

ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE GERİLİM DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Özgür KARACASU¹

Yiğit BORHAN²

M. Hakan HOCAOĞLU³

^{1,3}Elektronik Mühendisliği
²Enerji Sistemleri Mühendisliği
Mühendislik Fakültesi

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, 41400, Gebze, Kocaeli

¹e-posta: karacasu@gyte.edu.tr ²e-posta: yborhan@gyte.edu.tr

³e-posta: hocaoglu@gyte.edu.tr

Anahtar sözcükler: Güç kalitesi, Gerilim Değişimleri, Topraklama

ABSTRACT

This paper concerns about the effects of three phase and single phase faults causing voltage sags on a real transmission network depending on the distance of the fault to the point of common coupling and magnitude of the grounding impedance. The calculations has been made by a frequency domain model of the system that has been created on MATLAB and compared with the results of the electrical model of the same system created on ATP (Alternative Transient Program) version of EMTP (Electromagnetic Transient Program) program which solves the state equations on the time domain. The confirmative results of two models shows that three phase and single phase faults causes power quality problems such as sags and swells related to different parameters.

1.GİRİŞ

Gerilim düşmeleri (Voltage sags); kısa devreler, aşırı yükler veya büyük güçlü motor ve transformatörlerin devreye girmesi gibi nedenlerle oluşan, gerilimin rms değerinde meydana gelen kısa süreli gerilim azalmalarıdır [1]. Gerilim düşmelerine olan ilginin temel sebebi, hız ayarlı sürücüler gibi hassas cihazlarda meydana getirdiği arızalardır. Bu tip cihazlar gerilimin rms değerinin bir veya iki periyottan daha uzun bir süre boyunca % 90' ın altına düşmesi durumunda hatalı çalışmaya başlayabilir. Bu ise tesisdeki üretimin durmasına varabilecek kadar önemli bir sorundur. Bilinmektedir ki gerilim düşmelerinin endüstriye verdiği zarar, kesilmeler kadar değildir. Ancak, gerilim düşmelerinin meydana gelme sayısı kesilmelere göre daha çok olduğundan, toplam zararları daha fazladır [1]. Kısa kesilmeler ve uzun kesilmelerin birçoğu yerel dağıtım ağlarında oluşur. Ne var ki, gerilim düşmelerinin nedeni, çok uzaktaki dağıtım şebekesinde meydana gelen bir kısa devreden de kaynaklanabilir. Bu nedenle gerilim düşmesi, kesilmelere göre daha geniş çaplı bir problemdir. Kesilmelerin sayısı, besleme hattında yapılacak iyileştirmelerle azaltılırken, gerilim

düşmelerinin sayısı ancak farklı besleme hatlarındaki ve hatta enerji iletim hatlarındaki iyileştirilmelerle düşürülebilir [1].

Yapılan çalışmalar incelendiğinde gerilim düşmelerinin nedenlerinin sınıflandırması [2], farklı kısa devre türlerinde nasıl değiştikleri [1, 3, 4, 5], radyal olmayan şebekelerdeki davranışları [6], transformatörler üzerinden alt ve üst gerilim kademelerine ne şekilde iletildikleri [7], iletim hattı mesafesi ile ilişkilerinin [8] incelendiği görülmektedir. Kısa devre tipine göre yapılan çalışmalarda [9] aynı gerilim seviyesinde ve gerilim seviyesinin değişmesi sırasında gerilim genliğinin topraklama empedansı değerinden nasıl etkilendiği yeteri kadar incelenmemiştir. Bu çalışmada şebeke içerisinde kullanılan transformatörlerin yıldız noktası topraklamasının gerilim kademelerinde ne gibi etki yaratacağı üzerinde durulmaktadır.

