

# ŞEBEKEYE PARALEL ÇALIŞAN GENERATÖRLER İÇİN FAZ- TOPRAK ARIZA ANALİZİNİN BİLGİSİYAR DESTEKLİ İNCELENMESİ

**Nuran YÖRÜKEREN, Musa UÇAN**

Kocaeli Üniversitesi Müh.Fak.Elektrik Müh.Böl.Umuttepe,41380 KOCAELİ.  
Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Müh.Böl.41380 KOCAELİ  
[nurcan@kocaeli.edu.tr](mailto:nurcan@kocaeli.edu.tr) ; [musaucan@ideriosb.org.tr](mailto:musaucan@ideriosb.org.tr)

Bir elektrik sistemi tasarlanırken maksimum ve minimum kısadevre akımlarının hesaplanması gerekir.Orta Gerilim şebekesine bağlı bir generatorün (EG) bağlandığı şebekeye bir nötr topraklama noktası oluşturulması tercih edilir.Bu çalışmada özellikle incelenecek olan kısadevre faz-toprak kısadevresidir. Çünkü şebekenin bağlantı şekillerinin faz-toprak arızalarının üzerinde etkisi vardır.Şebekeye paralel çalışan generator olduğunda, sistemde oluşabilecek topraklama arızasından dolayı sistemde problemler oluşacaktır.Generator ada modunda çalışmaya geçtiğinde ,bu durum modern korum rolleri vasıtasıyla çözümlenebilir ya da hassas toprak hata koruması yapılmasını gerekli kılar.

*Anahtar Sözcükler: Petersen Bobini, Nötr Topraklama Direnci, Faz-toprak kısa devresi*

## 1. GİRİŞ

Endüstriyel tesisleri besleyen güç sistemlerindeki donanımların görevi; öncelikle can ve mal güvenliği temin edip, ardından servis sürekliliğini sağlamaktır. Güç sistemlerinde arızanın olacağı önceden kestirilemez. Dolayısı ile koruma ekipmanları arıza meydana geldikten sonra sistemi korur. Sistemin kesintiye uğramaması için şebekede oluşabilecek her türlü arızayı belli bir seviyede sınırlayıp, en kısa sürede sistemden izole edebilecek koruma elemanlarını devreye alması gerekir. Korumanın, akıma göre mi yoksa gerilime göre mi yapılacağı tesisin niteliğine göre belirlenir.

Bir elektrik sisteminde oluşabilecek kısa devre arızalarından biri de faz toprak kısa devresidir. Şebeke bağlantı şekilleri şebekede oluşacak maksimum faz toprak kısa devre akımını belirler. Ülkemizdeki en yaygın olan uygulama şekli; YNyn0 bağlantı grubuna sahip 154/34,5 kV'luk güç transformatorünün sekonder yıldız noktalarına 20 Ω'luk direnç bağlayarak sekonder şebekede oluşacak faz toprak kısa devre akımını 995 A'e sınırlamaktır. Yapılan literatür çalışmasında görülmüş ki, Güney Afrika 'da kırsal bölgelerde havai hatlı şebekelerde 360A, kentsel bölgelerdeki kablo şebekelerinde 800 A'e kadar faz-toprak kısa devre akımını sınırlayan nötr topraklama direnci kullanılmaktadır.[1] Bunun dışında, petersen bobini üzerinde topraklama da çok yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu makalada, şebekeyle paralel çalışan generatorün yükseltici transformatorünün bağlantı grubuna göre enterkonnekte şebekede oluşabilecek faz-toprak kısa devresinde üretim sistemin ne şekilde etkileyeceği incelenmiştir DIGSILENT simülasyon programı kullanılarak, 14 farklı durum gerçekleştirilerek kısa devre hesapları yapılmış ve generatorün ada modunda çalışmaması için en doğru çözüm öngörülmüştür.

