Yüksek Gerilim Ayırıcılarının Karma Gerilimlerde Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Elektrik Alan Analizi

Electric Field Analysis of High Voltage Disconnectors at Composite Voltage with Finite Element Method

Miraç Yazıcı¹, Özcan Kalenderli¹, Mehmet Murat İspirli²

¹Elektrik Mühendisliği Bölümü İstanbul Teknik Üniversitesi, Maslak, 34469 İstanbul yazicim19@itu.edu.tr, kalenderli@itu.edu.tr

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Marmara Üniversitesi, Maltepe, 34584, İstanbul mispirli@marmara.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, karma gerilimlerin yüksek gerilim ayırıcıları üzerindeki etkileri elektriksel zorlanma açısından araştırılmıştır. Yüksek gerilim ayırıcı modeli olarak tek fazlı, ortadan açmalı ayırıcı düşünülmüştür. Karma gerilimlerin yüksek gerilim ayırıcıları üzerindeki etkilerini incelemek için Comsol Multiphysics programında bir model tanımlanmıştır. Ayırıcıya karma gerilim uygulandıktan sonra elektriksel potansiyel ve elektrik alan dağılımları elde edilmiştir. Ayırıcıya karma gerilim uygulandığında, ayırıcı üzerindeki maksimum elektriksel potansiyel ve maksimum elektrik alan şiddeti değerlerinin, karma olmayan yani tek türden gerilim uygulanması durumuna göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Abstract

In this study, the effects in terms of electric stress of composite voltages on high voltage disconnectors were investigated. As the disconnector model, a single-phase center-break disconnector was considered. In order to examine the effects of composite voltages on high voltage disconnectors, a model is defined in the Comsol Multiphysics program. After the application of composite voltage to the disconnector, electric potential and electric field distributions were obtained. It has been observed that the maximum electric potential and the maximum electric field strength values on the disconnector are higher when composite voltage than the case of applying non-mixed voltage is applied to the disconnector.

1. Giriş

Elektrik enerjisinin verimli kullanılması için yüksek gerilim sistemlerine ve yüksek gerilim sistemlerinin güvenli çalışması için çeşitli aygıt ve donanımlara gereksinim duyulmaktadır. Bu tür aygıt ve donanımların yüksek gerilim sistemlerinde çalışma koşullarına uygun olması ve güvenli bir şekilde kullanılabilmesi gerekir [1]. Bu nedenle, aygıt ve donanımların maruz kalacağı koşullar önceden belirlenmeli ve bu koşullarda çalışıp çalışmayacağı, maruz kalınacak zorlanmalara dayanıp dayanmayacağı denenerek belirlenmelidir. Ancak, bu deneyler gerçek uygulamada karşılaşılan her koşulu içermeyebilir. Bu koşullardan biri de yüksek gerilim ayırıcıların karma gerilime maruz kalması ve bu gerilimler altında nasıl davranacaklarıdır.

Karma gerilimler, farklı gerilimlerin birleşimi ile elde edilen gerilimlerdir [2]. Karma gerilimler doğada kendiliğinden oluşabilir. Örneğin, işletme gerilimi altında çalışan bir aygıta yıldırım darbesi gelmesiyle karma gerilim oluşabilir.

Yüksek gerilim ayırıcıları, yüksek gerilim sistemlerinde devre yüksüz iken açılıp kapatılabilen ve gerekli ayırma (yalıtım) aralığını sağlayan yüksek gerilim anahtarlarıdır [3, 4]. Bu çalışmada, 170 kV, tek fazlı, ortadan açmalı ayırıcı modeli ele alınmıştır. Ortadan açmalı ayırıcılar, terminallerdeki kontaklarının hareketli olduğu ve bu kontakların ayırıcının ayırma aralığının ortasında buluştuğu ayırıcılardır.

Bu çalışmada, yüksek gerilim ayırıcıların karma gerilim altındaki elektrik alan analizi, Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) kullanılarak, üç boyutlu ve gerilimin zamanla değişimi göz önüne alınarak yapılmıştır [5]. Bu analizler ile saha uygulamalarında, tip deneyleri dışında oluşan durumların ayırıcılara ne gibi etkileri olduğu değerlendirilmiştir [6, 7].

