

Kesintili Toprak Arızalarına Karşı Parafudr Seçimi *Surge Arrester Selection Against Intermittent Earth Faults*

Negar Dashti¹, Oğuzhan Özçelik¹, Celal Gökçe², Ziya Başağaç²,

Umut Yener², Habip Öner², Can Gürkan¹, Gökhan Önal¹

¹Lean Power Solutions, Ar-Ge Departmanı

negar@leanpowersolutions.com, oguzhan@leanpowersolutions.com, can@leanpowersolutions.com,
goekhan@leanpowersolutions.com

² TE İAŞ, İşletme ve Bakım Daire Başkanlığı

celal.gokce@teias.gov.tr, ziya.basagac@teias.gov.tr, umut.yener@teias.gov.tr, habip.oner@teias.gov.tr

Özet

TEİAŞ'a ait 400 kV transformatör merkezlerinde (TM) dağıtım giden fiderlerde yaşanan kesintili toprak arızaları sırasında açığa çıkan aşırı gerilimler sonucunda parafudrlar termal strese dayanamayıp kalıcı hasarlar görmektedir. Bu kapsamda TEİAŞ'a ait bir 400 kV TM PSCAD üzerinde modellenmiş, kesintili toprak arızaları sırasında parafudrlar üzerinde biriken enerji seviyeleri incelenerek bu tür arızalara karşı parafudr seçimi yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlar belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kesintili toprak arızaları, PSCAD, Parafudr boyutlandırma

Abstract

The surge arresters installed in some 400 kV distribution feeders of Turkish Electricity Transmission Corporation (TEIAS) cannot withstand the thermal stress caused by intermittent earth faults. Using PSCAD, a 400 kV substation is modelled in detail and the accumulated energy on surge arresters following intermittent earth faults is examined. In this paper, the design of surge arresters against intermittent earth faults has been studied and the results discussed.

Keywords: Intermittent earth faults, PSCAD, Surge arresters.

1. Giriş

Kesintili toprak arızaları bir kablunun veya iletkenin izolasyonunun genellikle yaşlanma sonucu zarar görmesi ile tekrar eden toprak arızaları şeklinde gerçekleşir. İzolasyonu zarar gören kablo kesitinde ilk atlama gerçekleştikten sonra izolasyon kendini kısa süreliğine toparlayacak veya ark sönmünecek ancak daha sonra gerilimin tekrar yükselmesiyle birlikte izolasyon yeteneğini kaybeden kabloda tekrar atlama

gerçekleşecektir. Eğer koruma sistemi tarafından tespit edilemezse tekrar eden bu atlamalar (arklar) kablo üzerinde yüksek bir enerji oluşmasına yani kablunun büyük bir termal stres altına girmesine yol açacağından kablunun kalıcı hasar görmesi ile sonuçlanacaktır. Kablunun zarar görmesiyle birlikte sağlıklı faz gerilimleri de yükseleceğinden transformatör merkezindeki parafudrların da kalıcı hasar görmesine yol açabilmektedir.

Buna göre kesintili toprak arızalarına karşı alınabilecek çeşitli önlemler bulunmaktadır. Yaşlanmış veya ekonomik ömrünü doldurmuş yeraltı kabloların değişimi yapılarak izolasyonu zarar görme ihtimali bulunan ekipman sayısı en aza indirilmelidir. Eğer yeterli görülüyorsa röle koordinasyonu çalışmaları artırılarak koruma ekipmanının bu tür arızalarda ekipman zarar görmeden önce sistemi korumaya alması sağlanabilir. Ayrıca transformatörlerin veya kabloların korunmasında kullanılan parafudrların seçiminde bölge özelinde analizler gerçekleştirilerek optimum seçimin yapılması gerekmektedir.

