

# 34.5 kV ORTA GERİLİM (OG) ENERJİ DAĞITIM HATLARINDA ARIZA YERİ TESBİTİ

Yılmaz ASLAN A. İhsan ÇANAKOĞLU

Dumlupınar Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kütahya

**Özet:** Bu çalışmada, radyal enerji dağıtım hatlarında, tek noktadan elde edilen akım ve gerilim bilgileri kullanılarak arıza yerinin tespit edilmesinde kullanılan yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde, dağıtım hatlarındaki çeşitli yük noktaları, bu noktalara bağlı yüklerdeki değişimler ve hat sonunda bulunabilecek özel enerji üretim kaynakları dikkate alınmaktadır. Geliştirilen yöntem, görünen empedansa dayanan ve çeşitli ölçme hatalarına yol açan klasik yöntemlere göre, arıza direncinden bağımsız olması sebebiyle, daha güvenilir ve hassas sonuçlar vermektedir. Yöntem *Electro-Magnetic Transients Program (EMTP)* kullanılarak, modellenen 34.5 kV dağıtım hatlarından alınan verilerle çeşitli durumlar için test edilmiştir. Yöntem, faz-toprak, faz-faz ve faz-faz-toprak arızalarında çeşitli arıza empedansları, kaynak güçleri, yük kapasiteleri, hat sonu kaynak kapasitesi ve çeşitli arıza yeri için uygun sonuçlar vermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji Dağıtımı, Arıza Yeri Tespiti, Arıza Bulma

## 1. Giriş

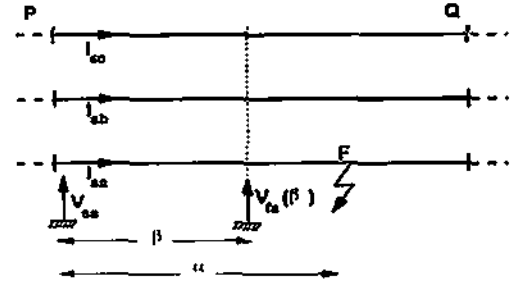
Dünyanın çeşitli yerlerinde özellikle enerji dağıtım hatlarındaki şönt arızalardan dolayı oluşan enerji kesintilerinin en aza indirilmesi, arıza yerinin kısa sürede tespit edilmesi ve arızalı kısmın kısa sürede hizmete sokulması giderek önem kazanmaktadır. Son yıllarda enerji dağıtım şirketlerinin özelleştirilmesindeki artış, arıza yerinin hızlı ve doğru olarak tespit edilmesini, enerjinin sürekliliği ve kalitesi bakımından daha da ön plana çıkaracaktır. Klasik arıza yeri tespit yöntemleri, radyal hatlardaki çeşitli yük noktalarından ve yük kapasitelerinde meydana gelen değişimlerden olumsuz etkilenmektedir. Problem, hat sonu beslemesi durumunda, örneğin özel bir generatörün hatta bağlanmasında daha da karışık bir hal almaktadır. Bu durumda klasik yöntemler genellikle görünür empedansa dayandığından, arıza yeri ölçüm noktasına daha yakın veya uzak belirlenmektedir. Genellikle hat sonu ve hat başından alınan akım ve gerilim bilgilerine dayanılarak geliştirilen arıza yeri bulma teknikleri, güvenilir ve hassas sonuçlar vermektedir. Fakat bu durumda hat başından ve sonundan elde edilen verilerin, haberleşme kanalları yardımıyla bir araya getirilmesi gerekmektedir. Bu durumda tek uçtan akım ve gerilim verisi olarak çalışan arıza yeri tespit yöntemleri daha kullanışlı ve ekonomik açıdan avantajlıdır. Empedans ölçümüne dayanan çeşitli arıza yeri tespit yöntemleri geliştirilmiştir [1,2,3]. Bu tekniklerin uygulama alanları ya sınırlı kalmakta ya da hassasiyetleri, yapılan çeşitli kabullerden dolayı olumsuz etkilenmektedir. Geliştirilen başka bir çalışmada, arıza anında oluşan arkın yaydığı yüksek frekanstan (YF) yararlanarak yönsel arıza yeri tespitine çalışılmıştır [4]. Fakat bu yöntemde YF sinyallerini yakalayabilmek için özel devre elemanlarına ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada, havai enerji dağıtım hatlarında arıza yeri tespiti için, tek noktadan ölçüm yapan yeni bir

yöntem sunulmaktadır. Yöntem, toplam büyüklükler yerine, arıza öncesi ve sonrası elde edilen akım ve gerilim değerlerinin farkına ve bu farkın hat boyunca kabul edilen arıza noktalarına sistematik olarak uygulanmasına dayanmaktadır. Aynı zamanda hat başı ve hat sonu kaynak kapasite değişimlerinden etkilenmemektedir.