2.GÜÇ SİSTEMLERİNDE NÖTR TOPRAKLAMASI TÜRLERİ

Güç sistemlerinde nötr noktasının toprakla olan bağlantısı topraktan yalıtılarak, doğrudan doğruya topraklanarak, empedans üzerinden topraklanarak veya sıfır sıra devresini rezonansa getirecek şekilde topraklanarak yapılabilir.

2.1.Yıldız noktası yalıtılmış şebekeler

Transformatörlerin ve generatörlerin yıldız noktaları ile yıldız noktası oluşturan öteki tesis bölümleri, işletmenin topraklama tesisine bağlanmamış olan şebekelerdir [10]. Ancak sistem, hat kapasitesi üzerinden tabii olarak topraklanmıştır. Hattın mükemmel olarak transpoze edildiği kabul edilirse dengeli durumda, iletim hattının toprakla olan kapasitesi her faz için aynıdır. Bu durumda kapasiteler üzerinden akacak olan şarj akımları da birbirine eşittir. Dengeli durumda nötr potansiyeli toprak potansiyelindedir.

Meydana gelebilecek bir toprak arızası sırasında kısa devre akımı devresini hat kapasiteleri üzerinden

tamamlayacaktır. Tek faz toprak kısa devresi sonucunda kısa devre olan fazın potansiyeli toprak potansiyeline eşit olur. Toprak arızaları nötr kaymasına ve aşırı gerilimlere sebep olmaktadır.

2.2.Yıldız noktası doğrudan doğruya topraklanmış şebekeler

Bir yada birden fazla transformatörün veya yıldız noktasını oluşturan öteki tesis bölümlerinin yada generatörlerin yıldız noktası, doğrudan doğruya topraklanmış olan ve şebekedeki koruma düzeni, herhangi bir noktadaki toprak hatasında otomatik açmayı sağlayacak biçimde yapılmış olan şebekelerdir [10]. Bu şebekelerde arıza akımı çok yüksek değerlere ulaştığı için toprak kapasitesi ve şarj akımları ihmal edilebilecek seviyededir. Yıldız noktası yalıtılmış şebekenin en önemli iki sakıncası olan ark ve aşırı gerilimlerin önüne büyük oranda geçilmiş olunur.

2.3.Yıldız noktası empedans üzerinden topraklanmış şebekeler

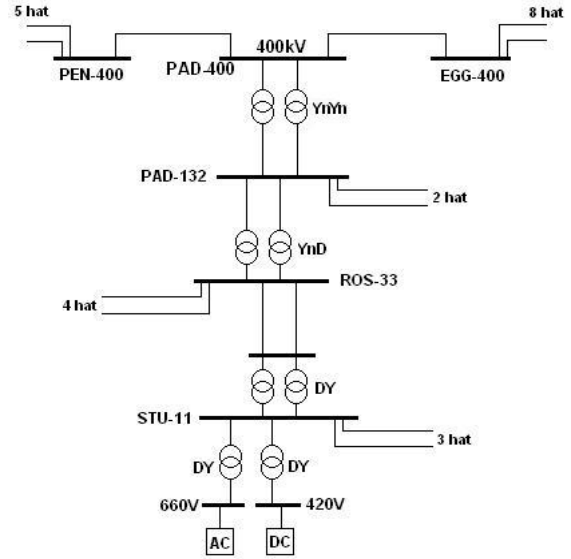
Bir yada birden fazla transformatörün veya yıldız noktasını oluşturan öteki tesis bölümlerinin yada generatörlerin yıldız noktası, akım sınırlayan ohmik direnç yada bobin üzerinden topraklanmış olan ve şebekedeki koruma düzeni, herhangi bir noktadaki toprak hatasında otomatik açmayı sağlayacak biçimde yapılmış olan şebekelerdir [10]. Bu empedansın amacı yıldız noktası doğrudan doğruya topraklı şebekede karşılaşılan, yüksek genlikli arıza akımını sınırlamaktır.

