halkasının izolator elemanları ile iletim hattını birbirine bağlayan boyunduruk ,Şekil 1, elemanı üzerindeki bağlantı noktası eşdeğerdir. İzolatör zincirlerinin gergin ve belli bir askı açısı ile durmasını sağlamak için karşı ağırlıklar kullanılmış ve bu ağırlıklar izolator zincirinin elektriksel performansını etkilemeyecek mesafede asılmıştır.

3. Benzetim Çalışmaları

3.1 Laboratuvar Modeli

Şekil 3 temel büyüklükleri ile birlikte laboratuvar modelini göstermektedir. Laboratuvar modeli IEC 61284 (1997-09) standartına göre düzenlenmiştir [3]. İletim hattını temsilen 6 m uzunluklu ve 35 mm çapında alüminyum borular kullanılmıştır. Uç etkisini azaltmak için iletim hattının her iki tarafı 65 cm çaplı silindirik alüminyum korona halkaları ile sonlandırılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Laboratuvar modeline ilişkin geometrik boyutlar

İletim hattı, korona halkası, izolator - hat bağlantı iletkenleri ve iletim hattına en yakın izolator pimi 50 Hz frekanslı 380 kV_{eff}/√3 = 220 kV_{eff} sınır gerilim değerindedir. Benzetim direği, laboratuvar zemini ve duvarları, izolatorlerin direğe bağlantı noktaları ve direğe en yakın izolatorün başlığı ise toprak potansiyelindedir. Diğer benzetim parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Benzetim parametreleri

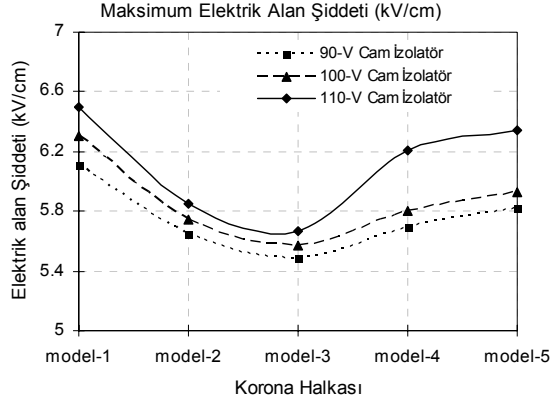
	Dış ortam (hava)	Porselen	Cam
Bağıl Dielektrik Sabiti, ε _r	1.0	6.0	3.8
İletkenlik (1/Ωm)	0	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹⁷

Dielektrik ortam için hacimsel iletkenlik dikkate alınrsa bağıl dielektrik sabiti karmaşık yapıda olacaktır. Karmaşık dielektrik sabiti aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir [5].

$$\epsilon \approx \epsilon_{\text{real}} - j^* \epsilon_{\text{im}} = \epsilon_{\text{real}} - j^* \frac{\sigma}{\omega \epsilon_0} \quad (1)$$

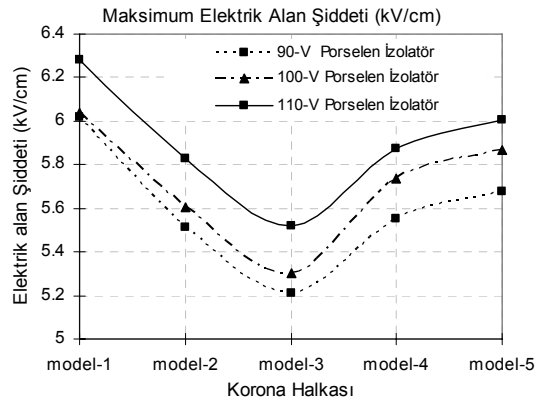
Benzetim çalışmalarında 50 Hz frekanslı alternatif gerilim dikkate alınmış ve izolator yüzeyleri ile izolatorleri çevreleyen dış ortamın tamamen temiz olduğu varsayılmıştır. Tablo 1'de verildiği gibi porselen ve cam yalıtkan ortamların hacimsel iletkenliği çok küçük olup dielektrik sabiti baskın olarak reel kısımdan oluşmaktadır.

Tüm 3 boyutlu benzetim çalışmalarında Coulomb V6.4 isimli lisanslı yazılım kullanılmıştır. Program sınır elemanları yöntemi ile çözüm yapmaktadır ve büyük açık alan problemleri için uygun bir programdır [4]. Benzetimlerde Pentium 4.0, 2.5 GHz işlemci ve 8.0 GB RAM özellikli bir bilgisayar kullanılmıştır.



