

## Radyal Dağıtım Sistemlerinde Tek Faz Toprak Arızası için Sıfır Sıra Bileşen Temelli Yönlü Koruma Yöntemlerinin Karşılaştırılması

### *Comparison of Zero Sequence Based Directional Protection Methods for Single Line to Ground Fault in Radial Distribution Systems.*

Mert Bekir Atsever<sup>1</sup>, Özgür Karacasu<sup>2</sup>, Mehmet Hakan Hocaoğlu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gebze Teknik Üniversitesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü

[mbatsever@gtu.edu.tr](mailto:mbatsever@gtu.edu.tr), [hocaoglu@gtu.edu.tr](mailto:hocaoglu@gtu.edu.tr)

<sup>2</sup>TUBITAK, Marmara Araştırma Merkezi

[ozgur.karacasu@tubitak.gov.tr](mailto:ozgur.karacasu@tubitak.gov.tr)

#### Özet

Şehirleşmenin artması ile birlikte dağıtım sistemlerinde kullanılan yeraltı kablosu yoğunluğunun artmıştır. Bu durum dağıtım sistemlerinde geleneksel yönsüz koruma pratiğinin yetersizliğine ve yönlü koruma pratiğinin bazı durumlarda zorunluluk haline gelmesine neden olmuştur. Yönlü koruma pratiğinde ilave ölçü trafoları gerektiği için geleneksel yöntemlere kıyasla daha maliyetlidir. Bu nedenle hangi durumlarda yönlü korumanın gerekli olduğunun bilinmesi önem arz etmektedir. Dağıtım sisteminde gerçekleşen arıza sırasında koruma röleleri tarafından görülen arıza akımının genliği kablo mesafesine bağlı olarak faz-toprak kapasitesinden ve nötr topraklama direncinden etkilenmektedir. Bu iki parametreye bağlı olarak koruma röleleri hatalı açma yapabilmektedir. Bu çalışmada radyal dağıtım sisteminde gerçekleşen tek faz toprak arızası için yönsüz koruma pratiği ile seçici çalışma aralığı kablo mesafesi ve nötr topraklama direnci açısından belirlenmiştir. Bu sayede sistem operatörünün hatalı açmaların önüne geçme ve arz güvenliğinin artırma noktasında faydalı bir bilgi sağlanmıştır. Seçiciliğin sağlanamadığı aralıklara literatürde iyi bilinen sıfır sıra bileşen temelli yönlü koruma yöntemleri test edilmiştir. Bu yöntemler seçicilik yüzdeleri bakımından karşılaştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Yönlü koruma, seçicilik, tek faz toprak arızası, topraklama

#### Abstract

With the increase in urbanization, underground cable usage in distribution systems has increased. This has led to the inability of traditional non-directional protection practice in distribution systems and in some cases the practice of directional protection has become imperative. Directional protection is more expensive than conventional methods as additional instrument transformers are required. For this reason, it is necessary to know the cases in which directional

protection is required. The amplitude of the fault current seen by the protective relays during the fault is affected by the neutral grounding resistance and the phase-to-earth capacity depending on cable length. The protective relays may misoperate depending on these two parameters. In this study, under the single line to ground fault condition the selective ranges of the simple non-directional method are determined in terms of cable length and grounding resistance. In this way, useful information has been provided in order to prevent the system operator from false tripping and to increase the supply security. Zero sequence-based directional protection methods, which are well known in the literature, are tested in regions where the selectivity is not provided. These methods are compared in terms of their selectivity percentages.