## 2. Matematiksel Model

Geliştirilen modelde akım ve gerilim ölçümleri sadece hat başında yapılmaktadır. Elde edilen arıza öncesi ve sonrası akım ve gerilim değerlerinin farkı alınarak, arızanın, hat başından itibaren belli bir noktada olduğu (örneğin 50 m'lik aralıklarla) varsayılarak, bu değer o noktaya uygulanır ve akımlar kontrol edilir. Arızalı noktada, arızasız faz veya fazların akımları, diğer noktalara göre minimum değeri sağlayacaktır. Bu durumda arızalı noktanın hat başına olan mesafesi hesaplanır. Şekil 1'de, herhangi bir yük bulunmayan basit bir enerji dağıtım hattı görülmektedir.



Şekil 1 Basit enerji dağıtım hattı.

Hattın kapasitif reaktansını ihmal edersek, kabul edilen arıza noktası  $\beta$ 'daki arıza gerilimi  $V_r$ , ölçülen akım ve gerilim değerleri kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$\begin{bmatrix} V_{fa}(\beta) \\ V_{fb}(\beta) \\ V_{fc}(\beta) \end{bmatrix} = \beta \begin{bmatrix} Z_s & Z_m & Z_m \\ Z_m & Z_s & Z_m \\ Z_m & Z_m & Z_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{sa} \\ I_{sb} \\ I_{sc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Burada,  $Z_s$  hattın seri empedansı,  $Z_m$  hattın karşılıklı empedansı,  $I_s$  ve  $V_s$  ise hat başında ölçülen akım ve gerilim değerleridir. Aşağıdaki (2), (3) ve (4) eşitlikleri, bir uçtan kaydedilen toplam gerilim ve akım verilerinden muhtemel arıza noktalarına uygulanacak gerilim farkının nasıl hesaplanacağını göstermektedir.

$$V'_{fab,c}(\beta) = V_{fab,c}(\beta) - V_{fab,c(ss)}(\beta) \quad (2)$$

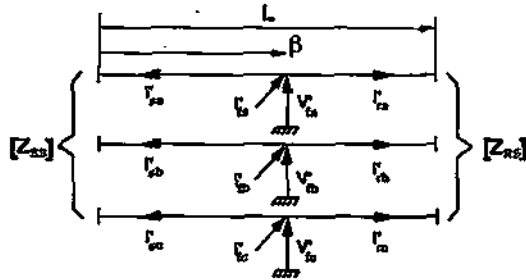
$V'_{fab,c}(\beta)$ ,  $V_{fab,c}(\beta)$  ve  $V_{fab,c(ss)}(\beta)$  sırasıyla varsayılan arıza yerindeki arıza öncesi ve sonrası gerilimlerin farkı, arıza sonrası ve arıza öncesi gerilimlerdir. Yukarıdaki  $V'_{fab,c(ss)}(\beta)$  değeri aşağıdaki gibi elde edilir;

$$V_{fa,b,c(ss)}(\beta) = \beta [Z] [I_{sa,b,c(ss)}] + [V_{sa,b,c(ss)}] \quad (3)$$

Enerji dağıtım hattının P ucundaki arıza öncesi ve sonrası akım ve gerilim farkları aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$I'_{sa,b,c} = I_{sa,b,c} - I_{sa,b,c(ss)} \quad (4)$$

$$V'_{sa,b,c} = V_{sa,b,c} - V_{sa,b,c(ss)}$$



Şekil 2 Gerilim farklarının uygulanması

Şekil 2'de elde edilen gerilim farklarının muhtemel arıza noktasına uygulanacağı basit enerji dağıtım hattı modeli görülmektedir. Burada arıza noktasının Q ucundan çektiği  $I'_{fab,c}$  akımları görülmektedir. Muhtemel arıza noktasındaki arıza yol akım farkları aşağıdaki gibi bulunabilir;

$$I'_{fab,c} = I'_{sa,b,c} + I'_{ra,b,c} \quad (5)$$

Muhtemel arıza noktası hat boyunca sistematik bir şekilde kaydırılarak  $I'_{fb,c}$ 'nin (faz(a)-toprak arızası için) minimum olduğu nokta bulunur. Bu nokta

Şekil 1'de görülen  $\alpha$  gerçek arıza noktasına karşılık gelmektedir.