2. Sorun Tanımlama

Bu çalışmada Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) 400 kV transformatör merkezlerinde (TM) genellikle dağıtım şebekesi fiderlerinde bulunan kablolarda yaşanan ve kablo veya parafudrların kalıcı hasarlar görmesiyle sonuçlanabilen kesintili toprak arızalarına karşı analiz ve parafudr seçimi için gerçekleştirilmiştir. TEİAŞ tarafından sağlanan verilere göre bu tür arızaların yaşandığı transformatör merkezlerinde 33 kV şebekede 90 kV'yi aşan aşırı gerilimler görülmektedir. Ayrıca kabloların ve parafudrların zarar gördüğü bilgisi de yine TEİAŞ tarafından belirtilmiştir. Kesintili toprak arızası sonrası ortaya çıkan termal strese dayanamayıp kalıcı hasar gören TEİAŞ'a ait bir parafudrun görüntüsü Şekil 1 ve 2'de verilmiştir. Arıza C fazında oluşmasına karşın A ve B fazlarında oluşan aşırı gerilimlerden dolayı A fazı parafudrunun izolasyon olarak zayıfladığı, B fazı

parafudrunun ise tamamen inflak ettiği yapılan incelemelerde görülmüştür. Bu kapsamda TEİAŞ'a ait 400 kV bir transformatör merkezi, PSCAD simülasyon programı üzerinde modellenmiş ve analizler gerçekleştirilmiştir. Bölgenin modelleme çalışmasında daha önceki topraklama trafosu çalışması baz alınmıştır [1].



Şekil 1. Kesintili toprak arızası sonrası zarar gören bir parafudr: B faz Parafudru



Şekil 2. Kesintili toprak arızası sonrası zarar gören bir parafudr: A faz Parafudru

3. Modellenen Bölgenin Özellikleri

PSCAD üzerinde modellenmesi gerçekleştirilen TEİAŞ'a ait transformatör merkezinin tek hat şeması Şekil 3'de verilmiştir. Transformatör merkezi 2 banktan (Bank A ve Bank B) oluşmaktadır. Üst kısımda bulunan kahverengi çizgiler yüksek gerilim baralarını temsil etmektedir. Bu merkezde 3 adet 400 kV TM bağlantısı (Yıldıztepe, İkitelli ve Yenibosna) bulunmaktadır. Ayrıca bu baraya bağlı bir de şönt reaktör bulunmaktadır. Bank A'ya bağlı bir adet 125 MVA'lık 400/33 kV transformatör ve 154 barasına bağlanan bir adet 250 MVA'lık ototransformatör bulunmaktadır. Bank B de yine aynı özellikleri taşımaktadır. Transformatörlerin sekonder tarafları zig-zag topraklama transformatörleri ile topraklanmıştır. 154 kV ve 33 kV baraları ise 100 MVA'lık transformatörlerle birbirine bağlanmaktadır. Sistemdeki baralar dağıtım şebekesini 25 adet fider üzerinden kablolarla beslemektedir. Her fiderde, orta gerilim barası bağlantısına yakın, kablo üzerine bir parafudr yerleşmiştir. Söz konusu parafudr ise kırmızı ile işaretlenmiştir.

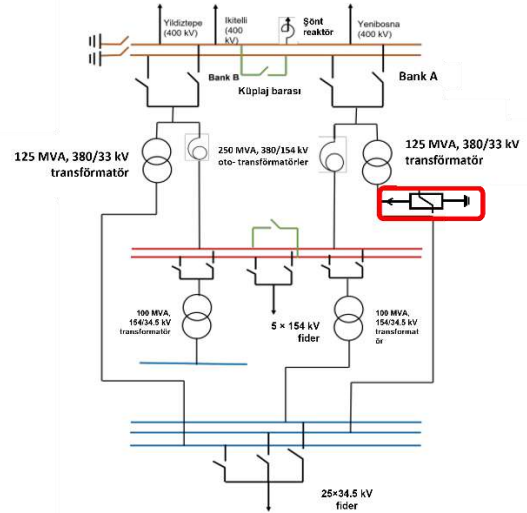
Bu çalışmada geçici aşırı gerilimler incelenmesi yapıldığından, hat ve kabloların frekansa bağlı davranışının göz önünde bulundurulması gerekir.

Güç transformatörlerinin bilgileri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Güç transformatörünün karakteristiği

Parametre	Değer ^a
Frekans	50 Hz
Nominal Güç (MVA)	ONAN için 90, ONAF için 125
Vektör Grubu	YNd11
Primer Taraf Nominal Gerilimleri (Kademeye bağlı olarak)	323, 380 ve 437 kV
Sekonder Taraf Nominal Gerilimi (Kademeye bağlı olarak)	336 kV
Kademe Sayısı	25

^aBilgiler TEİAŞ tarafından sağlanmıştır.