**Keywords:** directional protection, selectivity, single line to ground fault, grounding

#### 1. Giriş

İletim sistemleri genel olarak birden çok kaynaktan beslenmektedir. Bu nedenle tek faz toprak (TFT) arızası sırasında arızanın yerinin bulunması ve arızasının sistemden izole edilebilmesi için yön bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalarda genel olarak iki kaynaklı sistemler kullanılmıştır. Yönlü koruma algoritmaları iki kaynaklı sistemler için test edilmiştir [1]-[5]. Bununla birlikte Türkiye’de ve dünyanın pek çok bölgesinde dağıtım sistemleri radyal olarak işletilmektedir. Radyal dağıtım sistemlerinde güç akışı kaynaktan yüke doğrudur. Bu nedenle radyal dağıtım sistemleri genel olarak yönsüz aşırı akım röleleri ile korunmaktadır [6]. Bununla birlikte artan enerji talebi ile birlikte dağıtım sistemlerinde kullanılan kablo yoğunluğu artmaktadır. Sistemde kullanılan kabloların artması sistemin toplam faz-toprak kapasitesinin artmasına neden olmaktadır. Sistemin faz-toprak kapasitesi etkin topraklanmayan sistemlerde arıza akımına ek yol sağlamaktadır. Bu durum TFT arızası

sırasında faz-toprak kapasitesi üzerinden ters yönde şarj akımları akmasına sebebiyet vermektedir. Kablo mesafesinin artması ile birlikte artan şarj akımları sağlıklı fiderlerde yüksek genlikli arıza akımı görülmesine neden olmaktadır. Bu durum sağlıklı fiderde bulunan rölenin çalışmasına ve hatalı açmaya sebep olmaktadır. Bununla birlikte seçici koruma için sadece arızalı fiderde bulunan rölenin çalışması istenmektedir. Bu nedenle radyal dağıtım sistemlerinde tek yönlü güç akışına rağmen ters yönde akan şarj akımlarından dolayı seçiciliği sağlayabilmek için yön bilgisine ihtiyaç duyulabilmektedir. Arıza akımının yönünü belirlemek için yönlü koruma röleleri kullanılmaktadır. Yönlü koruma rölesinin çalışması için pek çok yönlü koruma algoritması geliştirilmiştir. Yönlü koruma algoritması arıza akımının yönünün referans bir sinyal ile kıyaslayarak tayin etmektedir. Referans sinyal koruma algoritmasına göre akım veya gerilim olabilir. Yönlü koruma algoritmaları temel olarak üç farklı kategoride sınıflandırılabilir [7]. Akım-akım kıyaslama, akım-gerilim kıyaslama, sıra bileşenleri kıyaslama [8]-[11]. Akım-akım kıyaslama yönteminde genel olarak trafo sekonderinde ki nötr akımı fider başlarında bulunan rölelerin akımları ile kıyaslanmaktadır. Akım gerilim kıyaslamada sağlıklı fazların gerilimi arızalı fazın akımı ile kıyaslanmaktadır. Sıra bileşen kıyaslamada ise pozitif, sıfır veya negatif sıra akımları kendi sıra gerilimleri ile kıyaslanmaktadır.

Çalışma şu sıraya göre devam etmektedir. Çalışmanın ikinci bölümünde TFT arızası sırasında sıfır sıra akımının neden olduğu hatalı açmalar örnek radyal dağıtım sistemi üzerinden anlatılmıştır. Çalışmanın üçüncü kısmında ise sıfır sıra bileşene göre gerçekleşen hatalı açmaları engelleyebilmek için geliştirilen sıfır sıra temelli yöntemler ve rölelerin açma ayarları anlatılmıştır.

Çalışmanın dördüncü kısmında örnek radyal dağıtım sistemi parametrelere uygun olarak Electro Magnetic Transient Program (EMTP)'nin Alternative Transient Program (ATP) sürümü kullanılarak modellenmiştir [12]. Yönlü korumanın hangi durumlarda gerekli olduğu ve hangi durumlar basit yönsüz yöntemi kullanarak seçicilik sağlandığı parametrik analizler sonucu belirlenmiştir. Parametrik analiz için transformatörün topraklama direnci ve fider uzunlukları değişken tutulmuştur. Böylece tipik bir dağıtım sisteminde yönlü korumanın kaçınılmaz olduğu bölgeler topraklama direnci ve fider uzunluğu cinsinden belirlenmiştir.

Seçiciliğin sağlanmadığı bölgelere üçüncü bölümde anlatılan sıfır sıra temelli yönlü koruma algoritmaları uygulanmıştır. Bununla birlikte altı farklı arıza noktası için TFT arızasında rölelerin seçicilik yüzdeleri uygulanan yöntemler için karşılaştırılmıştır.