### 3. Enerji Dağıtım Hattı

Uygulamada enerji dağıtım hattı üzerinde çeşitli noktalarda dağıtım transformatörleri bulunmaktadır. Dolayısıyla hesaplama süreci daha önce verilen düz dağıtım hattına göre daha karmaşıktır. Fakat aynı prensip uygulanabilir. Elde edilecek sonuçlardaki doğruluk muhtemel hat sonu beslemesinin gerçek dağıtım sistemindekine yakın bir şekilde modellenmesine bağlı olacaktır. Enerji dağıtım sistemlerinde, enerji iletim sistemlerinin tersine kaynak karakteristiklerindeki değişim çok daha azdır.

#### 3.1 Yüklerin Modellenmesi

Enerji dağıtım sistemlerinde ana hatta bağlı tali hatların sonunda üç fazlı bazı ülkelerde ise bir fazlı düşürücü enerji dağıtım transformatörleri bulunmaktadır. Tek fazlı bir transformatör bağlı olması durumunda, gücünü  $M$  ve güç katsayısını  $0.90$  almak yeterli olacaktır. Transformatörün primer tarafından görülen empedansı;

$$Z_l = |V_{l,p}| / M \angle \cos^{-1} P_f \quad (6)$$

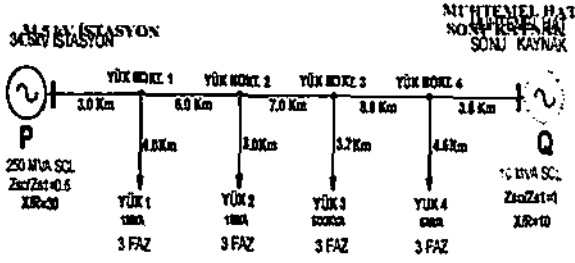
Burada,  $V_{l,p}$  transformatör terminallerindeki gerilimdir. Üç fazlı bir transformatör için, yük empedansı üçgen bağlantı için aşağıdaki gibi olacaktır;

$$Z_l = 3|V_{l,p}| / M \angle \cos^{-1} P_f \quad (7)$$

Hatta bağlı transformatör bağlantısı ve faz sayısına göre uygun empedans matrisi oluşturulmalıdır. Hat sonu beslemesi durumunda, bu kaynağın empedans matrisinin oluşturulmasında kaynak kısa devre seviyesi (SCL) ve kaynak  $Z_{sc}/Z_{s1}$  oranı dikkate alınmıştır. Düz hat için anlatılan yöntemden anlaşılacağı gibi akım farklarının bulunabilmesi için, arıza noktasından hat başı ve hat sonuna doğru görülen empedansların bulunması gerekir.

#### 3.2 Sistemin Modellenmesi

Havai dağıtım hatlarının, yüklerin ve kaynakların modellenmesinde EMTP simülasyon paketi kullanılmıştır. Ülkemizde en çok kullanılan 34.5kV enerji dağıtım hatlarının modellenmesinde, yüklerdeki değişimler, hat sonu beslemesinin bulunması veya bulunmaması gibi durumlar Şekil 3'te görüldüğü gibi dikkate alınmıştır.