Şekil 4. Cam izolatörlü 90°, 100° ve 110° V-askı takımları için korona halkası üzerindeki maksimum elektrik alan şiddetleri

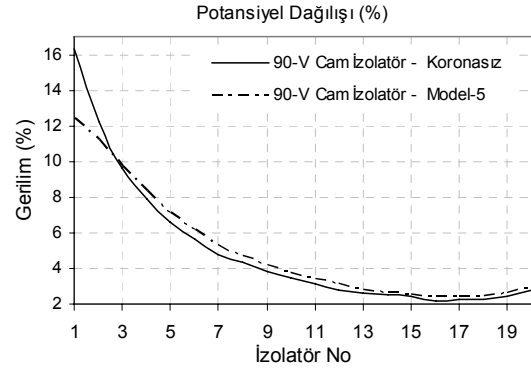
Şekil 4 ve Şekil 5 sırası ile 90°, 100° ve 110° cam izolatörlü ve porselen izolatörlü V - askı takımları için 5 farklı korona halkaları üzerindeki maksimum elektrik alan şiddetleri verilmiştir. Maksimum elektrik alan şiddetleri Şekil 2’de gösterilen A ve B noktalarında oluşmaktadır. Şekil 4 – 5’den görüleceği gibi V - askı açısının artması ile birlikte korona halkaları üzerindeki alan şiddetleri artmaktadır. Bunun yanı sıra, cam izolatör durumunda korona halkaları üzerindeki alan şiddetleri porselen izolatör durumundakinden daha fazladır. Korona halkasının kullanılması izolatör zinciri boyunca potansiyel dağılımının yanı sıra elektrik alan dağılımını da önemli ölçüde azaltmaktadır ve askı takımının korona ve radyo girişim gerilimleri açısından olumlu bir sonuçtur.



Şekil 5. Porselen izolatörlü 90°, 100° ve 110° V-askı takımları için korona halkası üzerindeki maksimum elektrik alan şiddetleri

Şekil 6’da cam izolatörlü 90° V - askı takımına ilişkin izolatör elemanına düşen gerilim yüzdeleri korona halkalı (model-5) ve korona halkasız durum için verilmiştir. Korona halkasının (model-5) kullanılması ile özellikle iletim hattına

en yakın izolatördeki gerilim yüzdesi yaklaşık %30 mertebesinde azalmıştır. Diğer korona halkaları da gerilim dağılışı üzerine benzer etkiyi yapmaktadır ve gerilim dağılışı açısından en olumlu etkiyi model-5 korona halkası yapmaktadır. Porselen ve cam izolatör durumlarındaki gerilim dağılışıları %5 - %10 mertebesinde değişiklik göstermektedir. Porselen izolatör durumunda gerilim dağılışı daha lineerdir ve bu durum iki farklı yalıtkanın dielektrik sabitlei farkından ileri gelmektedir. Askı açısının artması ile birlikte iletim hattına yakın izolatörlerdeki gerilim yüzdeleri bir miktar artarken toprak tarafına yakın izolatörlerdeki gerilim yüzdeleri ise bir miktar azalmaktadır. Bu değişimin yüzdesi yaklaşık %2 - %5 mertebesinde dir.



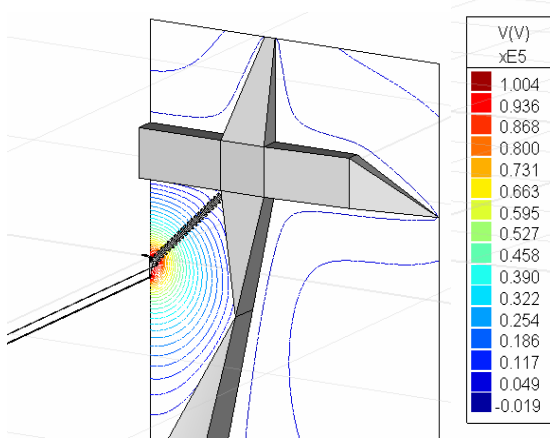
Şekil 6. Cam izolatörlü 90° V - askı takımına ilişkin korona halkalı (model-5) ve korona halkasız durum için her bir izolatör elemanına düşen gerilim yüzdeleri