## 2. Sıfır Sıra Bileşen Problemi

TFT arızasının algılanmasında ve sistemden izole edilmesinde sıfır sıra akım bilgisi kullanılmaktadır. Bununla birlikte transformatör çıkışlarının çoklu fider yapıda olduğu durumlarda sıfır sıra genliğe göre yapılan koruma pratiği hatalı açmalara neden olabilmektedir. Şekil 1'de ortak transformatöre bağlı üç ayrı kablo fideri gösterilmiştir.

### Şekil 1 Üç fiderli radyal dağıtım sistemi.

Şekil 1'de gösterilen dağıtım sistemi için F noktasında gerçekleşen TFT arızası sırasında arıza akımı topraktan transformatörün nötr noktasına doğru akmaktadır. Bununla birlikte arızalı fazın toprak ile fiziksel teması bulunduğundan dolayı arızalı faz hariç tüm fazların tek faz-toprak kapasiteleri üzerinden şarj akımları akmaktadır. Şarj akımlarının yönü Şekil 1'de görüldüğü gibi güç akışına ters yönlüdür. Sistemin efektif topraklandığı durumda hem nötr noktasından akan arıza akımı hem de arızalı fiderin sıfır sıra akımı oldukça yüksektir. Yüksek genlikli arıza akımının yanı sıra hatalı açmaya neden olan faz-toprak kapasitesinin etkin topraklanmış sistemde ehemmiyeti yoktur.

Etkin topraklanmayan sistemlerde ise arıza noktasına doğru akan şarj akımları sağlıklı fiderlerin hat başında sıfır sıra akımının görülmesine neden olmaktadır. Kablo mesafesinin artması ile birlikte şarj akımları artmaktadır. Böylece sağlıklı fiderlerde görülen sıfır sıra akımları artar. Bu durum sağlıklı fiderlerde bulunan rölelerin çalışmasına ve açma sinyali üretmesine neden olmaktadır. Böylece sağlıklı fiderlerde bulunan koruma röleleri için seçicilik kaybedilmektedir. Hem trafonun nötr noktasından akan arıza akım genliği hem de hat başlarında görülen sıfır sıra akım genliği topraklama direncine göre değişmektedir. nötr noktasının topraklama direncinin artması ile kablunun faz-toprak kapasitesinin ehemmiyeti artmaktadır. Bunun sonucu olarak arızalı ve arızasız fiderler arasındaki sıfır sıra akım farkı azalmaktadır. Benzer şekilde bu durumda sağlıklı fiderdeki koruma rölelerin seçiciliğinin kaybolmasına neden olmaktadır. Topraklama direnci ve kablo mesafesinin koruma rölelerin hatalı açmaya sebebiyet vermesinden dolayı sıfır sıra genliğine göre yapılan koruma pratikleri yetersiz olmaktadır.

Sıfır sıra genliği göre yapılan koruma pratiğinin diğer bir sakıncalı noktası çok yüksek topraklama direnç değerlerinde veya sistemin izole olması durumunda transformatör sekonderinde bulunan rölenin destek koruma sağlayamamasıdır.

### 3. Sıfır Sıra Bileşen Yönlü Koruma

Sistemde meydana gelen arızayı ve arıza akımının yönünü tespit etmek için pek çok yöntem ve yönlü koruma rölesi geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemler temel olarak iki elektriksel büyüklüğün açısal kıyaslamasının yapılmasını ve rölenin bu kıyaslamaya göre ilave bir kontrol mekanizması oluşturmasını mantığına dayanmaktadır. Bu kıyaslamalar akım-akım, akım-gerilim, sıra bileşen kıyaslama olarak sıralanabilir [13]. Bu çalışmada TFT arızası incelendiği için sıfır sıra akım ve sıfır sıra gerilim ve sıfır sıra güç bilgisi kullanılmıştır.