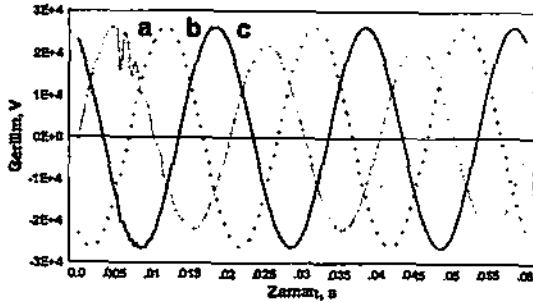
Şekil 3 34.5kV Enerji dağıtım hattı

### 3.3 Arabirim (Donanım) Hataları

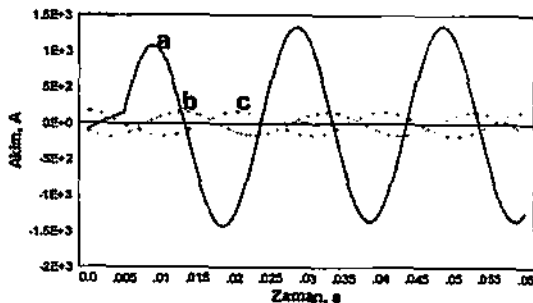
Arıza yeri tespit yöntemi, hat başındaki baradan ölçülen voltaj ve akım sinyalleriyle şebeke frekansındaki fazörlerle çalışacak şekilde geliştirilmiştir. Akım ve gerilim fazörlerini elde etmek için arıza kaydediciden alınan sinyallere ayrık fourier dönüşümü (DFT) uygulanarak dijital filtreleme yapılmıştır [5]. Yöntemin bilgisayar yardımıyla geliştirilmesinde pratikte gerilim ve akım sinyallerinin hattan alınmasında kullanılan voltaj ve akım transformatörlerinden kaynaklanan hatalar, A/D çevrimden kaynaklanan arabirim ve örnekleme hataları dikkate alınmıştır. Böylece geliştirilen yöntemin mümkün olduğunca gerçek hayata yakın olmasına çalışılmıştır.

## 4. Performans Değerlendirmesi

### 4.1 Arıza Tipi ve Yerinin Etkisi



(a) Gerilim dalga şekilleri



(b) Akım dalga şekilleri

Şekil 4 Tipik primer dağıtım sistemi dalga şekilleri

Şekil 3'te görülen enerji dağıtım sisteminde (hat sonu beslemesiz sistem) 3. ve 4. yük noktaları arasında (P ucundan 16.7km. uzaklıkta) meydana gelen faz(a)-toprak arızası için akım ve gerilim örnekleri Şekil 4'te verilmiştir. Dalga şekillerindeki yüksek frekans ve DC off-setin varlığı ana fazörlerin elde edilmesinde filtrelemenin gerekliliğini göstermektedir. Şekil 5'te elde edilen gerilim farkının dağıtım sistemine hat boyunca sistematik olarak uygulanmasıyla elde edilen sağlam fazlardaki ('b' ve 'c') ve arızalı 'a' fazındaki arıza yol akımlarında meydana gelen değişimler görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, yanlış arıza noktalarında sağlam fazlara ait arıza yol akımları yükselirken, gerçek arıza noktasında minimum değeri almaktadır. Arızalı fazın arıza yol akımı ise belirgin bir şekilde sağlam fazların arıza yol akımlarına göre farklılık göstermektedir. Arızalı faza ait yol akımları, gerilim farklarının uygulandığı tüm noktalarda çok az değişmekte ve çok yüksek değerler almaktadır.

Tablo 1: Arıza yeri ve tipinin doğruluğa etkisi

Arıza Tipi	Gerçek msf.(km)	Bulunan msf.(km)	%Hata	Gerçek msf.(km)	Bulunan msf.(km)	%Hata
a-e	4.50	4.40	-0.36	20.0	20.42	1.53
a-b-c	4.50	4.60	0.36	20.0	20.65	2.36
a-b	4.50	4.70	0.73	20.0	20.75	2.73

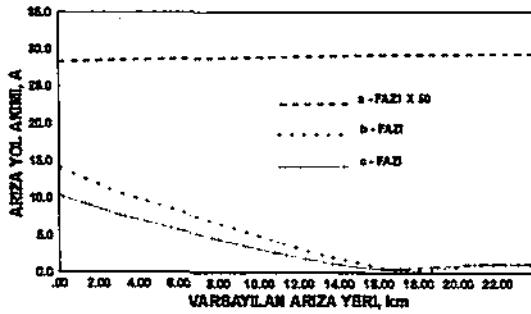
Yöntem diğer arıza tipleri ve yerleri için denenmiş ve sonuçlar Tablo 1'de özetlenmiştir. Arızanın meydana geldiği nokta, ölçümlerin yapıldığı P ucundan (Şekil 3) uzaklaştıkça arıza yer tespitindeki hata da bir artış meydana gelmektedir. Özellikle hat sonuna yakın noktalarda oluşan arızalarda, arıza noktasından görülen empedans artmakta, buna bağlı olarak arıza yol akımları da azalmaktadır. Dolayısıyla ölçü ve izolasyon transformatörleri ile analog/dijital çevrimlerden kaynaklanan hataların etkisi artmaktadır. Yapılan deneylerde, hat sonuna yakın yerlerde meydana gelen arızalarda sağlam fazlardaki arıza yol akımlarının minimum noktadan sonra hafifçe yükseldiği gözlenmiştir.