## 2. GENERATÖR FAZ TOPRAK HATA KORUMASI

Faz toprak arızasında arızalı fazın gerilimi sıfırdır. Ancak diğer iki fazın fazlar arası gerilimi aynı kaldığı halde, faz toprak gerilimleri  $\sqrt{3}$  katına çıkar. Dolayısı ile düşük gerilim rölesi ile arızalı faz tespit edilir. Şebekenin nötr noktası empedans üzerinden topraklı olduğu durumda ise, nötr noktasıyla toprak arasında  $3V_0$  gerilimi oluşur. Generator-transformator ünitesinin toprak arızasına karşı korunması için birçok ülkede uygulanan ortak yöntem nötr noktasına röle tesis etmektir. Bu röle yıldız sargıda nötr hattını kesip araya tesis edilen nötr gerilim transformatorüyle birlikte çalışır. Üçgen sargıda durum ise; suni nötr noktası oluşturmak için bağlanan yıldız/üçgen topraklama transformatorün üçgen sargısının açık olan iki ucunun arasına yerleştirilen bir gerilim transformatorüyle çalıştırılır.

## 3.ÖRNEK BİR ŞEBEKEDEN FAZ TOPRAK ARIZA AKIMININ SİMÜLASYONU

Bu çalışmada Türkiye'deki Ulusal Elektrik Şebekesinin bir parçası oluşturulup, gerçek verilere yakın değerler alınarak Şekil 1' de yer alan tek hat şeması oluşturulmuştur. Özellikle hem şebeke hem de generatorün olduğu sistemde, yalnızca statik yüklerin olduğu varsayılmıştır. Sorunun varlığını ortaya çıkarmak için birçok senaryo üretilmiş ve DIGSILENT simülasyon programı kullanılarak kısa devre analizi yapılmıştır. Şekil 1 'de tek hat diyagramı verilen sistem için, 14 farklı senaryo oluşturularak, simülasyon gerçekleştirilmiştir.Her bir senaryoda trafoların bağlantı şekilleri değiştirilerek, tüm terminalerde tek faz toprak arızası hesaplanmıştır. TR-1,2,4,5 ,6 ve G 'nin bağlantı şekli aynı (Şekil 1'de) kalmak koşuluyla, TR-3'ün bağlantı şekilleri

değiştirilerek 4-9 ve 11 nolu terminallerde faz-toprak arıza analizi yapılmıştır.

Bu durum Tablo 2'de özetlenmiştir. Tablodan da anlaşılacağı üzere, TR-3'ün sekonderi direkt topraklı iken Terminal 4'de görülen arıza akımı en yüksek değerdedir. (9.268 kA).En iyi senaryo ise doğal olarak kaynaklara en uzak nokta olan ve şebeke transformatörü yüksek direnç üzerinden topraklıyken gerçekleştirilir.Bu değer 0.198 kA'dır.

DİGSILENT programı ile yapılan faz toprak kısa devre simülasyonundan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir;

-Farklı topraklama yöntemlerinin kullanıldığı elektrik şebekeleri sıfır bileşen akımlarının dolaşmasını neden olur. Bu nedenle şebekedeki kaynağın sıfır faz bileşen akımlarının toplamına göre çalışan toprak hata koruma rölelerinin veya seçici toprak hata koruma rölelerinin kullanılmasını gerekli kılar. Yaygın olarak pasif şebekelerde akım yönü değişmediği için yönlü koruma kullanılmaz.

-Tüm toprak hata akımlarının artmasına rağmen akım, kaynakların sıfır bileşen akımları arasında paylaşılır ve bu durum bazı rölelerin toprak hata akımlarını algılamamasına neden olur.

-Birçok nötr topraklama noktasının olması sıfır bileşen akımlarının dolaşmasına ve dolayısıyla 3 ve 3'ün katı harmoniklerin (3., 6.,9.vb)oluşmasına neden olur. Hattin empedansıyla uyuşmayan sıfır bileşen( 50 Hz ) akımları farklı nötrlerde dolaşır. Bu O.G.'de kullanılan toprak hata korumasında çeşitli problemlere sebebiyet verir.

-Nötr topraklaması için kullanılacak olan direncin omik değeri, sistemin gerilimi ve farzedilen toprak arıza akımının büyüklüğüne göre belirlenir.

- Generatör için Dyn bağlı yükseltici transformatör kullanılarak, generatörün faz toprak arızasında veya ferrerezonans anında sargılarını korumak için münferit topraklama yapılabilir.

- Yükseltici transformatörün alçak gerilim sargılarının yıldız noktasının direnç üzerinden topraklanması generatörün çıkış barasında oluşacak kısa devre akımını sınırlamada çok daha etkilidir.