Karma gerilimlerin ayırıcılar üzerindeki etkilerini incelemek için fiziksel problemlerin SEY ile çözümünde kullanılan Comsol adlı bilgisayar programında bir model oluşturulmuştur [8, 9]. Karma gerilimin ayırıcı üzerindeki elektriksel zorlanma etkilerini incelemek için, ayırıcı kontakları hem kapalı hem de açık durumda iken ayırma aralığına ve faz toprak arasına 1,2/50 µs'lik yıldırım darbe gerilimi ve 50 Hz frekanslı alternatif gerilim (AG) ayrı ayrı ve birlikte (karma) uygulanmıştır. Ayırıcıya uygulanan gerilimin dalga şekli yani gerilimin zamanla değişimi göz önüne alınarak belirli anlarda elektriksel potansiyel ve elektrik alan dağılımları incelenmiştir. Bu incelemelerde amaç, elektriksel boşalma olayları bakımından çok önemli olan maksimum elektrik alan şiddetinin (zorlanmanın) genliğini ve yerini belirlemektir. Böylece, düzenleme yapılarak ve önlem alınarak güvenli ve güvenilir bir yüksek gerilim aracı yapmak ve işletmek mümkün olacaktır [10, 11].

2. Üç Boyutlu Elektrik Alan Benzetimleri

2.1. Model

Bu çalışmada ortadan açmalı ayırıcı modelinin bir fazı kullanılmıştır. Ayırıcı modeli SolidWorks programında üç boyutlu olarak çizilmiş ve daha sonra analizler için Comsol Multiphysics programına aktarılmıştır. Göz önüne alınan ayırıcının Comsol'daki modelinin açık ve kapalı pozisyonları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Ayırıcı modeli: a) Açık pozisyon; b) Kapalı pozisyon.

2.1.1. Modelin boyutları ve malzemeleri

Modellenen ayırıcının boyutları Şekil 2'de verilmiştir. Boyutlar, saha uygulamalarında kullanılan 170 kV ortadan açmalı ayırıcınınki ile bire bir aynıdır.



Şekil 2: Modellenen ayırıcının boyutları.

Yüksek gerilim ayırıcı modellenirken akım taşıma yolları için alüminyum, kontaklar için bakır, izolatörler için porselen ve taban çerçevesi için çelik kullanılmıştır. Ayrıca, ortam malzemesi olarak hava kullanılmıştır. Modelde kullanılan malzemeler ve malzemelere ait çözümlemede kullanılan bağıl dielektrik sabitleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1: Modelde kullanılan malzemeler ve bağıl dielektrik sabitleri

Subilien	
Malzeme adı	Bağıl dielektrik sabiti
Alüminyum (kollar)	105
Bakır (kontaklar)	105
Çelik (taban)	1
Porselen (izolatörler)	6
Hava (ortam)	1

2.1.2. Modelin sonlu elemanlara bölünmesi

Bilindiği gibi sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapabilmek için kapalı bir çözüm bölgesine gereksinim duyulmaktadır. Bunun için model, Şekil 3'teki gibi 2 x 2,5 x 2,3 metre boyutlarında dikdörtgenler prizması şeklinde bir kapalı bölge içinde tanımlanmıştır. Analiz sonuçlarının doğruluğu açısından bu boyutların daha büyük olması uygun olsa da, çözümün yapıldığı bilgisayar işlemci kapasitesinin sınırlaması nedeniyle boyutlar çok büyük seçilememiştir.



Şekil 3: Ayırıcı modelinin açık (solda) ve kapalı (sağda) pozisyonlarında Comsol'da sonlu elemanlar ağına bölünmesi.

Çözüm bölgesi, her yüzeyi üçgen olan dörtyüzlü elemanlardan ve üçgenlerden oluşan sonlu elemanlar ağına bölünmüştür. Ayırıcının açık pozisyonu modelinde 805146 dörtyüzlü, 89278 üçgen sonlu eleman kullanılmıştır. Bunun yanı sıra ayırıcının açık pozisyonu için ortalama eleman kalitesi 0,6108 olmuştur. Ayırıcının kapalı pozisyonu modelinde ise 793602 dörtyüzlü, 88897 üçgen sonlu eleman kullanılmıştır. Bu durumda da ortalama eleman kalitesi 0,6098 olmuştur.