2.4.Toprak teması kompanze edilmiş şebekeler

Bobin üzerinden yapılan topraklamada reaktans değeri sistemin toprakla olan kapasitesine eşit olursa tek faz toprak kısa devresi için sıfır sıra devresi rezonansa girer ve sıfır sıra empedansı çok yükselir. Özel değerdeki bu reaktör Peterson bobini olarak anılmaktadır [10].Tek faz toprak kısa devresinin neden olduğu gerilim düşmelerini azaltır ve ark oluşumunu engeller.

3.NÖTR NOKTASI BAĞLANTI ŞEKLİNİN GERİLİM DÜŞMESİNE ETKİLERİ

Bu bölümde yıldız noktası empedans üzerinden topraklanmış transformatörün topraklama empedansı değerinin Faz Toprak Kısa Devresi (FTKD) nedeniyle meydana gelen gerilim değişimleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla tek hat şeması Şekil 1’de verilen, gerilim düşmesine hassas hız kontrol cihazları kullanılan bir kağıt fabrikası seçilmiştir [7].



Şekil 1: Test sistemi

Transformatör bağlantı şekilleri ve topraklama tipleri Tablo 1’de verilmiştir. FTKD’si 11 kV ve 33 kV seviyelerinde yapılmış ve diğer gerilim seviyeleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kısa devre sırasında transformatör topraklama empedansı değerinin ve kısa devrenin baraya olan uzaklığının etkisi incelenmiştir. Topraklama direnci değeri sonuçların görsel olarak anlaşılır olabilmesi amacıyla logaritmik olarak artırılmış olup 0.1 ile 1000 Ω arasında değişen 37 değer kullanılmıştır. Kısa devre yerinin baraya uzaklığının etkisini incelemek için ise 1-20 km arasında 20 değer kullanılmıştır. Baralar direk kısa devre yapılmamıştır.

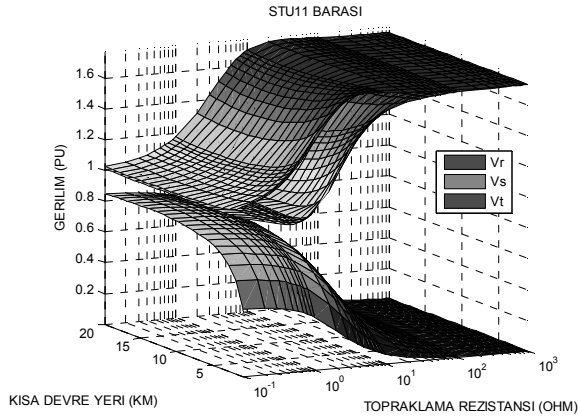
Tablo 1: Test şebekesi transformatör bağlantı şekilleri ve topraklama tipleri

Gerilim Kademesi	Bağlantı Şekilleri	Açık Gerilim Tarafı Nötr Topraklaması
400 kV	----	Direkt topraklı
400/132 kV	YY oto transformatör	Direkt topraklı
132/33 kV	Yıldız-Üçgen	Zig-zag trafo üzerinden direnç topraklı
33/11 kV	Üçgen-Yıldız	Direnç topraklı
11/660 kV	Üçgen Yıldız	Direkt topraklı
11/420 kV		

Analizler için EMTF (ElectroMagnetic Transient Program)’ nin ATP (Alternative Transient Program) [11] versiyonu ve Matlab [12] kullanılmıştır. Matlab ve ATP kodları bu değerlere göre düzenlemiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Analizler sırasında kısa devre direnci, toprak direnci ve ark hesaba katılmamıştır. Tüm ATP simülasyonları $t=0$ ms’de başlatılmış ve $t=80$ ms’de bitirilmiştir. Kısa devre senaryosu, hat sonunda $t=20$ ms’de A fazında meydana gelecek sürekli tek faz toprak kısa devresi şeklindedir.