Şekil 2'de simülasyon çalışmasının bir örneğinin sonucu görülmektedir.Bu durumda TR-3 (YNyn) bağlı ve sekonder tarafında yıldız noktası 20 ohm değerindeki Peterson bobini üzerinden topraklıdır.TR-4 (Yd) bağlı iken Terminal 9'da hesaplanan kısa devre akım değeri 0.873 kA'dır.Şekil 3'de gösterilen simülasyon sonucunda ise TR-4'ün bağlantı şekli YNd olarak alınmıştır ve aynı noktada kısa devre akımı 1.357 kA olarak hesaplanmıştır. TR-4'ün şebeke tarafı direkt topraklı veya direnç üzerinden topraklı

olduğunda bu hat üzerindeki tüm empedanslar TR-3'ünsekonder tarafındaki 20 ohm'luk Petersen bobinine paralel bağlanacağından kısa devre akımı artar. En uygun yöntem şebeke tarafındaki transformatörü (kaynak) yani TR-3nolu transformatörün34,5kV tarafının empedans üzerinden topraklanmasıdır. Terminal 9'de oluşabilecek faz toprak kısa devresi ile ilgili; TR-3'ün sekonder yıldız noktasında 20  $\Omega$ 'luk direnç kullanıldığında 0,986 kA'lık kısa devre akımı oluşurken, 20  $\Omega$ 'luk reaktans kullandığında ise 0,873 kA kısa devre akımı oluşur. Buradan da anlaşılıyor ki petersen bobini üzerinden nötr topraklama sistemi direnç üzerinden nötr topraklama sistemine göre daha efektiftir.

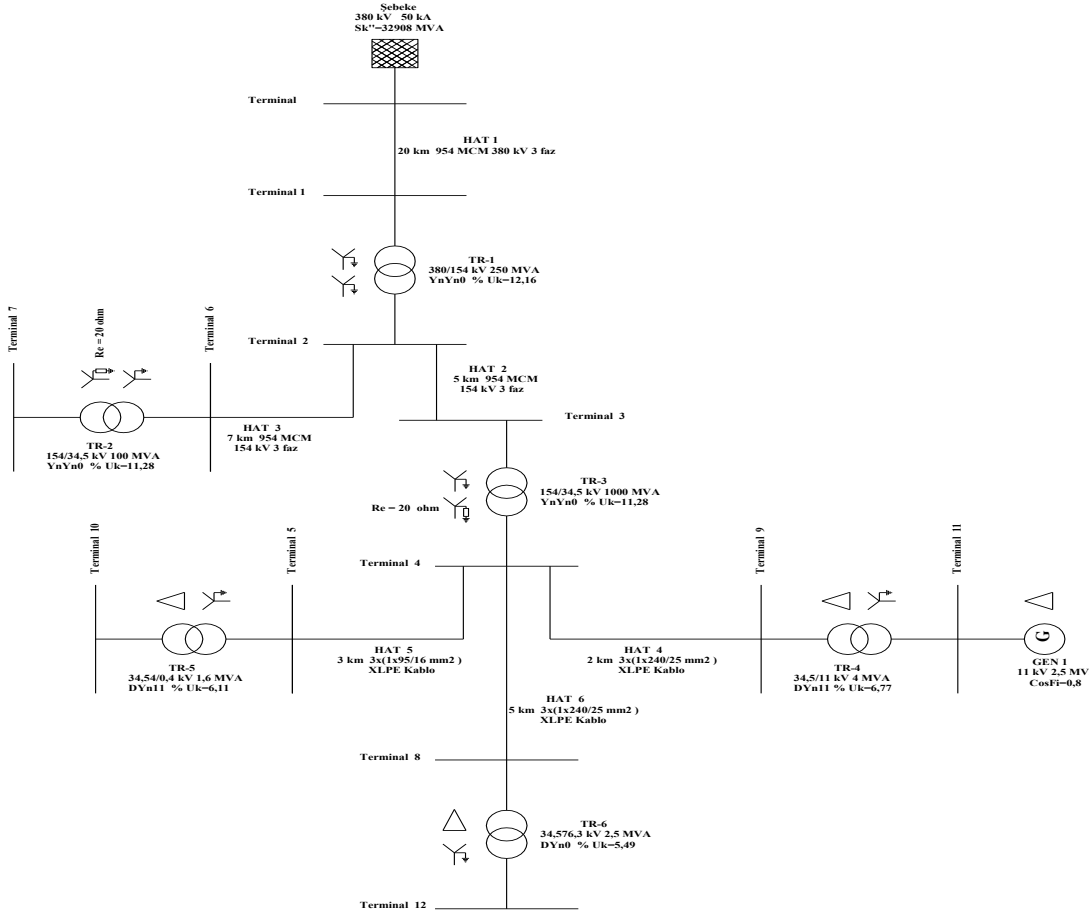
#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada generatörün şebeke ile paralel çalıştığı durumda sistemde meydana gelebilecek olan faz toprak kısa devresinde generatörün bu arızadan etkilenip ada moduna geçmemesi için yöntemler araştırılmıştır. Buna göre öncelikle sistemde oluşabilecek faz toprak arıza akımı nötr topraklama direnciyle veya peterson bobini kullanılarak belli bir değere sınırlandırılmalıdır. Kısa devre akımının bir aktif bir de reaktif bileşeni vardır. Dolayısı ile kısa devre akımının aktif bileşeni direnç ile reaktif bileşeni de dirence seri veya paralel bağlanacak peterson bobini ile sınırlanabilir. Generatörlerin bağlı olduğu orta gerilim şebekelerinde bu tarz bir nötr topraklamasını kullanmak daha efektiftir. Daha sonra sistemin özelliğine göre, radyal veya ring şebeke olma durumuna göre tesis edilecek röle koordinasyonu sayesinde arıza giderilmelidir.