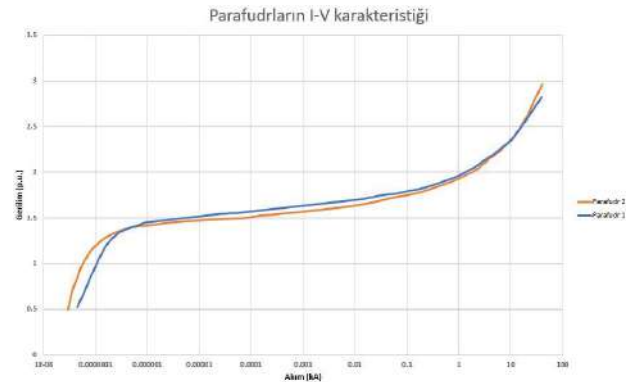
Şekil 4. Modellenen TM'ye ait tek hat şeması [1]

TEİAŞ'ın talebi üzerine aynı markaya ait 2 farklı modelde parafudrun karşılaştırılması ve bu parafudrlardan hangisinin kesintili toprak arızalarına karşı daha uygun olacağının belirlenmesi talep edilmiştir. Bu parafudrlara ait katalog bilgileri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Parafudrların katalog bilgileri

Parametre	Parafudr 1	Parafudr 2
Anma Gerilimi [kV _{rms}]	36	36
Sürekli İşletme Gerilimi [kV _{rms}]	29	29
Termal Enerji Kapasitesi [kJ/kV]	8	10
Termal Enerji Kapasitesi [kJ]	8*36 = 288	10*36 = 360

Bu parafudrlara ait akım-gerilim karakteristikleri Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 5. Parafudrların I-V karakteristiği

4. Parafudr Boyutlandırma

Parafudr seçimi için birçok istatistiksel parametre bulunmaktadır. Ancak birincil istatistiksel parametre, çoklu darbe dahil olmak üzere darbenin enerjisidir. Bu enerjiyi etkileyen olaylardan en önemlisi ise Geçici Aşırı Gerilimlerdir (TOV). Bu tür aşırı gerilimler genellikle toprak arızalarından kaynaklanmaktadır.

4.1. Parafudr Seviyeleri

Metal-Oksit Varistör (MOV) tipi parafudrlar iki adet sınıflandırmaya yarayan gerilim değerine sahiptir: maksimum sürekli çalışma gerilimi (MCOV) ve anma gerilimi.

4.1.1. Maksimum Sürekli Çalışma Gerilimi: U_c

MCOV veya U_c değeri genellikle kV verilir. Bu gerilim, parafudrun IEEE C62.11 standardına göre test edilirken belirlenir ve parafudrun en önemli gerilim değeridir. Bu değer, sistemin maksimum sürekli işletim faz toprak geriliminden yüksek olması gerekir. Bazı durumlarda, geçici aşırı gerilim durumuna bağlı olarak, parafudrdaki MCOV değerinin artırılması gerekebilir, fakat bu değer asla sistemin kararlı haldeki faz toprak geriliminin altında olmamalıdır.

4.1.2. Anma Gerilimi : U_r

2. değer olan anma gerilimi U_r , boşluklu silikon-karbür parafudrlar zamanından kalma bir değerdir ve zamanla aşına olduğumuz bir sayı haline gelmiştir. Bu nedenle, MOV parafudrların piyasada yaygınlaşmaya başladığı zamanlarda da üreticiler tarafından ürün kataloglarında yer almaya devam etmiştir. Parafudrun anma gerilimi, modern MOV parafudrun gerçek çalışma gerilimi ile bağlantılı olmasa da, bir parafudru sınıflandırmak için kullanılan ortak bir tanım olarak kullanılmaya devam etmektedir.

4.2. Parafudr Anma Gerilimi Seçimi

Parafudr sürekli işletme gerilimi U_c , sistemin maksimum güç frekansı maksimum işletme faz toprak geriliminden en az %5 daha yüksek olmalıdır:

$$U_c > 1.05 \times \frac{U_s}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

Parafudr anma gerilimi U_r , parafudrun konumlandırılacağı yerdeki beklenen geçici aşırı gerilimlerin (TOV) sebep olduğu maksimum stres ve süreleri de hesaba katılarak belirlenmelidir.

$$U_r > U_{(L-E)\max} = K_{\max} \times \frac{U_s}{\sqrt{3}} \times \frac{U_r}{U_t} \quad (2)$$

Burada kullanılan simgeler aşağıdaki gibidir:

$U_{(L-E)\max}$: Maksimum geçici faz toprak gerilimi

K_{\max} : Maksimum aşırı gerilim faktörü

t: Geçici aşırı gerilim süresi

U_t/U_r : Bir parafudrun U_r baz değerinde (U_t/U_r değeri) ne kadarlık bir gerilime kaç saniye dayanım gösterebileceği üreticiler tarafından paylaşılır.