3.1.STU-11 Barası

33/11 kV seviyeleri arasındaki 2 adet transformatörün nötr noktaları değeri değiştirilebilen direnç üzerinden topraklanmıştır. 11 kV gerilim kademesindeki STU11 barasından farklı uzaklıklarda ve farklı topraklama empedansları koşullarında meydana gelen FTKD'nin faz toprak gerilimleri üzerindeki etkileri Şekil 2' de verilmiştir.

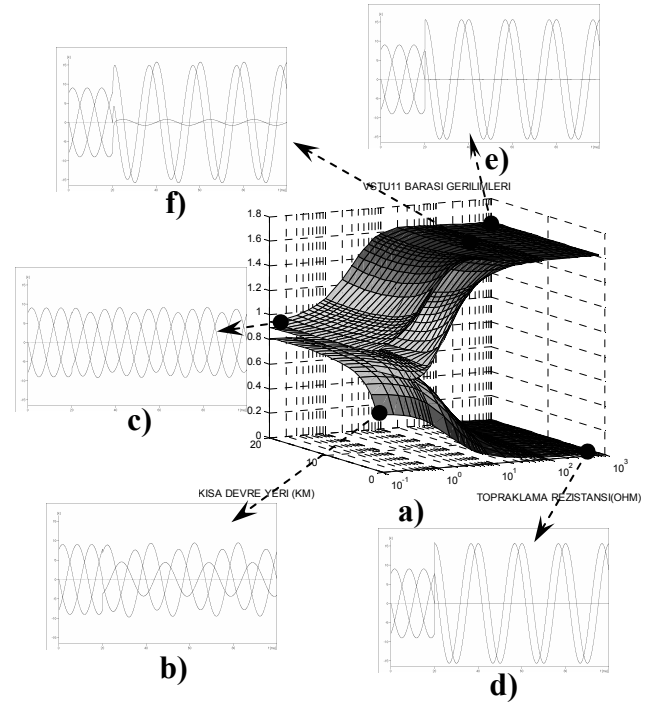


Şekil 2: STU11 barasındaki FTKD'nin toprak direnci ve mesafeye bağlı olarak faz toprak gerilime etkisi (MATLAB modeli ile)

Şekil 2 incelendiğinde sağlıklı fazların geriliminin de kısa devre olan faz gibi topraklama empedansının etkisinde olduğu görülmektedir. Topraklama empedansının yüksek olduğu değerlerde sistem yıldız noktası yalıtılmış şebeke gibi davranmaktadır. Sağlıklı fazların gerilimleri faz nötr geriliminin 1.73 pu katına çıkarken kısa devrenin meydana geldiği fazın gerilimi toprağa çekilmiştir. Topraklama empedansının düşük olduğu değerlerde sistem yıldız noktası doğrudan doğruya topraklı şebeke gibi davranmaktadır. Tüm fazların gerilimleri aynı değerde kalmaktadır.

Buna göre kısa devre noktası direnç değeri 0.1-1 Ω aralığında iken şebeke transformatör yıldız noktası doğrudan doğruya topraklı şebeke gibi, 100-1000 Ω aralığında ise yıldız noktası yalıtılmış şebeke gibi davranmaktadır. Kısa devre noktasının mesafesinin artması gerilim düşmesi etkisini genel olarak azaltmaktadır.

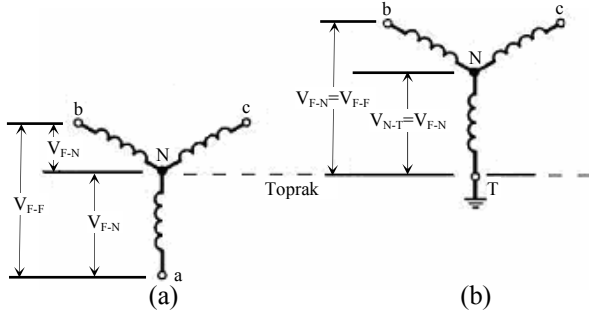
Şekil 3-a'da Şekil 2'de verilen faz gerilimlerinin topraklamama empedansına ve kısa devre yerinin baraya olan mesafesine göre değişiminin ATP ile elde edilmiş hali verilmiştir. Matlab sonuçlarından farklı olarak ATP ile FTKD sırasında yaşanan geçici halde görülebilmektedir. Şekil 3-b' de 0.1 Ω topraklama direnci ve 1 km mesafede, Şekil 3-c' de de 0.1 Ω topraklama direnci ve 20 km mesafede meydana gelen FTKD sonrasında faz gerilimleri verilmiştir. FTKD sonucunda arızalı faz geriliminin mesafe ile değiştiği, arızasız fazlarda ise kısa devre sonucu herhangi bir değişiklik olmadığı görülmektedir.