Değişik arıza tiplerini karşılaştırdığımızda, Tablo 1'den görüldüğü gibi iki değişik arıza yeri için faz-toprak arızasından faz-faz-toprak ve faz-faz arızalarına göre daha yüksek doğruluk elde edilmiştir.

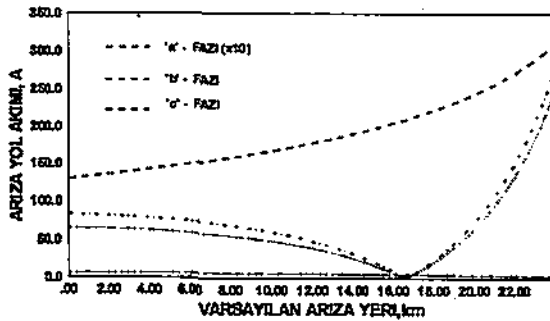
### 4.2 Hat Sonu Beslemesinin Etkisi

Günümüzün enerji ihtiyaçları doğrultusunda giderek daha fazla özel sektöre ait generatör dağıtım hatlarına bağlanmaktadır. Özellikle ülkemizdeki enerji darboğazının aşılmasında ve işletmelerdeki atıl enerji kaynaklarının değerlendirilmesinde bu durumun devam etmesi beklenmektedir. Bu gelişmeler ışığında, yöntemin performansını enerji

dağıtım sisteminin sonunda bir kaynağın bulunması durumunda test etmek gerekir. Bunun için Şekil 3'te görülen enerji dağıtım sistemi hat sonuna kaynak bağlanarak kullanılmıştır. Şekil 6'da P ucundan 16.7km uzaklıkta oluşturulan faz(a)-toprak arızası için fazlara ait arıza yol akımları görülmektedir. Önceki çalışmada kullanılan hat sonu beslemesiz dağıtım sistemi gibi burada da gerçek arıza noktasında, sağlam fazlara ait arıza yol akımları en düşük değeri almaktadır. Fakat arıza noktasından sonra sağlam fazlara ait arıza yol akımları hızla artmaktadır. Buna bağlı olarak Şekil 6'da görüldüğü gibi hat sonu beslemeli sistemde arıza yeri daha yüksek bir doğrulukla bulunmaktadır. Bu yöntemde, hat sonu beslemeli dağıtım sistemi için elde edilen doğruluk daima daha yüksektir. Bu durum geliştirilen yöntemi özellikle hat sonu beslemesinden olumsuz etkilenen klasik arıza yeri tespiti yöntemlerine göre daha avantajlı kılmaktadır.



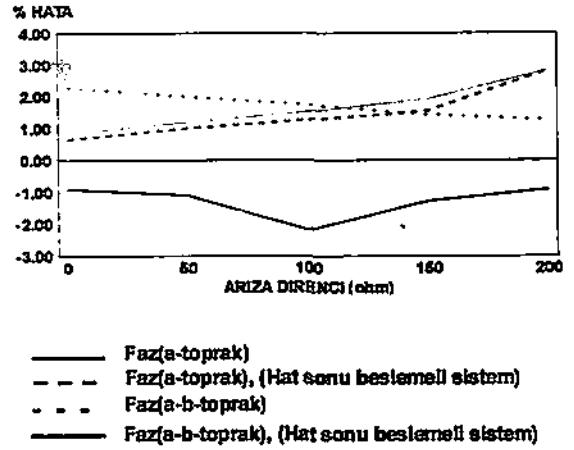
Şekil 5 Hat sonu beslemesiz sistemde meydana gelen faz(a)-toprak arızası için arıza yol akımları.



Şekil 6 Hat sonu beslemeli sistemde meydana gelen faz(a)-toprak arızası için arıza yol akımları.

#### 4.3 Arıza Empedansı Etkisi

Enerji iletim ve dağıtım sistemlerinde genellikle arıza empedansının reaktif bileşeni sıfırdır [6]. Şekil 7'de P noktasından 16.7km uzaklıkta faz-toprak ve faz-faz-toprak arızası için elde edilen hata yüzdeleri verilmiştir. Eğrilerden görüldüğü gibi özellikle faz-faz-toprak arızasında oldukça yüksek doğruluk elde edilmiştir. Bu arıza tipinde, temas direncinin artması durumunda arıza, faz-faz arızasına benzemektedir.