Şunu da belirtmek gerekir ki; generatörün bağlı olduğu şebekede generatörün yükseltici transformatörün yüksek gerilim sargılarının YN bağlı olmasının şebekeyle paralel çalışma durumunda maksimum faz toprak kısa devre akımını artıracığından bir faydası yoktur. Yani şebekeyle paralel çalışan generatörün, şebekenin nötr topraklamasına paralel bir nötr topraklama noktası oluşturmaması tercih edilir. Bu yüzden generatörün gücü şebeke tarafındaki transformatörün gücüne göre küçükse yükseltici transformatörün Dyn bağlı olması gerekmektedir. Generatör tesisinin kaynak terminalinden uzakta olduğu durumlarda nötr topraklamasının gerektiğinde generatörü anahtarlama yoluyla topraklayarak nötr topraklaması ile ilgili problemlerin üstesinden gelinbilir. Zira generatör ada moduna geçtiğinde artık kendisi bir şebeke gibi davranır ve oluşabilecek faz toprak kısa devre akımı anahtarlama yolu ile sisteme dahil edilecek olan topraklama empedansı ile sınırlanmalıdır. Eğer generatörün yükseltici transformatörü Dyn bağlı ise zigzag bağlı veya yıldız-üçgen bağlı topraklama transformatörü ile suni nötr noktası oluşturulabilir.

Radyal şebekede generatörün gücü şebekeye göre düşükse paralel çalışma durumunda generatörün yükseltici transformatörünün şebeke tarafında yüksek dirençli topraklama avantaj sağlamaz. Gerek ada modunda ve gerekse şebekeye bağlı olarak çalışan EG tesisi birçok problem oluşturur. Bu problemler modern koruma röleleri vasıtasıyla çözümlenebilir. Fakat bu yöntem E.G. tesisinin röleleri vasıtasıyla çözümlenebilir. Fakat bu yöntem EG tesisinin nötr topraklamasının anahtarlanmasından hem daha kompleks ve hem de daha maliyetlidir.

Ülkemizde, dağıtım sisteminde 34,5 kV işletme gerilimi yerine 11 kV veya 22 kV kullanılsaydı; hat kayıpları azalacak ve 34,5/11 kV dağıtım transformatörü yerine 110/11 kV'luk güç transformatörleri kullanılacak ve şalt merkezlerinin ölçüleri küçülecektir. 11 kV veya 22 kV'luk sistemde oluşacak maksimum faz toprak kısa devre akımı daha düşük olur.