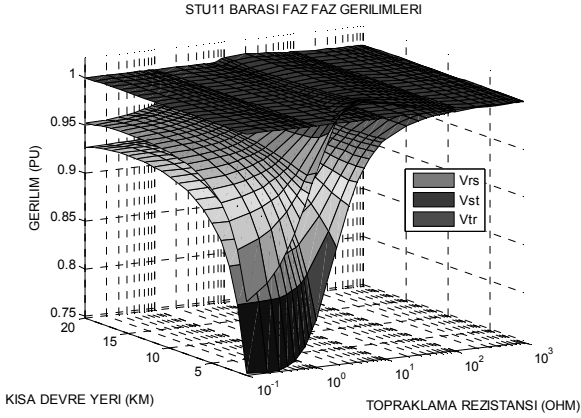
Şekil 3: a) STU11 barasındaki FTKD'nin toprak direnci ve mesafeye bağlı olarak gerilime etkisi. (ATP modeli ile), b)0.1 Ω topraklama direnci ve 1 km mesafede gerilimler, c)0.1 Ω topraklama direnci ve 20 km mesafede gerilimler, d)1000 Ω topraklama direnci ve 1 km mesafede gerilimler, e)1000 Ω topraklama direnci ve 20 km mesafede gerilimler, f) 50 Ω topraklama direnci ve 10 km mesafede gerilimler

Şekil 3-d' de 1000 Ω topraklama direnci ve 1 km mesafede, Şekil 3-e' de de 1000 Ω topraklama direnci ve 20 km mesafede meydana gelen FTKD sonrasında faz gerilimleri verilmiştir. Bir faz kısa devresi sonucunda arızalı faz geriliminin mesafe ile değiştiği, arızasız fazlarda ise kısa devre sonucu gerilimin yükseldiği görülmektedir. Şekil 3-f' de 50 Ω topraklama direnci ve 10 km mesafede faz gerilimlerinin durumu görülmektedir.

Her ne kadar Şekil 2'de MATLAB modeli için, Şekil 3-a'da da ATP modeli için verilen faz toprak gerilimi grafiklerinde topraklama direnci arttırıldıkça gerilim düşmesinin etkisi artıyor gibi görünüyorsa da bu gerilim kademesindeki gerilim düşmesinin etkisini doğru olarak yorumlayabilmek için faz arası gerilimlere bakmak gerekmektedir. Şekil 4'te de görüldüğü gibi bir faz kısa devresi meydana geldiği anda, arıza olan faz gerilimi toprak gerilimine eşit olurken sağlıklı faz gerilimleri de faz toprak gerilimi değerine ulaşmaktadır. Bu sebeple faz faz gerilimlerinin değerlerine bakıldığında STU11 barasında yaşanan gerilim düşmesinin etkisi diğer baralarda görüldüğü şekilde topraklama direnci arttıkça azalacak şekilde olacaktır (Şekil 5).