2.2. Analizler

Karma gerilimin ayırıcı üzerinde meydana getirdiği etkilerin anlaşılabilmesi için ilk aşamada şebeke frekanslı gerilim ve yıldırım darbe gerilimi ayırıcıya tek tek uygulanmıştır. Bu çalışmada yapılan analizlerde, zamana bağlı (time-dependent) model oluşturulmuştur. Şebeke frekanslı gerilim 20 ms, yıldırım darbe gerilimi ise 50 µs süreyle ayırıcıya uygulanmıştır. Şebeke frekanslı gerilim uygulamasında 170 kV/ $\sqrt{3}$ = 98,15 kV etkin değerli gerilim uygulanmıştır. Şebeke frekanslı deney gerilimi uygulamasında ayırma aralığına 375 kV, faz – toprak arasına ise 325 kV etkin değerli gerilim uygulanmıştır. Yıldırım darbe gerilimi uygulamasında ayırma aralığına 860 kV, faz – toprak arasına ise 750 kV tepe değerli gerilim uygulanmıştır. Ardından şebeke frekanslı gerilimden ve yıldırım darbe geriliminden oluşan karma gerilim ayırıcıya 50 µs boyunca uygulanmıştır.

Karma gerilim uygulamasından önce karşılaştırma yapabilmek için ayırıcının açık ve kapalı durumları için alternatif ve darbe gerilimlerindeki elektrik alan incelemeleri yapılmıştır.

2.3. İşletme Gerilimindeki İncelemeler

Ayırıcıya işletme gerilimi altında; açık pozisyonda iken ayırma aralığına ve kapalı pozisyonda iken faz-toprak arasına

$$u(t) = 98,15 \cdot 10^3 \sqrt{2} \cdot \sin\omega t = 138,8 \cdot 10^3 \cdot 2\pi f t$$
(1)

98,15 kV etkin değerli gerilim uygulanarak hesaplar yapılmıştır.

2.4. Şebeke Frekanslı Deney Gerilimindeki İncelemeler

Ayırıcıya şebeke frekanslı deney gerilimi uygulanması durumunda elektrik alan hesaplarında;

i. Ayırıcı açık iken ayırma aralığı boyunca

$$u(t) = 375 \cdot 10^3 \sqrt{2} \cdot \sin\omega t = 530, 3 \cdot 10^3 \cdot 2\pi f t \tag{2}$$

50 Hz frekanslı 375 kV etkin değerli deney gerilimi uygulanmıştır.

ii. Ayırıcı açık iken faz – toprak arasına

$$u(t) = 325 \cdot 10^3 \sqrt{2} \cdot \sin\omega t = 459.6 \cdot 10^3 \cdot 2\pi f t \tag{3}$$

50 Hz frekanslı 325 kV etkin değerli deney gerilimi uygulanmıştır.

iii. Ayırıcı kapalı iken faz – toprak arasına

$$u(t) = 325 \cdot 10^3 \sqrt{2} \cdot \sin\omega t = 459.6 \cdot 10^3 \cdot 2\pi f t \tag{4}$$

50 Hz frekanslı 325 kV etkin değerli deney gerilimi uygulanmıştır.

2.5. Yıldırım Darbe Gerilimindeki İncelemeler

IEC 62271-1 standardında 170 kV ayırıcılar için uygulanması gereken yıldırım darbe geriliminin tepe değeri faz – toprak arası için 750 kV olarak, ayırma aralığı için 860 kV olarak verilmiştir [4]. Bu çalışma boyunca, analizler standartta belirtildiği gibi yıldırım darbe geriliminin hem pozitif kutbu için hem de negatif kutbu için ayrı ayrı uygulanmıştır [4]. Elektrik alan hesaplarında:

i. Ayırıcı açık iken ayırma aralığına

$$V(t) = 860 \cdot 10^3 (e^{-1.4912 \cdot 10^4 t} - e^{-1.6335 \cdot 10^6 t})$$
(5)

pozitif kutuplu 860 kV tepe değerli yıldırım darbe gerilimi uygulanmıştır.

ii. Ayırıcı açık iken ayırma aralığına

$$V(t) = -860 \cdot 10^{3} (e^{-1.4912 \cdot 10^{4} t} - e^{-1.6335 \cdot 10^{6} t})$$
(6)

negatif kutuplu –860 kV tepe değerli yıldırım darbe gerilimi uygulanmıştır.