#### 3.1. Gerilim Polarizasyonlu Yönlü Eleman Yöntemi

Şekil 1'de F noktasında gerçekleşen TFT arızası sırasında arızalı fazın faz toprak gerilimi nominal gerilimin altına düşmektedir. Sağlıklı fazların gerilimlerinde ise artış gözükmektedir. Bu durum gerilim üçgeninin bozulmasına ve sıfır sıra gerilimin görülmesine sebep olmaktadır. Röle sıfır sıra gerilimi gördüğünde arızayı algılamaktadır. Yönsüz koruma pratiği uygulandığı zaman ortak baradaki sıfır sıra gerilimleri tüm fiderlerin açma yapmasına sebep olabilir. Bununla birlikte gerilim polarizasyonlu yönlü eleman (GPYE) yöntemi uygulandığında ortak baradaki sıfır sıra gerilimi referans sinyal olarak kullanılır. Böylece bara gerilimine göre çalışma bölgesi belirlenir. Fider başlarındaki röleler arızayı algıladıktan sonra fider başlarında bulunan akım trafolarından sıfır sıra akım bilgisini alır. Röleler başlatma sinyalini aldıktan sonra sıfır sıra akımının çalışma aralığında olup olmadığını kontrol eder. Sıfır sıra akımı çalışma alanının içerisinde ve ayarlanan eşik değerinin üzerinde ise röle çalışır. Rölenin çalışması ile birlikte tork üretilir ve kesiciye açma sinyali gönderilir. GPYE yöntemi ile üretilen tork değeri  $I_0$  hat başlarından ölçülen sıfır sıra akımı,  $V_0$  rölenin bağlı olduğu baranın sıfır sıra gerilimi, MTA açma ayarı olmak üzere Denklem (1) ile hesaplanmaktadır.

$$T_V = 3|V_0| \cdot |I_0| \cdot \cos(\angle - V_0 - \angle I_0 + \angle MTA_V) \quad (1)$$

Denklem (1) ile hesaplanan torkun işareti pozitif ise arıza yönü ileri olarak belirlenip açma sinyali üretilir. Tork işareti negatif ise arıza ters yönlü algılanıp röle bloklanır. Röle teknolojisinin gelişmesi ile birlikte MTA değeri kullanıcı tarafından belirlenebilmektedir [14]. Yük akımına hattın yapısına fiderin uzunluğuna göre sıfır sıra akım ve gerilim bileşenlerinin büyüklüğü ve açısı değişmektedir. Böylece MTA değeri de değişmektedir. Farklı MTA değerleri uygulamalarda kullanılmaktadır. [14] numaralı çalışmada 4 farklı MTA değeri için (0°, 30°, 60°, 90°) analizler yapılmış en uygun MTA değeri bulunmaya çalışılmıştır. [6] numaralı çalışmada dirençle topraklı sistemde MTA değerinin 0°, direkt topraklı sistemde ise dağıtım seviyesinde 45°, iletim seviyesinde 60° ayarlanması önerilmiştir. [15] numaralı çalışmada ise MTA değerinin set edilmesi

deneye dayalı formüllerle ifade edilmiştir. MTA değerinin hesaplanması  $R_G$  topraklama direncinin değeri,

$X_{0T}$  transformatörün sıfır sıra reaktans değeri, SFA ise açma güvenlik faktörü olmak üzere Denklem (2) ile verilmektedir.

$$MTA_V = \text{acot}\left(\frac{3R_G}{X_{0T}}\right) - SFA + 90^\circ \quad (2)$$

GPYE yöntemi trafonun bağlantı şekilden etkilenmez. Farklı tip trafo bağlantılarında gerilim trafosu ile sıfır sıra gerilimler ölçülebilir. Bu nedenle tüm baralardaki gerilimlerin ölçülmesi gerekmektedir. Bu nedenle ilave gerilim trafolarına ihtiyaç vardır. İlave ölçüm trafosu gerektirdiği için GPYE yöntemi maliyetlidir.