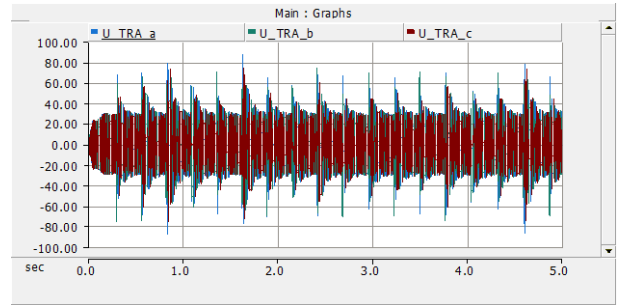
5. Oluşturulan Senaryolar ve Test Sonuçları

Kesintili toprak arızalarını etkileyen bara kısa devre gücü, kablo uzunluğu, arızanın meydana geldiği nokta, arızanın meydana geldiği an gibi çeşitli faktörler PSCAD üzerinde test edilip karşılaştırılmıştır. Ayrıca farklı parafudr tipleri üzerindeki elektriksel stresler de karşılaştırılmıştır. Test senaryoları Tablo 3'de verilmiştir.

Senaryo 1'de dağıtım giden 17. Fider OG kablosunun 500. metresinde oluşturulan kesintili toprak arızası sonucunda sağlıklı fazlarda oluşan gerilim artışı Şekil 6'de verilmiştir.

Tablo 3. Test senaryoları

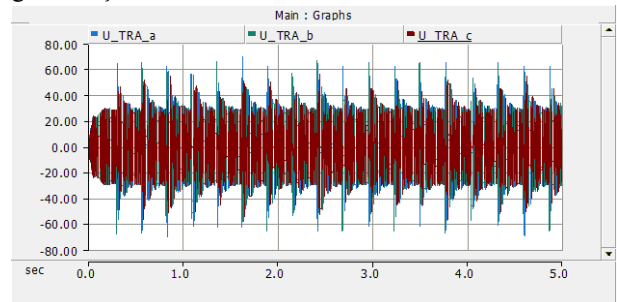
Senaryo Numarası	Senaryo Başlığı	Parafudr	Açıklama
1	H17 Fideri 500. Metre arıza	YOK	Karşılaştırma için ana model olarak H17 Fiderinde 500. Metrede C-toprak kesintili toprak arızası oluşturulmuştur. 2 Parafudru karşılaştırmak için parafudr sistemde devre dışı bırakılmıştır.
2	H17 Fideri 500. Metre arıza	1	Senaryo 1'de bahsedildiği arıza koşullarında 1 parafudru sisteme eklenmiştir..
3	H17 Fideri 500. Metre arıza	2	2 parafudru karşılaştırmak için Senaryo 1'de bahsedilen arıza koşullarında 2 parafudru sisteme eklenmiştir.
4	Kısa Devre Gücünün Arttırılması	YOK	Farklı arıza durumlarını değerlendirmek adına modeldeki 400 kV şebekenin kısa devre gücü artırılmıştır. Parafudr devre dışıdır.
5	Kısa Devre Gücünün Arttırılması	1	Senaryo 4'te bahsedilen arıza koşullarında 2 parafudru karşılaştırmak adına 1 parafudru sisteme eklenmiştir.
6	Kısa Devre Gücünün Arttırılması	2	Senaryo 4'te bahsedilen arıza koşullarında 2 parafudru karşılaştırmak adına 2 parafudru sisteme eklenmiştir.
7	Kapasitif Yükleme Durumu	YOK	Farklı arıza durumlarını değerlendirmek adına Senaryo 1'de arızanın meydana geldiği kablodaki kapasitif yüklenme seviyesi artırılmıştır. Parafudr devre dışıdır.
8	Kapasitif Yükleme Durumu	1	Senaryo 7'de bahsedilen arıza koşullarında 2 parafudru karşılaştırmak adına 1 parafudru sisteme eklenmiştir.
9	Kapasitif Yükleme Durumu	2	Senaryo 7'de bahsedilen arıza koşullarında 2 parafudru karşılaştırmak adına 2 parafudru sisteme eklenmiştir.