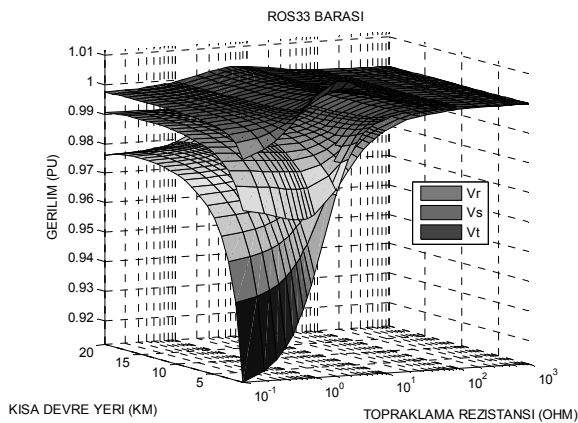


Şekil 4: Yıldız noktası yalıtılmış şebekelerde (a) FTKD öncesi ve (b) FTKD sonrası faz ve nötr gerilimleri



Şekil 5: STU11 barasındaki FTKD'nin toprak direnci ve mesafeye bağlı olarak faz faz gerilime etkisi

Şekil 6'de STU11 barasında değişken topraklama empedansı ve değişken kısa devre yeri etkisi altında meydana gelen FTKD'nin 33 kV barasını (ROS33) nasıl etkilediği görülmektedir. Değişim incelendiğinde FTKD'nin bir üst gerilim kademesi olan ROS33'de önemli bir gerilim düşmesine neden olmadığı görülebilmektedir. 33/11 kV transformatörün yüksek gerilim tarafı üçgen bağlandığı için iki fazın da kısa devreden etkilendiği görülmektedir.



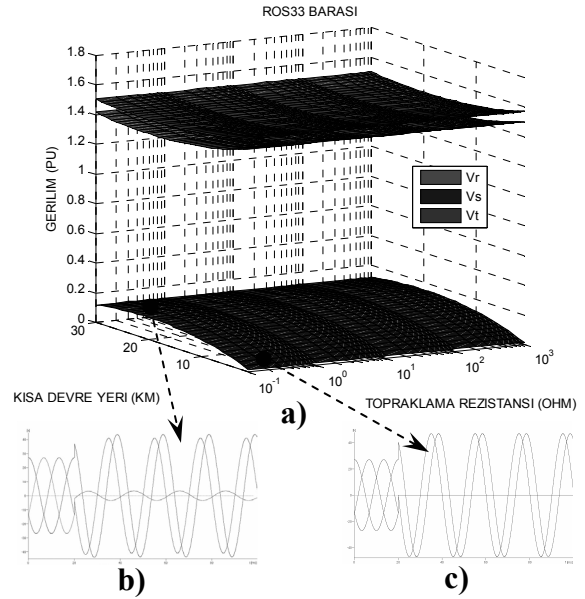
Şekil 6: STU11 barasındaki FTKD'nin toprak direnci ve mesafeye bağlı olarak ROS33 barasındaki gerilime etkisi

STU11 barasında değişken topraklama empedansı ve değişken kısa devre yeri etkisi altında meydana gelen FTKD'nin 132 kV (PAD132) ve 400 kV (PAD400) barasında herhangi bir gerilim düşümüne neden olmadığı görülmüştür.

3.2.ROS-33 Barası

11 kV gerilim kademesinde yapılan FTKD analizleri aynı koşullar altında 33 kV gerilim kademesinde de tekrarlanmıştır. 11 kV seviyesinden farklı olarak topraklama empedansının değişimi ile kısa devre yeri değişimi aynı gerilim seviyesinde değildir. Kısa devre yeri 33 kV gerilim seviyesinde değiştirilirken topraklama empedansı değişimi 11 kV gerilim seviyesindedir. Bu koşullar altında 33 kV gerilim kademesindeki ROS33 barasından farklı uzaklıklarda ve farklı topraklama empedansları koşullarında meydana gelen FTKD'nin faz toprak gerilimleri üzerindeki etkileri Şekil 7'da verilmiştir.