#### 3.2. Wattmetrik Yönlü Eleman Yöntemi

Elektrik güç sisteminde gerçekleşen TFT arızasını tespit etmek ve yönünü belirlemek için geliştirilen bir diğer sıfır sıra bileşen temelli yöntem wattmetrik yönlü eleman (WYE) yöntemidir. Arızalı fiderin negatif aktif güç ürettiği, sağlam fiderlerin ise aktif güç tükettiği teorisine dayanmaktadır [16]. Bu yöntemin etkin çalışabilmesi için ölçüm trafolarından elde edilen akım ve gerilim bilgisinin açığı hatasız ölçmesi gerekmektedir. Elektrik güç sistemlerinde ani güç ifadesi Denklem (3) ile hesaplanmaktadır.

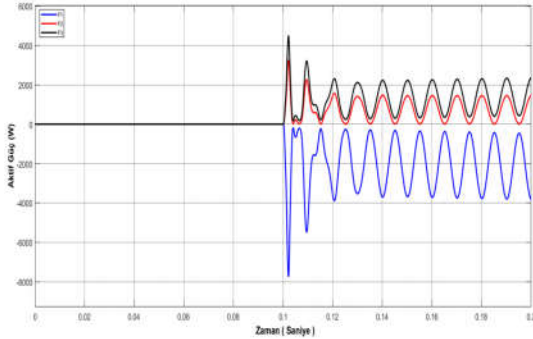
$$p_0(t) = V_0(t) \cdot I_0(t) \quad (3)$$

Ani güç ifadesinin bir periyot boyunca integrali alınıp, periyot değerine bölünmesi ile ortalama güç ifadesi elde edilir. Elde edilen ortalama güç Denklem (4) ile belirtilmiştir.

$$P_0 = \frac{1}{T} \int_0^T p_0(t) dt \quad (4)$$

Dengeli durumda gerilim ve akım bileşenleri sabit veya periyodiktir. Bu nedenle dengeli durumda integral değeri sıfırdır. Bununla birlikte arıza durumunda gerilim ve akım bileşenlerinde değişim olmaktadır. Akım ve gerilim değişmesi ile birlikte ani güç ve integral değeri sıfırdan farklı değerler almaktadır. Bu fenomenen yararlanılarak wattmetrik koruma rölesi geliştirilmiştir. Arıza anında koruma röleleri tarafından görülen ortalama güç değerinin işareti kontrol edilmektedir [17]. İşaretin negatif olduğu durumda röle arızayı ileri yönlü olarak algılamaktadır. Böylece açma sinyali üretmektedir. Koruma rölesinin dengesizlik durumunda hatalı çalışmasını engellemek için sıfır sıra gerilimi nominal gerilimin yaklaşık % 20'sine ayarlanması gerekmektedir. WYE yöntemi tüm topraklama tiplerinde kullanılabilir. Bununla birlikte yüksek empedanslı arızalarda (high impedance fault) arızanın teyidi konusunda efektif değildir. Şekil 1'de gösterilen dağıtım sisteminin nötr noktasının izole olduğu durumda F noktasında TFT arızası oluşturulmuştur. Bu durumda hat başlarından ölçülen aktif güç değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu durumda bir numaralı fiderde arıza ileri yönlüdür röle açma sinyali

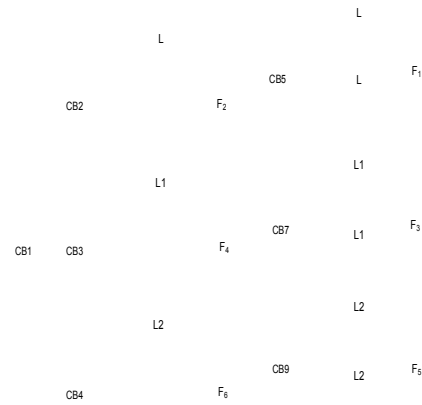
üretir. Bununla birlikte iki ve üç numaralı fiderlerde arıza geri yönlüdür. Röleler bloklanır. Böylece arızalı olan bir numaralı fider etkili bir şekilde tespit edilmiştir. Seçici koruma sağlanmıştır.



Şekil 2 TFT arızası sırasında aktif güç değişimi.