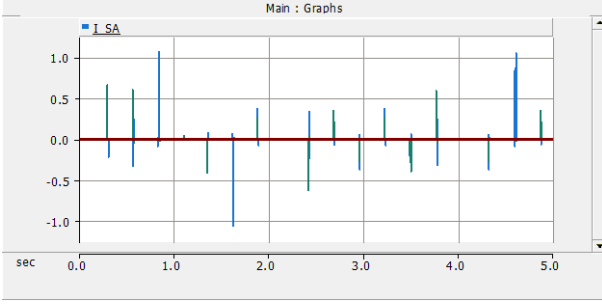
Şekil 6. Trafo çıkışında A ve B sağlıklı fazlarında gerilim artışı (A faz pik -87 kV, B faz pik 75 kV)

Parafudr bu senaryoda devre dışı olduğundan enerji ve deşarj akım ölçümleri bulunmamaktadır.

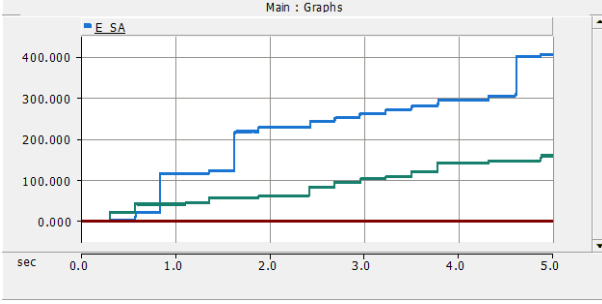
Senaryo 1'deki arıza koşullarında 1'inci parafudr devreye alınmıştır. Trafo çıkışında sağlıklı fazlardaki gerilim artışı Şekil 7'de verilmiştir. Parantez içinde verilen değerler parafudrsuz durumda her faz için pik değerler görüldüğü an için verilmiştir. Bu senaryoda en yüksek pik değerleri A faz için -69.4 kV ve B faz için 67.5 kV'dir. Yani Senaryo 1'de en yüksek pik değerinin görüldüğü an için bu senaryoda da en yüksek pik değeri görülmüştür.



Şekil 7. Trafo çıkışında A ve B sağlıklı fazlarında gerilim artışı (A faz pik -69.4 kV, B faz pik 67.5 kV)

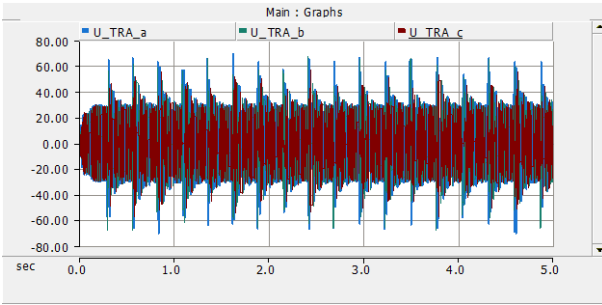


Şekil 8. 1'inci parafudr üzerinde sağlıklı fazlarda oluşan deşarj akımları (A faz mavi, B faz yeşil)

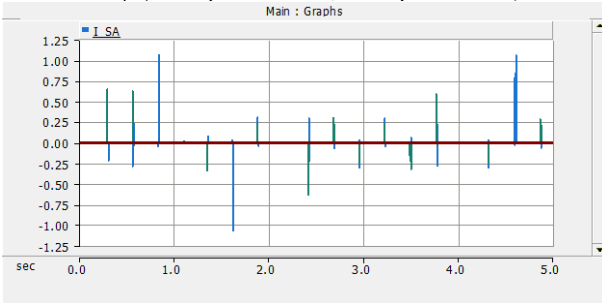


Şekil 9. 1'inci parafudr üzerinde sağlıklı fazlarda oluşan enerji (A faz mavi, B faz yeşil)