iii. Ayırıcı açık iken faz – toprak arasına

$$V(t) = 750 \cdot 10^{3} (e^{-1.4912 \cdot 10^{4} t} - e^{-1.6335 \cdot 10^{6} t})$$
⁽⁷⁾

pozitif kutuplu 750 kV tepe değerli yıldırım darbe gerilimi uygulanmıştır.

$$V(t) = -750 \cdot 10^3 (e^{-1.4912 \cdot 10^4 t} - e^{-1.6335 \cdot 10^6 t})$$
(8)

negatif kutuplu -750 kV tepe değerli yıldırım darbe gerilimi uygulanmıştır.

v. Ayırıcı kapalı iken faz - toprak arasına

$$V(t) = 750 \cdot 10^3 (e^{-1.4912 \cdot 10^4 t} - e^{-1.6335 \cdot 10^6 t})$$
(9)

pozitif kutuplu 750 kV tepe değerli yıldırım darbe gerilimi uygulanmıştır.

vi. Ayırıcı kapalı iken faz – toprak arasına

$$V(t) = -750 \cdot 10^3 (e^{-1.4912 \cdot 10^4 t} - e^{-1.6335 \cdot 10^6 t})$$
(10)

negatif kutuplu -750 kV tepe değerli yıldırım darbe gerilimi uygulanmıştır.

Tüm bu analizler göz önüne alındığında maksimum elektrik alan değerinin 54 kV/cm olduğu ve gerilim uygulanan uca ait kontak yüzeyinde meydana geldiği gözlenmiştir. Gerilim uygulanmayan uca ait kontak yüzeyinde meydana gelen elektrik alan değeri ise 27 kV/cm olmuştur.

2.6. Karma Gerilimdeki İncelemeler

Ayırıcılar gerçek işletme koşulları altında aynı anda birden fazla gerilime maruz kalabilirler. İşletme gerilimi altındayken yıldırım düşmesi yaşanabilecek durumlardan biridir. Bu tür bir durumun oluşması halinde ayırıcılar karma gerilimler ile zorlanırlar.

2.6.1. Ayırıcı açık pozisyonda iken ayırma aralığına karma gerilimin uygulanması

Ayırıcı açık pozisyondayken uygulanan bu deney ile ayırıcının ayırma aralığının, 50 Hz frekanslı işletme gerilimine ek olarak ayırıcıya yıldırım darbe geriliminin gelmesi durumundaki performansı değerlendirilir.

Ayırma aralığına bir karma gerilim uygulandığında en büyük potansiyel farkı veren

$$u(t) = 98,15 \cdot 10^3 \sqrt{2} \cdot \sin\omega t = 138.8 \cdot 10^3 \cdot 2\pi ft \tag{11}$$

$$V(t) = -860 \cdot 10^3 (e^{-1.49 \cdot 10^4 t} - e^{-1.63 \cdot 10^6 t})$$
(12)

(11) ve (12) denklemleri birlikte kullanılmıştır. Daha önceki adımlarda açıklandığı gibi ayırıcı açıkken ayırma aralığı için ayırıcının bir terminaline 50 Hz frekanslı 138,8 kV tepe değerli işletme gerilimi, diğer terminaline 860 kV tepe değerli 1,2/50 μs yıldırım darbe gerilimi aynı anda uygulanmıştır. İşletme koşullarındaki gibi şase (taban) topraklanmıştır. Böylece, ayırıcının kullanıldığı sahalarda açık pozisyondaki ayırıcının uçlarından birinde işletme gerilimi varken, diğer uca yıldırım düşmesi durumu benzetimi yapılmıştır.

Gerilimler uygulanırken, en olumsuz durumu gözlemleyebilmek adına yıldırım darbe gerilimi, şebeke frekanslı işletme geriliminin maksimum olduğu anda uygulanmıştır. Negatif kutuplu yıldırım darbe gerilimi, şebeke frekanslı işletme geriliminin pozitif yarı dalgasının tepesine denk gelecek şekilde ayarlanmıştır. Böylece, uçlar arasındaki potansiyel farkın maksimum olması dolayısıyla zorlanmanın da maksimuma ulaşması amaçlanmıştır.