#### 4. Benzetim Çalışması

Basit yönsüz röle kullanarak seçiciliğin sağlandığı bölgeleri topraklama direnci ve kablo mesafesi cinsinden ifade etmek için Şekil 3'te gösterilen çok fiderli radyal dağıtım sistemi Electro Magnetic Transient Program (EMTP)'nin Alternative Transient Program (ATP) sürümü kullanılarak modellenmiştir. Parametrik analiz için transformatörün topraklama direnci ve fider uzunlukları değişken tutulmuştur. Şebeke trafosunun topraklama direnci 0'dan 1000  $\Omega$  değerine kadar belli aralıklar ile artırılmıştır. Benzer şekilde kablo uzunlukları 2 km ile 20 km arasında belli aralıklarla artırılmıştır. Kablo karakteristiği olarak XLPE izoleli bakır iletkenli kablo seçilmiştir. Kablolar üçgen demet şeklinde döşenmiştir.

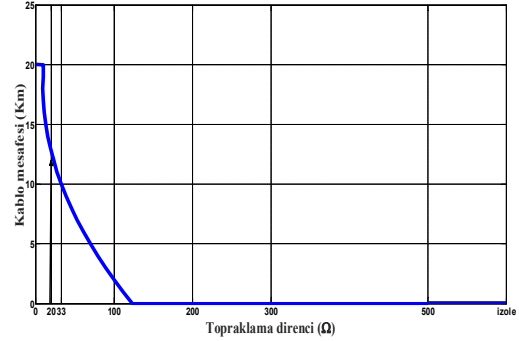


Şekil 3: Örnek test sistemi

Böylece tipik bir dağıtım sisteminde yönlü korumanın kaçınılmaz olduğu bölgeler topraklama direnci ve fider uzunluğu cinsinden belirlenmiştir. Bununla birlikte seçiciliğin kaybolduğu bölgelerde WYE ve GPYE yöntemleri uygulanmıştır.

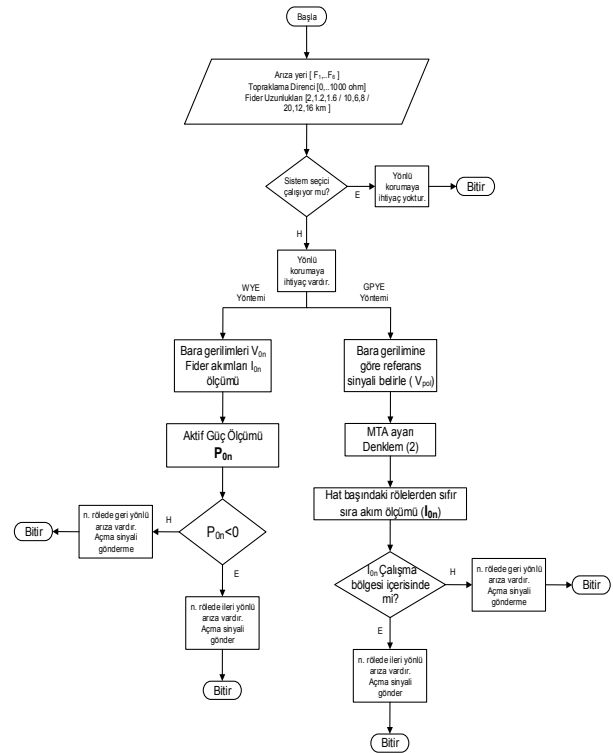
Yapılan benzetim çalışmaları sonucunda yönsüz röle kullanıldığında topraklama direncinin artması ve kablo

mesafesine bağlı olarak elde edilen seçicilik eğrisi Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4 Yönsüz seçicilik eğrisi