Şekil 7 Arıza direncinin doğruluğa etkisi

Faz-toprak arızasında özellikle hat sonu beslemesinin olmaması durumunda ve temas direnci  $100\Omega$ 'u geçtikten sonra arıza noktasının saptanmasındaki hatada küçük bir artış meydana gelmektedir. Buna rağmen genel olarak deneylerden elde edilen genel sonuçlara göre yöntem klasik yöntemlere göre çok daha avantajlıdır.

#### 4.4 Yüklerdeki Değişimin Etkisi

Pratikte, enerji dağıtım hattına bağlı yükler ve kaynak kapasitesi günün saatlerine göre değişiklik gösterirler. Dolayısıyla herhangi bir arıza sonrası elde edilen verilerin bu yöntemle değerlendirilmesinde kaynak ve yük kapasitelerinin yaklaşık olarak tahmin edilmesi gerekir. Kaynak ve yük kapasitelerinin tahmin edilmesi gibi algoritma dışı hataların arıza yeri tespitine katkıda bulunacağı hata payının bilinmesi gerekir. Bu çalışmada Şekil 3'te görülen hat sonu beslemesiz sistemde P noktasından 8.4km uzaklıkta çeşitli arıza tipleri için akım ve gerilim verileri üretilerek arıza yeri tespit edilmiştir.

Tablo 2: Yük kapasite tahmininin doğruluğa etkisi

Arıza Tipi	Yük hatası	Gerçek mesafe(km)	Bulunan mesafe(km)	%Hata
a-c	$\pm\%5$	8.40	8.08	-1.33
a-b	$\pm\%5$	8.40	7.80	-2.51
a-b-c	$\pm\%5$	8.40	8.25	-0.63
a-c	$\pm\%10$	8.40	7.68	-3.01
a-b	$\pm\%10$	8.40	7.50	-3.76
a-b-c	$\pm\%10$	8.40	7.90	-2.09

Tablo 2'de yüklerde meydana gelebilecek %5 ve %10'luk kapasite tahmin hataları için elde edilen sonuçlar verilmektedir. Sonuçlardan görüldüğü gibi çeşitli kapasite tahminleri için, kapasite tahminindeki hata yüzdesi arttıkça arıza yeri tespitindeki hata da artmaktadır. Fakat bu artış çeşitli arıza tipleri için çok düşük kalmaktadır. Yukarıdaki sonuçlar, geliştirilen yöntemin pratik dağıtım

hattından elde edilen verilere uygulanmasında oldukça kullanışlı ve güvenilir olduğunu göstermektedir.

## 5. Sonuç

Burada, radyal havaî enerji dağıtım hatlarında arıza yeri tespiti için geliştirilen yeni bir yöntem anlatılmıştır. Yöntem, arıza öncesi ve sonrası elde edilen akım ve gerilimin farkının alınmasına dayanmaktadır. Arıza akım ve gerilim sinyallerinin faz değerlerinin elde edilmesinde özel filtreleme teknikleri kullanılmıştır. Yöntemde kullanılan interaktif yaklaşım, enerji dağıtım hattı üzerinde çeşitli yük noktaları ve hat sonu beslemesi bulunması durumunda karşılaşılan çeşitli sistem ve arıza şartlarında yüksek doğrulukla arıza yerini saptamaktadır.

## 6. KAYNAKLAR

1. A.A. Girgis, Christopher M. Fallon, David L. Lubkeman: "A fault location technique for rural distribution feeders.", *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 29, No.6, November 1993, pp.1170-1175.
2. A.A. Girgis, Christopher. M Fallon: "Fault location techniques for radial and loop transmission systems using digital fault recorded data", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 7, No.4, October 1992, pp 1936-1945.
3. R. Das, M.S. Sachdev, T. S. Sidhu: "A technique for estimating location of shunt faults on distribution lines.", *Proc IEEE, Wescanex'95*.
4. A.T. Johns, L.L. Lai, M. El-hami and D.J. Daruvala: "A new approach to directional fault locator for overhead power distribution feeders". *IEE Proceedings*, Pt. C, vol.138, July 1991, 351-357.
5. R.K. Aggarwal, D.V. Coury, A.T. Johns and A. Kalam: "A practical approach to accurate fault location on extra high voltage teed feeders". *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol 8, No.3, July 1993, pp 874-883.
6. Westinghouse Electric Corporation: *Electrical Transmission and Distribution Reference Book*, East Pittsburgh, 1964.