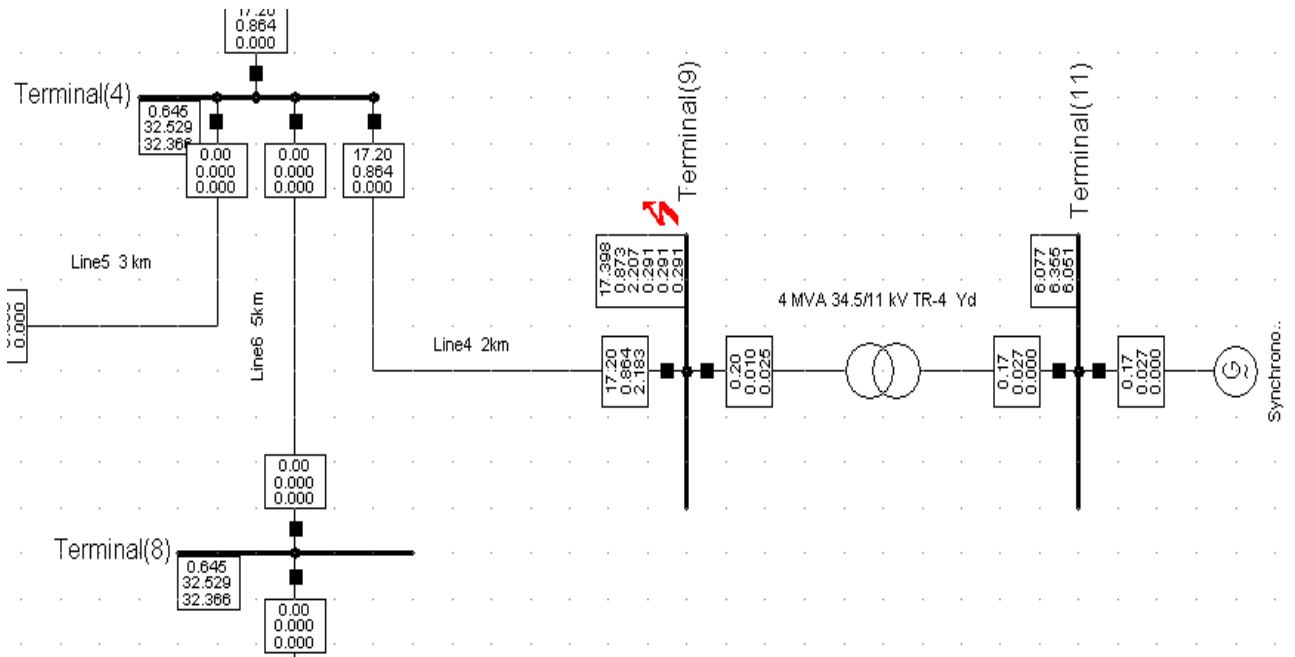
Şekil 1. İncelenecek sistemin tek hat şeması