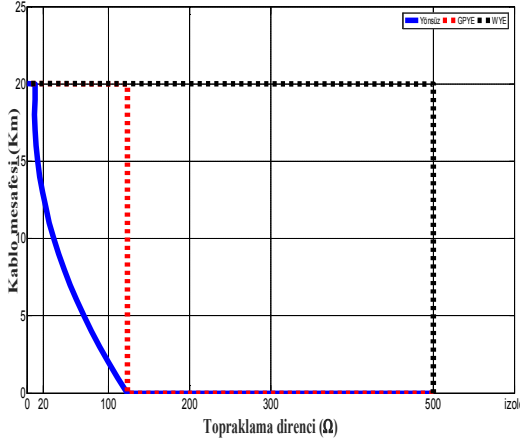
Topraklama direncinin 20  $\Omega$  olduğu durumda kablo şebekesinin yaklaşık 14 km uzunluğuna kadar basit yöntem ile seçici koruma tüm arıza noktaları için sağlanmaktadır. Belirtilen bölgeler dışında (örneğin 33  $\Omega$  ve 20 km kablo) röleler seçici çalışmamaktadır. Bu durum sistemde hatalı çalışan röle sayısının artmasına neden olmaktadır. Bu durum sistemde gereksiz yük kaybına neden olmaktadır. Seçiciliğin sağlanmadığı bölgelere seçiciliğin sağlanabilmesi için yönlü koruma algoritmaları Şekil 5'de gösterilen akış diyagramına göre uygun olarak uygulanmıştır.



Şekil 5: Sıfır sıra yönlü koruma akış diyagramı.

Şekil 5'de gösterilen akış diyagramına göre her bir topraklama direnci kablo mesafesi senaryosu için 6 farklı

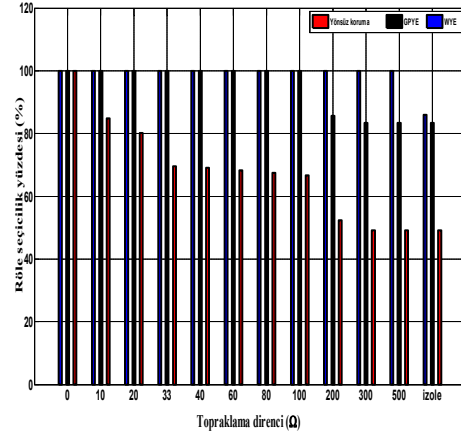
arıza noktasında koruma rölelerinin çalışma durumları analiz edilmiştir. Buna göre üç koruma pratiğinin seçicilik aralıklarının değişimi Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6 Üç koruma pratiğinin karşılaştırılması.

Geleneksel yönsüz yöntem ile sağlanan alan yönlü koruma yöntemi ile arttırılmıştır. Böylece dağıtım sisteminde daha yüksek topraklama direnci ve daha uzun kablo mesafesinde seçicilik sağlanmıştır. Arttırılan bu alanlar ile ilgili olarak GPYE yöntemi WPE yöntemine göre daha dar bir bölgede bulunmaktadır. Bunun nedeni sıfır sıra akımın yüksek nötr topraklama dirençlerinde özellikle transformatörün çıkışında bulunan CB1 rölesinde görülmemesidir. Bu durum WPE yöntemi kullanarak belli bir oranda arttırılmıştır. Bununla birlikte sistem izole olduğu durumda sadece kabloların kapasitif akımları dolaştığından dolayı CB1 rölesinde akım değeri yaklaşık sıfırdır. Bu problem CB1 rölesine diğer rölelerden uzun zaman gecikmesi ekleyerek sadece aşırı gerilime göre kontrol edilmesi ile birlikte giderilebilir. Yapılan benzetim çalışmasında her bir topraklama direnci için 7 röle çalışma durumu 3 farklı kablo mesafesi ve 6 farklı arıza noktası için analiz edilmiştir. Buna göre her bir yöntemde sistemin sahip olduğu toplam seçici çalışan röle yüzdesinin topraklama direncine göre değişimi Şekil 7'de gösterilmiştir. Buna göre GPYE yöntemi 100 Ω değerine kadar tüm durumlarda % 100 seçicilik sağlanmıştır. WPE yöntemi ise 500 Ω değerine kadar tüm durumlarda % 100 seçicilik sağlanmıştır.