Topraklama empedansının atırılması durumunda hiç bir topraklama direnci değeri için gerilim seviyesinde değişim gözlenmemektedir. ROS33 gerilim kademesi 33/11 kV trafosu topraklama direncinden tamamen bağımsızdır. Şekil 7-b' de 0.1 Ω topraklama direnci ve 1 km mesafede, Şekil 7-c' de de 0.1 Ω topraklama direnci ve 30 km mesafede meydana gelen FTKD'nin sonucunda faz gerilimleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde arızasız fazlarda kısa devre sonucu yaşanan gerilim yükselmesinin mesafeden etkilenmediği ancak kısa devre olan fazın topraklama empedansının değişiminden etkilendiği görülmektedir.



Şekil 7: ROS33 barasındaki gerilimlerin FTKD'nin mesafesine ve 11kV seviyesindeki toprak direncine bağlı olarak değişimleri, b) 0.1 Ω topraklama direnci ve 30 km mesafede gerilimler, c) 0.1 Ω topraklama direnci ve 1 km mesafede gerilimler

4.SONUÇ

Transformatör yıldız noktası topraklamasının amacı kısa devre durumunda değeri değişen kısa devre akımı dolayısıyla gerilimlerde meydana gelebilecek dengesizliklerin sınırlandırılmasıdır.

Çalışma boyunca incelediğimiz gerçek şebekede, en düşük gerilim seviyesinde değişken direnç üzerinden yapılan topraklamanın aynı gerilim seviyesinde meydana gelen bir faz kısa devresi sonucunda oluşan aşırı gerilim ve gerilim düşmesi problemlerinde etkin olduğu görülmüştür. Buna göre, kısa devre noktası direnç değeri $0.1-1 \Omega$ aralığında iken şebeke yıldız noktası doğrudan doğruya topraklanmış şebeke gibi davranmakta olup kısa devre olan hattın faz toprak geriliminde düşme yaşanmakta ancak sağlıklı hatların faz toprak gerilim değerlerinde kayda değer bir değişiklik olmamaktadır. Aynı zamanda gerilim düşmesinin kısa devre noktasının gerilim kademesine olan mesafesine bağlı olduğu ve mesafe arttıkça etkisini kaybettiği görülmektedir. Kısa devre noktası direnç değeri $1-100 \Omega$ aralığında iken şebeke empedans üzerinden topraklı şebeke gibi davranmakta olup topraklama direnci değeri arttıkça arızalı hattın faz toprak geriliminde yaşanan düşmenin etkisinin arttığı, sağlıklı fazların faz toprak gerilimlerinin yükseldiği görülmektedir. Kısa devre noktasının gerilim kademesine olan mesafesinin gerilimler üzerinde halen etkili olduğu görülmektedir. Kısa devre noktası direnç değeri $100-1000 \Omega$ aralığında iken ise şebeke yıldız noktası yalıtılmış şebeke gibi davranmakta olup kısa devre olan faz gerilimi 0 pu, sağlıklı faz gerilimleri faz arası gerilim değerine denk gelen 1.73 pu'ya erişmektedir. Ancak kısa devre noktasının gerilim kademesine olan uzaklığının ne olursa olsun düşme ve aşırı gerilim aynı değerde kalmaktadır. Her ne kadar nötr noktası topraklaması değişken direnç ile incelenen gerilim kademesi STU11' de faz-toprak gerilimi grafiklerinde topraklama direnci arttırıldıkça gerilim düşmesinin etkisi artıyor gibi görünüyorsa da bu gerilim kademesindeki gerilim düşmesinin etkisini doğru olarak yorumlayabilmek için faz arası gerilimlere bakmak gerekmektedir. Zira bir faz kısa devresi meydana geldiği anda, arıza olan faz gerilimi toprak gerilimine eşit olurken sağlıklı faz gerilimleri de faz toprak gerilimi değerine ulaşmaktadır. Bu sebeple faz arası gerilim değerlerine bakıldığında STU11 barasında yaşanan gerilim düşmesinin etkisi diğer baralarda görüldüğü şekilde topraklama direnci arttıkça azalacak şekilde olacaktır.