Birimler	Veriler	Z(1) = Z(2)	Z(0)
Şebeke	U=380 kV, SkQ=32908 MVA RQ=0,1 XQ, XQ=0,995.ZQ		
Trafo 1	380/154 kV, ST1=250 MVA %uk=12,16 %uR=0,1 RN=20 Ω Dyn	R1=R2=0,0230 ohms pu X1=X2=0,1149 ohms pu	R0=0,0230 ohms pu X0=0,1149 ohms pu
Trafo 2	154/34,5 kV, ST2=100 MVA %uk=11,28 %uR=0,058 RN=20 Ω Dyn	R1=R2=0,0230 ohms pu X1=X2=0,1149 ohms pu	R0=0,0230 ohms pu X0=0,1149 ohms pu
Trafo 3	154/34,5 kV, ST3=100 MVA %uk=11,28 %uR=0,058 RN=20 Ω Dyn	R1=R2=0,0230 ohms pu X1=X2=0,1149 ohms pu	R0=0,0230 ohms pu X0=0,1149 ohms pu
Trafo 4	34,5/11 kV, ST4=4 MVA %uk=6,77 %uR=0,714 RN=20 Ω Dyn	R1=R2=0,0041 ohms pu X1=X2=0,0205 ohms pu	R0=0,0041 ohms pu X0=0,0205 ohms pu
Trafo 5	34,5/6,3 kV, ST5=2,5 MVA %uk=5,49 %uR=0,877 RN=20 Ω Dyn	R1=R2=0,0026 ohms pu X1=X2=0,0128 ohms pu	R0=0,0026 ohms pu X0=0,0128 ohms pu
Trafo 6	34,5/0,4 kV, ST6=1,6 MVA %uk=6,11 %uR=0,089 RN=20 Ω Dyn	R1=R2=0,0016 ohms pu X1=X2=0,0082 ohms pu	R0=0,0016 ohms pu X0=0,0082 ohms pu
Generatör	11 kV,SG1=2,5 MVA %Xd=1,917 %X(0)=0,106 CosΘ=0,8	X(2)=0,264 r(2)=0,0301	X(0)=0,106 r(0)=0,01366
Hat 1	380 kV 954 MCM 20 km r1,2=0,02089 Ω/km, x1,2=0,26599 Ω/km r0=0,30299 Ω/km, x0=0,991002 Ω/km	0,418+j5,320	6,060+j19,820
Hat 2	154 kV 954 MCM 5 km r1,2=0,062135 Ω/km, x1,2=0,38111 Ω/km r0=0,31813 Ω/km, x0=1,1395371 Ω/km	0,3107 +j1,9056	1,5907+j5,6977
Hat 3	154 kV 954 MCM 7 km r1,2=0,062135 Ω/km, x1,2=0,38111 Ω/km r0=0,31813 Ω/km, x0=1,1395371 Ω/km	0,4349+j2,6678	2,2269+j7,9768
Hat 4	3x(1x240/25) mm2 YE3SV=2km X=0,1783 Ω/km R=0,0754 Ω/km X(1,2)=0,2030 Ω/km R(1,2)=0,0754 Ω/km X(0)=0,6863 Ω/km R(0)=0,0754 Ω/km	0,1508 +j0,406	0,1508+j1,3726
Hat 5	3x(1x95/16) mm2 YE3SV=3km X=0,1972 Ω/km R=0,193 Ω/km X(1,2)=0,3137 Ω/km R(1,2)=0,193 Ω/km X(0)=1,0577 Ω/km R(0)=0,193 Ω/km	0,579 +j0,9471	0,579+j3,1731
Hat 6	3x(1x240/25) mm2 YE3SV=5 km X=0,178 Ω/km R=0,0754 Ω/km X(1,2)=0,2030 Ω/km R(1,2)=0,0754 Ω/km X(0)=0,6863 Ω/km R(0)=0,0754 Ω/km	0,377 +j1,015	0,377+j3,4315

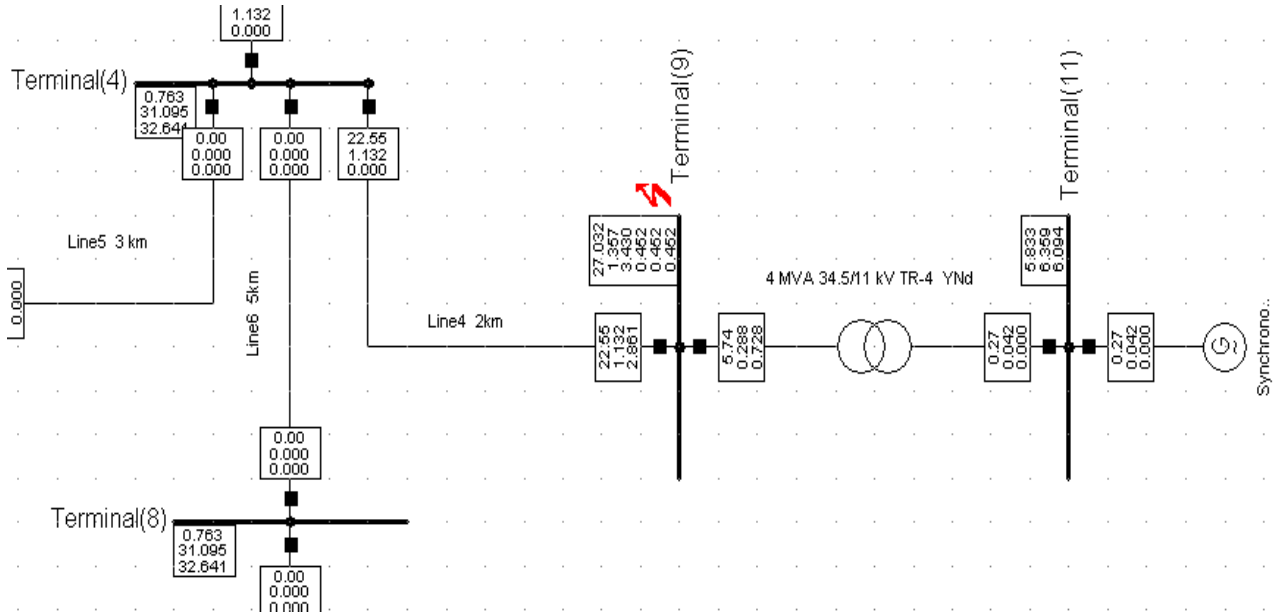
**Tablo 1.** Tek hat diyagramında kullanılan elemanların teknik özellikleri