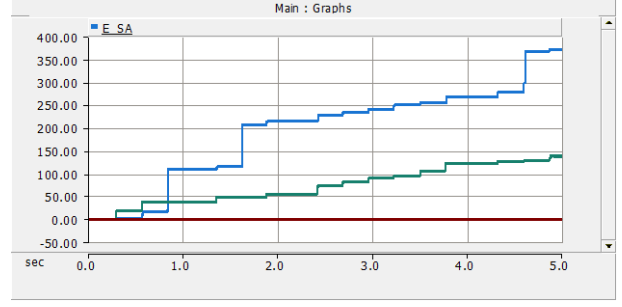
Senaryo 2'de enerji ve deşarj akımı değerleri verilen 1'inci parafudr ile 2'inci parafudru karşılaştırmak adına senaryo 2'deki aynı arıza koşullarında 2'inci parafudr devreye alınmıştır. Trafo çıkışında sağlıklı fazlardaki gerilim artışı **Şekil 10**'da verilmiştir. Parantez içinde verilen değerler parafudrsuz durumda her faz için pik değerini göstermektedir. A fazı için en yüksek pik değeri -69.7 kV, 67.9 kV'dir. Yani Senaryo 1'de en yüksek pik değerini gösterdiği an için bu senaryoda da en yüksek pik değeri görülmüştür.



Şekil 10. Trafo çıkışında A ve B sağlıklı fazlarında gerilim artışı (A faz pik -69.7 kV, B faz pik 67.9 kV)

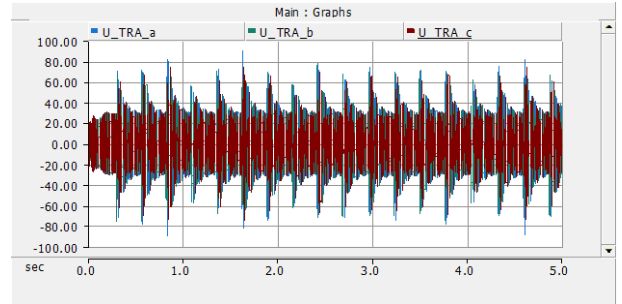


Şekil 11. 2'inci parafudr üzerinde sağlıklı fazlarda oluşan deşarj akımları (A faz mavi, B faz yeşil)



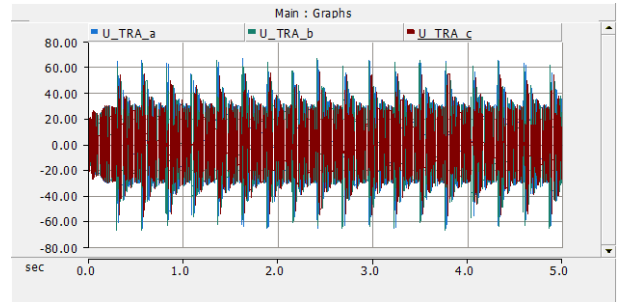
Şekil 12. 2'inci parafudru üzerinde sağlıklı fazlarda oluşan enerji (A faz mavi, B faz yeşil)

Senaryo 4'te ise farklı arıza koşullarında parafudrları karşılaştırmak adına 400 kV şebekenin kısa devre gücü artırılmıştır. Parafudrun devre dışı olduğu bu senaryoda trafo çıkışında sağlıklı fazlardaki gerilim artışı **Şekil 13**'de verilmiştir. Bu senaryoda sistemde parafudr bulunmadığı için deşarj akımları ve enerji grafikleri bulunmamaktadır.



Şekil 13. Trafo çıkışında A ve B sağlıklı fazlarında gerilim artışı (A faz pik 89.4 kV, B faz pik 75.4 kV)

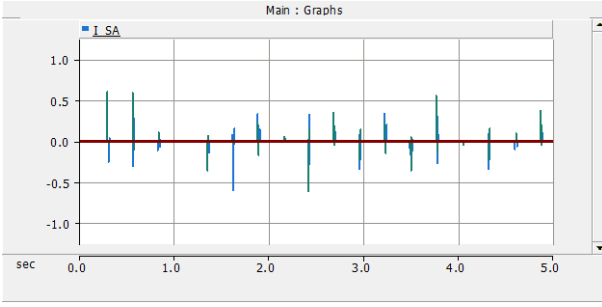
Senaryo 5'de, 4'teki arıza koşullarında 1'inci parafudru devreye alınmıştır. Trafo çıkışında sağlıklı fazlardaki gerilim artışı **Şekil 14**'te verilmiştir. En yüksek pik değerleri yine bu anda görülmüştür.