Yönsüz korumada ise sadece direkt topraklı sistemde % 100 seçicilik sağlanabilmektedir. Nötr topraklama direncinin artması ile birlikte seçicilik yüzdesi azalmaktadır



Şekil 7: Seçicilik yüzdesinin değişimi.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada radyal dağıtım sisteminde dahi yönlü korumanın gerekliliği ortaya konmuştur. Bununla birlikte radyal dağıtım sisteminde topraklama direnci ve kablo mesafesi cinsinden seçicilik eğrisi elde edilmiştir. Buna göre kablo şebekesinin mesafesinin artması ile birlikte yönlü korumanın gerekliliği görülmüştür. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan 20 Ω topraklama direncinin kablo şebekesinin 14 km'den daha uzun olduğu durumda seçicilik problemlerine sebep olduğu gösterilmiştir. Elde edilen seçicilik eğrisinden seçici olmayan bölgelere WPE ve GPYE yöntemleri uygulanmıştır. Böylece seçiciliğin sağlandığı bölgeler arttırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda GPYE yöntemiyle kıyasla WPE yöntemi ile daha topraklama direnci ve kablo mesafesi cinsinden daha fazla alanda seçici koruma sağlanmıştır.

## 6. Kaynaklar

- [1] Gao, H. and Crossley, P. A., "Design and evaluation of a directional algorithm for transmission-line protection based on positive sequence fault components", *IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution*, 153(6), pp. 711-718, 2006.
- [2] Lee, M.S. and You, S.K., "A directional Relay Algorithm using Positive Sequence Superimposed Quantity for Transmission Line Protection", *IFAC*, 2003, pp 405-408.
- [3] Hashemi, S.M., Hagh, M.T. and Seyed, H., "Transmission-line protection: a directional comparison scheme using the average of superimposed components", *IEEE Trans. Power Deliv.*, 28 (2), pp 955-964, 2013.
- [4] Jena, P., Pradhan, A.K.: "Directional relaying during single-pole tripping using phase change in negative-sequence current", *IEEE Trans. Power Deliv.*, 28, pp 1548-1577, 2007.
- [5] Ukil, A., "Detection of direction change in prefault current in current-only directional overcurrent protection", *IECON 2016 42nd Annual Conference*

- of the IEEE Industrial Electronics Society, Florence, 2016, pp. 3829-3833.
- [6] *Network protection and automation*, Alstom, France, 2001.
- [7] Eissa, M.M., Hasan, S. and Sherif, S.S., "A new digital filter directional relay technique using active/reactive power portrait", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 86, pp. 33-52, 2017.
- [8] Jorak, J. and Babic, W., "Directional overcurrent relaying (67) concepts", *IEEE rural electric power conference*, 2006, p 1-8.
- [9] Blackburn, J.L., *Protective Relaying: Principles and Applications*, Second Edition, New York: Marcel Dekker, Inc., 1998.
- [10] Elmore W.A., *Protection relaying theory and application*, New York: ABD; 1994
- [11] Zimmerman, K. And Costello, D., "Fundamentals and improvements for directional relays", *63rd Annual Conference for Protective Relay Engineers*, College Station, TX, 2010, pp. 1-12.
- [12] Can/Am EMTP User Group, *Alternative Transient Program Rule Book*, USA;1997
- [13] Roberts J. and Guzman, A. "Directional Element Design and Evaluation", *21st Annual Western Protective Relay Conference*, Spokane, WA, 1994, pp. 1-27.
- [14] Bakar, A.H.A., Mokhlis, H., Illias, H.A., and Chong, P.L., "The study of directional overcurrent relay and directional earth-fault protection application for 33 kV underground cable system in Malaysia", *Electrical Power & Energy Systems*, 40., pp 113-119, 2012.
- [15] Latorin, R.L., Hou, D. Altuve, H.J., N. Fisher, N. and Calero, F. "Selecting Directional Elements for Impedance-Ground Distribution Systems", *Proceedings of the 34th Annual Western Protective Relay Conference*, Washington, October 2007.
- [16] Loos, M., Maun, J.C., Werben, S. Kereit, M. " Fault Direction Method in Compensated Network using the Zero Sequence Active Energy Signal", *IEEE EURONCON, Zagreb, CORATIA, 2013, pp 1-4.*
- [17] F. Pitot K. Venkataraman N. Vassilevsky C. P. Teoh "Wattmetric Earth Fault Protection - Innovation For Compensated Distribution Networks" *23rd International Conference on Electricity Distribution Lyon vol. 0963 15-18 June 2015.*