Açık durumdaki ayırıcıya gerilimlerin uygulanmasıyla birlikte elde edilen analiz sonuçları, gerilimlerin uygulanmasından 1 μs, 10 μs ve 50 μs sonraki elektriksel potansiyel ve elektrik alan dağılımları elde edilerek incelenmiştir.

Elektriksel potansiyel değişimi incelemelerinden şebeke frekanslı işletme gerilimi uygulanan uçtaki elektriksel potansiyel değerinin 50 µs boyunca değişmediği, öte yandan yıldırım darbe gerilimi uygulanan uçta oluşan elektriksel potansiyel değişimi, uygulanan yıldırım darbe geriliminin dalga şekline uygun bir şekilde değiştiği görülmüştür. Elektriksel potansiyelin maksimum olduğu nokta yıldırım darbe gerilimi uygulanan uç olmuştur. Elektriksel potansiyel değerinin işareti ise gerilimlerin o anki kutbuna bağlı olarak değişmiştir.

Elektrik alan dağılımı incelemelerinden, uygulanan gerilimlerin anlık gerilim seviyesiyle orantılı bir şekilde dağılım gösterdiği görülmüştür. Elektrik alan şiddetinin en yüksek olduğu bölge gerilim uygulanan uçlara ait akım taşıyan kollar olmuştur. Ayrıca en fazla elektriksel zorlanma ayırıcının kontaklarında meydana gelmiştir.

Tüm bu analizlerde maksimum elektrik alan şiddetinin 72 kV/cm olduğu ve yıldırım darbe gerilimi uygulanan uca ait kontak yüzeyinde meydana geldiği gözlenmiştir. Şebeke frekanslı işletme gerilimi uygulanan uca ait kontak yüzeyinde meydana gelen maksimum elektrik alan değeri ise 24 kV/cm olmuştur.

Ayırıcıya açık pozisyondayken karma gerilim uygulanmasıyla elde edilen sonuçlarda, en fazla elektriksel zorlanmanın 3. µs'de olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle, Şekil 4'te karma gerilim uygulandıktan 3 µs sonra ayırıcı yüzeyindeki elektriksel potansiyel dağılımı, Şekil 5'de karma gerilim uygulandıktan 3 µs sonra elektrik alanın ayırıcı kontaklarındaki dağılımı verilmiştir.



Şekil 4: Karma gerilim uygulandıktan 3 µs sonra elektriksel potansiyelin ayırıcı yüzeyindeki dağılımı.



Şekil 5: Karma gerilim uygulandıktan 3 µs sonra elektrik alanın ayırıcı kontaklarındaki dağılımı.

Ayırıcının açık konumuna yönelik karma deney geriliminin uygulamasında ise yıldırım darbe gerilimi uygulanan terminalin temas yüzeyinde görülen maksimum elektrik potansiyel değeri -810 kV olmuştur. Şebeke frekanslı gerilim uygulanan terminalin temas yüzeyinde görülen maksimum elektriksel potansiyel değeri 120 kV'tur. Aynı şekilde elektrik alan değerleri incelendiğinde; yıldırım darbe gerilim deneyi uygulamasında temas yüzeylerinde oluşan elektrik alan değerleri 54 kV/cm ve 27 kV/cm iken, karma gerilim deney uygulamasında temas yüzeylerinde oluşan elektrik alan değerleri 72 kV/cm ve 24 kV/cm olarak gözlenmiştir.

2.6.2. Ayırıcı kapalı pozisyonda iken faz – toprak arasına karma gerilimin uygulanması

Ayırıcı kapalı pozisyondayken uygulanan bu deney ile ayırıcının faz – toprak arası dayanımının, işletme gerilimine ek olarak ayırıcıya yıldırım darbe geriliminin ulaşması durumundaki performansı değerlendirilir.

Daha önceki adımlarda açıklandığı üzere ayırıcıda faz – toprak arasına (13) denklemi ile verilen 50 Hz frekanslı 138,8 kV tepe değerli işletme gerilimi ile (14) denklemi ile verilen –750 kV tepe değerli yıldırım darbe gerilimi birlikte uygulanmıştır.

$$u(t) = 98,15 \cdot 10^3 \sqrt{2} \cdot \sin\omega t = 138,8 \cdot 10^3 \cdot 2\pi ft$$
(13)

$$V(t) = -750 \cdot 10^3 (e^{-1.49 \cdot 10^4 t} - e^{-1.63 \cdot 10^6 t})$$
(14)

Çözümde şase topraklanmıştır. Böylece, ayırıcının kullanıldığı sahalarda kapalı pozisyondaki ayırıcı üzerinde işletme gerilimi varken yıldırım düşmesi durumunun benzetimi yapılmıştır.