3.1 Gerçek Model

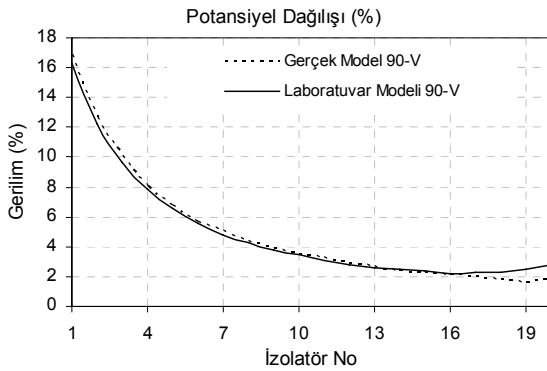
Laboratuvar benzetim sonuçlarının karşılaştırılması için gerçek sistemdeki alan dağılımlarının bilinmesi önemlidir. Gerçek sistem üzerine yapılan benzetim çalışmalarında, 380 kV 3B1 tipi orta taşıyıcı direk, iletim hattını temsilen 20 m boyunda, pürüzsüz, 35 mm çaplı alüminyum iletkenler kullanılmıştır. Direğin 40x40 m boyutlarında toprak potansiyelli bir düzlem üzerinde bulunduğu varsayılmıştır ve iletkenlerin sehim etkisi dikkate alınmamıştır. Toprak potansiyelindeki direk bir tek hacim olarak modellenmiştir. Benzetimlerde, sadece direğin merkezindeki V - askı takımına dikkate alınmıştır.

Laboratuvar benzetim sonuçlarının karşılaştırılması için gerçek sistemdeki alan dağılımlarının bilinmesi önemlidir. Gerçek sistem üzerine yapılan benzetim çalışmalarında, 380 kV 3B1 tipi orta taşıyıcı direk, iletim hattını temsilen 20 m boyunda, pürüzsüz, 35 mm çaplı alüminyum iletkenler kullanılmıştır. Direğin 40x40 m boyutlarında toprak potansiyelli bir düzlem üzerinde bulunduğu varsayılmıştır ve iletkenlerin sehim etkisi dikkate alınmamıştır. Toprak potansiyelindeki direk bir tek hacim olarak modellenmiştir. Benzetimlerde, sadece direğin merkezindeki V-askı takımına dikkate alınmıştır.

Şekil 7’de cam izolatörlü 90° V - askı takımına ilişkin eşpotansiyel çizgileri verilmiştir. Potansiyel dağılışı açısından gerçek model ile laboratuvar modelinin karşılaştırılması Şekil 8’de verilmiştir. Laboratuvar modeli ile gerçek model sonuçları birbirini ile uyum içerisinde dir.



Şekil 7. Cam izolatörlü 90° V - askı takımı için eşpotansiyel çizgileri



Şekil 8. Cam izolatörlü 90° V - askı takımı için laboratuvar modeli ile gerçek modelin karşılaştırılması

4. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalarda, her bir korona halkası durumu için, porselen ve cam izolatörlü 100° V-askı takımlarının kuruda ve yapay yağmurlama altında alternatif gerilim atlama gerilimi değerleri belirlenmiştir. Benzetim sonuçları ile deneysel sonuçları karşılaştırmak için, kuruda, her bir korona halkasındaki görünür korona başlangıç gerilimleri belirlenmiştir. Deneyler, İ.T.Ü. Fuat Köllük Yüksek Gerilim Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Deneylerde, 1000 kVA, 50 Hz ve 1200 kV_{eff} 3 katlı kaskad bağlı yüksek gerilim deney transformatörü kullanılmıştır. Laboratuvar deney düzeneği Şekil 12'de verilmiştir.

Tablo 2 - 3'de porselen ve cam izolatörlü 100° V - askı takımına ilişkin kuruda ve yağta atlama gerilimleri ve korona halkaları üzerindeki görünür korona başlangıç gerilimleri verilmiştir. Her bir deney 3'er kez tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır. Yağta yapılan deneylerde yapay yağmurlama suyunun iletkenliği 80 µS/m mertebesindedir. Askı takımları ile birlikte korona halkasının kullanılması cam izolatör durumunda, korona halkasının tipine bağlı olarak, korona halkasız duruma göre atlama gerilimini %6 - %11, porselen izolatör durumu için ise %3 - %7 mertebesinde düşürmektedir. İzolatör zincirindeki atlamalar, korona halkası varken, korona halkası ile benzetim direği arasında (Şekil 9. (a)), korona halkasız durum için ise boyunduruk iletkeni ile direk arasında (Şekil 9. (b)) gerçekleşmektedir. Korona

halkasının kullanılması ile birlikte izolatör zincirinin minimum ark/atlama mesafesi %3 - %6 mertebesinde azalmaktadır.