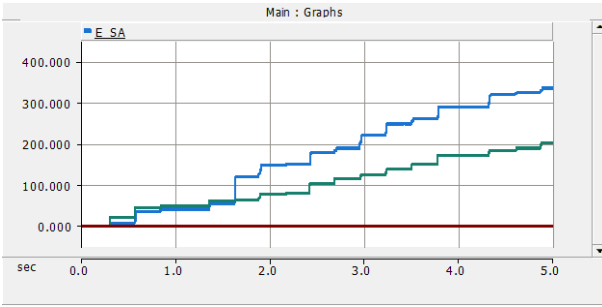
Şekil 14. Trafo çıkışında A ve B sağlıklı fazlarında gerilim artışı (A faz pik 69.3 kV, B faz pik 69.3 kV)

Parafudr üzerinde oluşan deşarj akımları ve enerjiler ise **Şekil 12**'de ve **Şekil 16**'de verilmiştir.

Senaryo 6'da ise 4'teki arıza koşullarında 2 parafudru karşılaştırmak adına 2'inci parafudru devreye alınmıştır. A fazı için en yüksek pik değeri -67.65 kV ve B fazı için -69 kV'dir.



Şekil 15. 1'inci parafudr üzerinde sağlıklı fazlarda oluşan deşarj akımları (A faz mavi, B faz yeşil)



Şekil 16 – 1'inci parafudru üzerinde sağlıklı fazlarda oluşan enerji (A faz mavi, B faz yeşil)

Diğer senaryoların özet sonucu aşağıdaki tabloda verilmiştir:

Tablo 4. Senaryo 6, 7, 8, 9 sonuçları

Senaryo no.	Trafo çıkışında en yüksek gerilim	Deşarj akımları	Parafudr üzerinde sağlıklı fazlarda oluşan enerji
6	68 kV	0.95 kA- A fazı	530 kJ- A fazı
7	82 kV	Geçerli değildir	Geçerli değildir
8	68 kV	0.9 kA- B fazı	400 kJ- B fazı
9	70 kV	1 kA- B fazı	375 kJ- B fazı

6. Sonuçlar

Bu 2 parafudr karşılaştırılırken I-V grafları kullanılmalıdır. Şekil 4'de iki parafudr için birlikte verilen I-V grafları incelendiğinde anlaşılacağı gibi iki parafudr iki farklı bölge için ayrı ayrı karşılaştırılmalıdır. Şekil 4'de anlaşılacağı üzere yaklaşık 2.3 pu değerinden büyük gerilimlerde (Sağlıklı fazlardaki gerilim artışından bahsedilmektedir.) 1'inci parafudr aynı artık gerilim değeri için üzerinde daha düşük deşarj akımı oluştuğundan üzerinde daha düşük enerji oluşmaktadır. Aynı şekilde aynı artık gerilim değeri için 2'inci parafudr üzerinden daha yüksek deşarj akımı oluştuğundan üzerinde daha büyük bir enerji oluşmaktadır. Ayrıca bu bölgede aşırı gerilimlerin 2'inci parafudrun 1'inci parafudra göre daha düşük bir seviyeye sınırlaması beklenmektedir. Ancak Şekil 4'de anlaşılacağı gibi yaklaşık 1.4 pu ile 2.3 pu değerleri arasındaki gerilimlerde 2'inci parafudr üzerinde aynı artık gerilim değeri için daha düşük deşarj akımı oluştuğundan üzerinde daha düşük enerji oluşmaktadır. Aynı şekilde aynı artık gerilim değeri için bu aralıkta 1'inci parafudr üzerinde daha yüksek deşarj akımı oluştuğundan üzerinde daha yüksek enerji oluşmaktadır. Ayrıca bu bölgede 1'inci parafudrunun aşırı gerilimleri

2'inci parafudra göre daha düşük bir seviyeye sınırlaması beklenmektedir.