Gerilimler uygulanırken, en olumsuz durumu görmek adına yıldırım darbe gerilimi, işletme geriliminin maksimum olduğu anda uygulanmıştır. Pozitif kutuplu yıldırım darbe gerilimi, şebeke frekanslı işletme geriliminin pozitif yarı dalgasına denk gelecek şekilde ayarlanmıştır. Böylece, ayırıcı kolları ile topraklı şase arasındaki potansiyel farkının maksimum olması dolayısıyla zorlanmanın da maksimuma ulaşması amaçlanmıştır.

Kapalı durumdaki ayırıcıya gerilimlerin uygulanmasıyla birlikte elde edilen analiz sonuçları, gerilimlerin uygulanmasından 1 µs, 10 µs ve 50 µs sonraki elektriksel potansiyel ve elektrik alan dağılımları elde edilerek incelenmiştir.

Potansiyel dağılımı incelemelerinden, yıldırım darbe gerilimi uygulanan uçta oluşan elektriksel potansiyel dağılımının, uygulanan yıldırım darbe geriliminin dalga şekline uygun bir değişim gösterdiği görülmüştür. Elektriksel potansiyel dağılımının maksimum olduğu noktanın yıldırım darbe gerilimi uygulanan uç olduğu saptanmıştır. Elektriksel potansiyel değerinin işareti ise gerilimlerin o anki kutbuna bağlı olarak değişmektedir.

Elektrik alan dağılımı incelemelerinden, elektrik alanın, uygulanan gerilimlerin anlık gerilim seviyesiyle orantılı olacak şekilde bir dağılım gösterdiği görülmüştür. Elektrik alan şiddetinin en yüksek olduğu bölgenin gerilim uygulanan uçlara ait akım taşıyan kollar olduğu saptanmıştır. Ayrıca en fazla zorlanmanın ayırıcının kontaklarında meydana geldiği de görülmüştür.

Tüm bu analizler göz önüne alındığında maksimum elektrik alan değerinin 31 kV/cm olduğu ve yıldırım darbe gerilimi uygulanan uç yüzeyinde meydana geldiği gözlenmiştir. Şebeke frekanslı işletme gerilimi uygulanan uç yüzeyinde meydana gelen maksimum elektrik alan değeri ise 18 kV/cm olmuştur. Ayırıcıya kapalı pozisyondayken karma gerilim uygulanmasıyla elde edilen sonuçlarda, en fazla elektriksel zorlanmanın 3. µs'de olduğu gözlenmiştir. Bundan ötürü, Şekil 6'da karma gerilim uygulandıktan 3 µs sonra elektriksel potansiyelin ayırıcı yüzeyindeki dağılımı, Şekil 7'de karma gerilim uygulandıktan 3 µs sonra elektrik alanın ayırıcı yüzeyindeki dağılımı verilmiştir.



Şekil 6: Karma gerilim uygulandıktan 3 µs sonra elektriksel potansiyelin ayırıcı yüzeyindeki dağılımı.



Şekil 7: Karma gerilim uygulandıktan 3 µs sonra elektrik alanın ayırıcı yüzeyindeki dağılımı.

Ayırıcının kapalı konumu için yıldırım darbe gerilim deneyi uygulamasında gerilim uygulanan klemensin yüzeyinde görülen maksimum elektriksel potansiyel değeri 710 kV olmuştur.