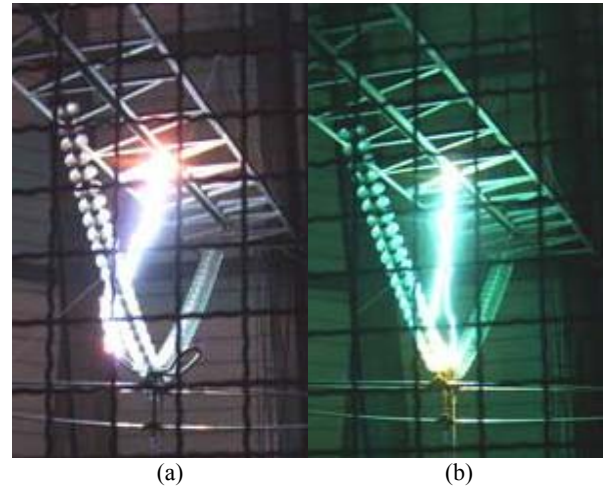
Şekil 10'da ise deneysel ve benzetim sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir. Benzetim yoluyla, korona halkası üzerindeki görünür korona başlangıç geriliminin hesaplanmasında görünür korona başlangıç elektrik alan şiddeti 22 kV_{eff} / cm olarak dikkate alınmıştır [6]. Benzetim sonuçları ile deneysel sonuçlar %4 - %13 mertebesinde farklılık göstermektedir.

Tablo 2. Cam izolatörlü 100° V - askı takımına ilişkin atlama gerilimleri ve korona halkası üzerindeki görünür korona başlangıç gerilimleri

Korona Halkası Modeli	Atlama Gerilimi (kV _{eff})		Gör. Korona Başlangıç Ger.(kV _{eff})
	Kuruda	Yağta	Kuruda
Model-1	693	687	383
Model-2	697	676	437
Model-3	683	673	443
Model-4	707	667	397
Model-5	683	660	420
Korona Halkasız	753	733	-

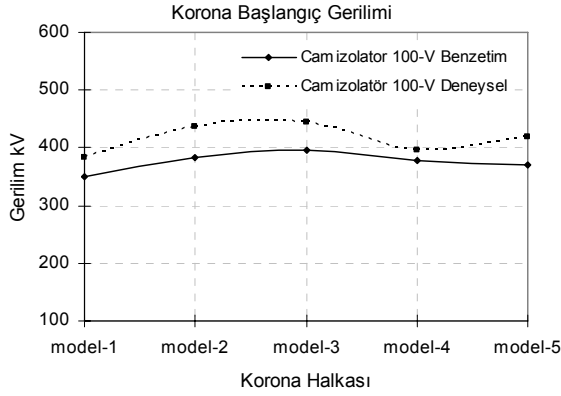
Tablo 3. Porselen izolatörlü 100° V - askı takımına ilişkin atlama gerilimleri ve korona halkası üzerindeki görünür korona başlangıç gerilimleri

Korona Halkası Modeli	Atlama Gerilimi (kV _{eff})		Gör. Korona Başlangıç Ger.(kV _{eff})
	Kuruda	Yağta	Kuruda
Model-1	710	693	400
Model-2	720	697	425
Model-3	713	680	430
Model-4	723	707	425
Model-5	732	700	413
Korona Halkasız	750	728	-

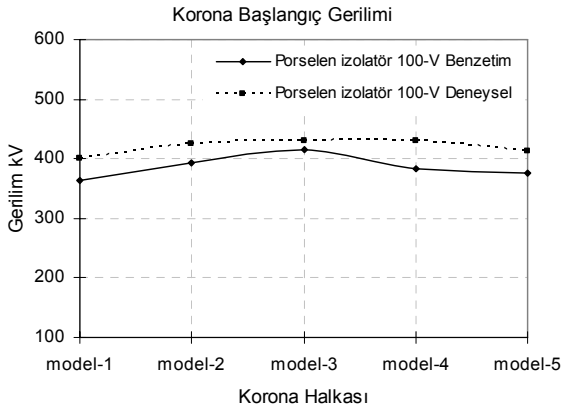


Şekil 9. Cam izolatorlu 100° V - askı takımı için (a) korona halkası ile direk arasında (b) boyunduruk elemanı ile direk arasında atlama olayının gerçekleşmesi

Korona halkası üzerindeki görünür korona başlangıç gerilimi korona halkasının türüne göre farklılık göstermektedir. Porselen ve cam izolator durumu için en yüksek korona başlangıç gerilimi en büyük R yarıçaplı (Şekil 2) model-3 üzerinde görülmüştür. Benzetim sonuçları da bu sonucu doğrulamaktadır (Şekil 4 – 5).