Durum	TR-3'ün bağlantısı	Arıza noktası	Arıza Noktası kA	Şebekeden Gelen kA	Genetörden gelen kA	Arızalı olmayan Faz Gerilimleri (kV)
1	YNyn	Terminal 4	9,268	9,211	0,081	B =20,24 -121,88° C = 20,35 122,27°
2	YNyn Re=5 Ω	Terminal 4	3,612	3,559	0,057	B =25,88 -154,54° C = 33,10 135,16°
3	YNyn Re=20 Ω	Terminal 4	0,986	0,947	0,04	B =33,29 -152,57° C = 35,30 147,14°
4	YNyn Re=100 Ω	Terminal 4	0,199	0,164	0,035	B =34,28 -150,38° C = 35,66 149,59°
5	YNyn	Terminal 9	6,921	6,867	0,075	B =21,57 -126,11° C = 21,34 127,28°
6	YNyn Re=5 Ω	Terminal 9	3,339	3,286	0,060	B =27,35 -157,44° C = 34,90 136,65°
7	YNyn Re=20 Ω	Terminal 9	0,975	0,935	0,041	B =32,91 -152,83° C = 35,27 146,50°
8	YNyn Re=100 Ω	Terminal 9	0,199	0,164	0,035	B =34,22 -150,42° C =34,70 149,49°
9	YNyn	Terminal 11	3,102	2,879	0,286	B = 6,21 -86,96° C = 6,17 154,44°
10	YNyn Re=5 Ω	Terminal 11	3,102	2,879	0,286	B = 6,21 -86,96° C = 6,17 154,44°
11	YNyn Re=20 Ω	Terminal 11	3,102	2,879	0,286	B = 6,21 -86,96° C = 6,17 154,44°
12	YNyn Re=100 Ω	Terminal 11	3,102	2,879	0,286	B = 6,21 -86,96° C = 6,17 154,44°

**Tablo 2.** TR-3 nolu trafonun sekonder sargılarının yıldız noktasına göre simülasyon sonuçları



Şekil 2. TR-3 YNyn ve trafonun sekonder sargısının yıldız noktası  $X_e=20 \Omega$ 'luk petersen bobini üzerinden topraklı ve TR-4 Yd bağlı olduğunda Terminal 9'daki simülasyon sonuçları.



Şekil 3. TR-3 YNyn ve trafonun sekonder sargısının yıldız noktası  $X_e=20 \Omega$ 'luk petersen bobini üzerinden topraklı ve TR-4 YNd bağlı olduğunda Terminal 9'daki simülasyon sonuçları.

## 5. KAYNAKLAR

- [ 1 ] ZYL, S.,V., “High resistance neutral earthing of MV networks with embedded generation ”, 2009
- [ 2 ] Partenaire, MT, “Groundingsystems”, 1995
- [ 3 ] J. Duncan Glover, Mulukutla S. Sarma, Thomas J. Overbye, “Power System Analysis and Design”, Fourth edition, Copyright 2008
- [ 4 ] Post Glover, “Application Manual - Ground Fault Protection on Ungrounded and High-Resistance Grounded ”, 2001
- [ 5 ] Conner, T., “Neutral Grounding”, 2008
- [ 6 ] B. de Metz-Noblat, F. Dumas, C. Poulain, “Cahier technique no. 158 Calculation of short-circuit currents ” Schneider Electric, updated 2005
- [ 7 ] Schmidt, S., Siemens, “ Short Circuit Calculation”, 2008
- [ 8 ] M. Bonanno, G. Picciolo and G. Tina, “Neutral grounding in MV industrial power distribution systems: Italian standards comparison”, 2003
- [ 9 ] Selkirk, D., “Ground-Fault Detection, Charging Current and Neutral-Grounding Resistor Selection ” 2008
- [ 10 ] Alstom, “Network Protection & Automation Guide-Part 17 Generator and Transformer Protection ” 2002