Parafudrun devre dışı olduğu durumda trafo çıkışındaki gerilimlerin verildiği Şekil 6 incelendiğinde anlaşılacağı üzere sağlıklı fazlardaki gerilim artışı sadece birkaç kez 83 kV değerini (yaklaşık 2.3 pu) aşmıştır. Bu nedenle yukarı paragrafta bahsedildiği gibi bu koşullarda 2'inci parafudru üzerinde daha düşük bir enerji oluşması ve 1'inci parafudr üzerinde daha yüksek deşarj akımlarının oluşması beklenmektedir. Şekil 9 ve Şekil 12 karşılaştırıldığında görülebileceği üzere 1'inci parafudru üzerinde genel olarak (83 kV yani 2.3 pu'den daha yüksek olduğu noktalarda) daha yüksek deşarj akımları ve daha yüksek enerjiler oluşmuştur. Şekil 7 ve Şekil 10 karşılaştırıldığında anlaşılacağı üzere 1'inci parafudr aşırı gerilimleri 2'inci parafudruna göre daha düşük bir seviyeye (1.4 pu ile 2.3 pu arasında olduğu durumlarda) sınırlanmıştır.

Yani bu 2 parafudr sağlıklı fazlardaki gerilim artışının değerine bağlı olarak farklı gerilim seviyeleri için farklı davranışlar gösterdiğinden arıza koşuluna bağlı olarak değerlendirilmelidir. Örneğin bir TM'de kesintili toprak arızaları sonucunda aşırı gerilimlerin genel olarak yaklaşık 83 kV'yi (2.3 pu) aşması bekleniyorsa 1'inci parafudru, ancak yaklaşık 50 kV ile 83 kV (1.4 pu ile 2.3 pu) arasında kalması bekleniyorsa 2'inci parafudr deşarj akımları ve enerjiler bakımından daha iyi cevaplar vermektedir. Ancak yine de PSCAD analizleriyle desteklenerek optimal seçim gerçekleştirilmelidir.

Gerçekleştirilen analizler sonucunda 2'inci tip parafudrun termal enerji kapasitesi daha yüksek (360 kJ ve 288 kJ) olmasına rağmen aynı arıza uygulandığında 1'inci tipli parafudr üzerinde 2'inci tipli parafudra göre 1'inci parafudr daha düşük bir enerjinin oluştuğu görülmüştür. 1'Örneğin oluşturulan bir senaryoda birinci tipli parafudr üzerinde yaklaşık 200 kJ'lik bir enerji oluşurken 2'inci tipli parafudr üzerinde 400 kJ'lik bir enerji oluştuğu görülmüştür. Bu durum birinci tipli parafudr üzerinden 0.6 kA'lık deşarj akımları akarken 2'inci tipli parafudr üzerinden 1 kA'lık deşarj akımlarının akmasıyla açıklanabilir

Ancak bu durum arıza sonucunda oluşan aşırı gerilimler genel olarak 2.3 pu değerinin üzerindeyse geçerlidir. Yani 1.4 – 2.3 pu aralığında aşırı gerilimler oluşuyorsa durum tam tersine dönecek ve 2'inci parafudr daha düşük seviyede termal strese maruz kalacaktır. Aynı akım seviyesi için daha düşük gerilime sahip parafudrlar ise aşırı gerilimleri daha çok sınırlamaktadır.

Kesintili toprak arızalarına karşı parafudr seçimi yapılırken parafudrların IV grafları karşılaştırılmalı, bölge özellikleri göz önünde bulundurularak, arıza sonucunda oluşması beklenen en yüksek aşırı gerilimlere göre aynı gerilim seviyesinde daha düşük deşarj akımı geçiren parafudrlar tercih edilmeli ve parafudr seçimi gerçekleştirilmek istenen her TM özelinde PSCAD analizleri ile desteklenmelidir.

7. Kaynaklar

- [1] Dashti, N, et al. “Modelling and Analysis of Delta-connected Power Transformers Grounded Using Zig-Zag Transformer ” , 2022 4th Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM), pp. 406-413,
- [2] IEC 60071-1, Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules
- [3] IEC 60071-2, Insulation co-ordination – Part 2: Application guide
- [4] IEC 60071-4, Insulation co-ordination – Part 4: Computational guide to insulation co-ordination and modelling of electrical networks
- [5] IEC 60099-5:2018, Surge arresters – Part 5: Selection and application recommendations
- [6] Harri Kuisti, Janne Altonen, Håkan Svensson, Mats Isaksson, “Intermittent Earth Faults Challenge Conventional Protection Schemes”.
- [7] Anna Guldbrand, “System Earthing”, Lund University.

8. Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ), işletme ve bakım dairesi başkanlığı, PSCAD çalışmaları doğrultusunda hazırlanmıştır. İşletme daire başkanlığı, Ömer Baydilli ve Levent Çelik 'e teşekkür ederiz.