(a)



(b)

Şekil 10. (a) Cam izolator durumu için (b) Porselen izolator durumu için deneysel ve benzetim ile elde edilen korona halkası üzerindeki görünür korona başlangıç gerilimlerinin karşılaştırılması

5. Sonuçlar

Bu çalışma 380 kV, 20 elemanlı porselen ve cam izolatorlu V - askı takımı için alternatif gerilim altında yapılan deneysel ve benzetim çalışmalarını içermektedir.

Kaçak kapasitelerden dolayı izolator yüzeyi boyunca gerilim dağılışı lineer değildir. Kullanılan korona halkasının modeline bağlı olarak iletim hattına yakın izolatorlerdeki gerilim yüzdeleri azaltılmaktadır. En çok gerilim yüzdesindeki azalma model-5 ile belirtilen korona halkası ile sağlanmıştır. Porselen izolatorlu V - askı takımındaki gerilim dağılışı cam izolatorlu askı takımından daha lineerdir. V - askı açısının artması ile birlikte toprak tarafına yakın

izolatorlerdeki gerilim yüzdeleri %2 - %5 mertebesinde azalmaktadır. Gerilim dağılışı açısından, laboratuvar modeli ile gerçek model uyum içerisinde.

Korona halkaları üzerindeki maksimum elektrik alan şiddetleri artan V - askı açısı ile artmaktadır. Halka üzerindeki maksimum elektrik alan şiddetinin değeri daha çok R ile belirtilen yarıçapla değişmektedir.

Deney sonuçları ile benzetim sonuçları %4 - %13 mertebesinde farklılık göstermektedir. Bu farklılık, deney devresinin tümünün modellenmesindeki zorluktan kaynaklanmaktadır. Deney sonuçlarından, porselen ve cam izolator durumları için, korona halkasının kullanılması ile birlikte, korona halkasının türüne bağlı olarak, izolator zincirinin atlama gerilimleri %3 - %11 mertebesinde azalmaktadır. Atlamalar, korona halkasının kullanılması durumunda, korona halkası ile iletim direği arasında, korona halkasız durum için ise boyunduruk iletkeni ile benzetim direği arasında olmaktadır. Korona halkasının kullanılması izolator zincirinin minimum atlama mesafesinin %3 - %6 mertebesine kadar düşürmektedir. Deney sonuçlarından, korona halkalı durumlar için, porselen izolatorlu askı takımındaki atlama gerilimleri cam izolatorlu askı takımlarından %2 - %7 oranında daha büyük çıkmıştır. Yapay yağmurlama altında yapılan deneylerde, yağmur altındaki atlama gerilimi değerleri kurudaki değerlere göre %1 - %5 mertebesinde daha düşüktür. Korona halkasının kullanılması, kuruda olduğu gibi, yapay yağmur altında da izolator atlama gerilimini düşürmektedir.

Korona halkalarının kullanılması izolator zinciri boyunca gerilim ve elektrik alan dağılışına olumlu etki yapmasına karşın, izolator zincirinin atlama gerilimini önemli ölçüde düşürmektedir.

6. Kaynaklar

- [1] Sima W., Espino-Cortes F.P., Edward A.C. and Jayaram H.S., Optimization of Corona Ring Design for Long-Rod Insulators Using FEM Based Computational analysis *IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, Indianapolis, in USA, 19-22 September 2004 Page(s) :480 – 483
- [2] Sima W., Wu K., Yang Q., Sun C., *Corona Ring Design of +/-800 kV DC Composite Insulator Based on Computer Analysis*, *IEEE International Conference on electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, October 2006, Page(s): 457 – 460
- [3] IEC Overhead lines – Requirements and test for fittings, *IEC International Standard 61284*, 1997-09
- [4] Integrated Engineering Software—Users and Technical Manual for Coulomb 3D, Version 6.4, Winnipeg: Enginia Research Inc., 2008.
- [5] G. Gorur, Raju, *Dielectrics in Electric Field*, New York: Marcel Dekker, c2003.
- [6] Que W., Sebo S. A., Hill R. J., “Practical Cases of Electric Field Distribution Along Dry and Clean Nonceramic Insulators of High-Voltage Power Lines”, *IEEE Transactions On Power Delivery*, Vol. 22, No. 2, pp 1070–1078, April 2007