Ayırıcının kapalı konumu için yapılan karma gerilim deney uygulamasında ise yıldırım gerilimi uygulanan klemensin yüzeyinde görülen maksimum elektriksel potansiyel değeri 760 kV olmuştur. Aynı şekilde elektrik alan değerleri incelendiğinde; yıldırım darbe gerilim deneyi uygulamasında terminal yüzeylerinde oluşan elektrik alan değerlerinin 27 kV/cm ve 16 kV/cm olduğu, karma gerilim deney uygulamasında ise terminal yüzeylerinde oluşan elektrik alan değerlerinin 31 kV/cm ve 18 kV/cm olduğu gözlenmiştir.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada, eksenel ve dönel simetrisi olmayan bir aygıt olan bir yüksek gerilim ayırıcısının bir kutbu üzerinde, uygulanan gerilimin dalga şeklini de göz önüne alarak dolayısıyla gerilimin zamana bağlılığını da göz önüne alarak üç boyutlu elektrik alan analizleri yapılmıştır. Analizlerde, ayırıcının açık ve kapalı durumlarında, ayırma aralığına ve faz ile toprak arasına uygulanan gerilimlerde ayırıcı üzerinde ortaya çıkan elektriksel zorlanmalar incelenmiştir. Elektriksel zorlanma incelemesi, maksimum elektrik alan şiddetinin ayırıcıyı kuşatan havada kısmi boşalma veya elektriksel atlama bakımından nerede ve ne genlikte ortaya çıktığını belirlemek bakımından önemlidir.

Şebeke frekanslı gerilim, yıldırım darbe gerilimi ve ikisinin karmasından oluşan karma gerilim uygulanarak elde edilen analiz sonuçları, laboratuvar koşullarında elde edilen gerçek deneyin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karma gerilim uygulaması ile elde edilen analiz sonuçları, çalışma boyunca elde edilen diğer analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Ayırıcı üzerinde meydana gelen elektriksel potansiyel ve elektrik alan değerleri incelendiğinde en fazla zorlanmanın yıldırım darbe gerilimi ile şebeke frekanslı işletme geriliminin birleşiminden oluşan karma gerilim altındayken yaşandığı gözlenmiştir.

Çalışma, ayırıcının tek kutbu üzerinde yapılmıştır. Üç kutbu ile tüm ayırıcı üzerinde de yapılabilir. Böylece, yandaki kutupların da (fazlar arası) elektrik alan dağılımına etkisi görülebilir. Ayrıca, elektrik alan incelemeleri dışında, manyetik alan, ısıl, mekanik, çevresel etkileri göz önüne alan incelemeler yapılabilir. İncelemelerde, gerçek çalışma koşullarındaki durumu görmek için hava sıcaklığı, basıncı, nemi, kirlenme, karlanma, buzlanma, rüzgâr gibi etkenler de işin içine katılabilir. Böylece, güvenli ve güvenilir tasarımlar ve yapılar oluşturulabilir.

4. Kaynaklar

- [1] Naidu, M. S. ve Kamaraju, V., High Voltage Engineering, McGraw-Hill, New Delhi, 1994.
- [2] Kalenderli, Ö. ve Önal, E., "Karma Yüksek Gerilim Üretim Devrelerinin Tasarımı", ELECO 2016 Elektrik-Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı, Bursa, s. 363-367, 1-3 Aralık 2016.
- [3] IEC 62271-102: High Voltage Switchgear and Controlgear-Part 102: Alternating Current Disconnectors and Earthing Switches, Switching Devices, 2017.
- [4] IEC 62271-1: High Voltage Switchgear and Controlgear -Part 1: Common Specifications for Alternating Current Switchgear and Controlgear, General Terms and Definitions, 2017.
- [5] Hutton, V. D., Fundamentals of Finite Element Analysis, Mc Graw Hill, Boston, pp. 45-114, 2004.
- [6] Yazıcı, M., Yüksek Gerilim Ayırıcılarının Karma Gerilimlerde Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Elektrik Alan Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Şubat 2022.
- [7] Karaca, G., Kablolarda Elektriksel ve Isıl Zorlanmaların Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Çoklu Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [8] Reference Manual of "COMSOL Multiphysics".
- [9] Kutucu, K., Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Üç Boyutlu Elektrik Alan Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [10] Tian, J. H., Sha, Y. C., Zhou, Y. X., Sun, Y. Z., Sun, K. K., & Wang, Z. E., Simulation of AC and DC Electric Field for 800 kV Grade High Voltage Disconnector. Gaodianya Jishu/High Voltage Engineering, 37(5), pp. 1216-1223, 2011.
- [11] İspirli, M. M., Karma Gerilimlerin Üretimi ve Ölçümü, Elektriksel Boşalma Olayının Araştırılması ve Elektrik Alan Analizi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Nisan 2022.