Aynı kısa devre durumunun üst gerilim kademelerine olan etkisi incelendiğinde her bir faz için düşme ve aşırı gerilim olaylarının benzer eğilim gösterdiği ancak son derece sığ kaldıkları görülebilir. Kısa devre sonucu oluşan gerilim düşmeleri transformatörler üzerinden üste gerilim kademelerine geçerken etkilerini yitirmektedir.

En düşük gerilim seviyesinde değişken direnç üzerinden yapılan topraklamanın üst gerilim kademelerinde bir faz kısa devresi olması durumunda oluşacak olan gerilim düşmesine etkileri incelendiğinde topraklama direncinin diğer hiç bir gerilim kademesinde etkisinin olmadığı görülmüştür.

Kısa devre noktasının baraya olan mesafesinin düşme üzerinde daha etkili olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] BOLLEN Math H. J.: 'Understanding power quality problems: voltage sags and interruptions', IEEE Publication, Newyork, 2000, ISBN 0-7803-4713-7
- [2] BOLLEN, M.H.J., STYVAKTAKIS, E., GU, Y.H.: "Analysis of voltage dips for event identification", IEE, Power Quality: Monitoring and Solutions Seminar, November 2000, pp 4.1-4.4
- [3] BOLLEN, M.H.J., ZHANG, L.: 'A Method for Characterization of Three-Phase Unbalanced Dips (Sags) from recorded voltage waveshapes', Telecommunication Energy Conference, 1999, Page(s): 9 pp.
- [4] KENNEDY, B.: 'Power Quality Primer', McGraw-Hill, New York, 2000, ISBN 0-07-134416-0
- [5] BOLLEN Math H. J., STYVAKTAKIS E. : 'Characterization of Three-Phase Dips (As Easy As One-Two-Three) 9th International Conference on Harmonics and Quality of Power, 2000. Proceedings., Volume: 1 ,Page(s): 81 -86 vol.1
- [6] BOLLEN M.H.J.: 'Fast Assessment Methods for Voltage Sags in Distribution Systems', Industry Applications, IEEE Transactions on , Volume: 32 Issue: 6 , Nov.-Dec. 1996 Page(s): 1414 -1423
- [7] BOLLEN, M.H.J., TAYJASANAT T., YALÇINKAYA, G.: 'Assessment of the Number of Voltage Sags Experienced by a Large Industrial Customer', IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 33, No. 6, November/December 1997, pp. 1465-1471
- [8] BOLLEN, M.H.J.: "Method of critical distances for stochastic assessment of voltage sags", IEE Proc. Gener. Transm. Distrib., Vol.145, No.1, January 1998, pp 70-76
- [9] BOLLEN, M.H.J., ZHANG, L.: 'Different methods for classification of three-phase unbalanced voltage dips due to faults', Electric power system research, Vol.66, No.1, July 2003, pp.59-69.
- [10] ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI: 'Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği', AĞUSTOS 2001
- [11] CAN/AM EMTIP USER GROUP: 'Alternative Transients Program (ATP) Rule Book', (Canadian/American EMTIP User Group, 1992)
- [12] MathWorks Inc., "Matlab: The Language of Technical Computing", (Online) www.mathworks.com/
- [13] WILLHEIM, R., WATERS, M.: 'Neutral Grounding in High-Voltage Transmission' (Elsevier Publishing Company, London 1956)
- [14] IEEE std 142-1991: IEEE recommended practice for grounding of industrial and commercial power systems
- [15] IEEE Std C62.92.1-2000: 'IEEE Guide for the Application of Neutral Grounding in Electrical Utility Systems - Part 1', ISBN 0-7381-2633-0
- [16] GÖNEN Turan: 'Modern Power System Analysis', A Wiley-Interscience Publication, New York, 1988