

ORTA GERİLİM ENERJİ DAĞITIM TALİ HATLARINDA ARIZA ANALİZİ

Yılmaz ASLAN¹

Şebnem TÜRE²

^{1,2}Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fak., Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, 43100, Kütahya

¹e-posta: yaslan@dumlupinar.edu.tr

²e-posta: sebnemtüre@mynet.com

Anahtar Kelimeler : Enerji Dağıtım Hatları, Arıza Tespiti, Arıza Akımları.

ABSTRACT

In this study, a digital fault location and monitoring technique using fibre-optics for radial overhead power distribution lines is presented. This technique employs pre-fault and post-fault current and voltage information along with data from laterals. In this method a knowledge based algorithm is incorporated to the superimposed components based fault location and monitoring algorithm to locate shunt faults in radial power distribution lines with load taps. By using lateral current data transferred through fibre-optic communication lines to the substation, the possibility of multiple fault point locations are eliminated. The effectiveness of this method is verified through Electromagnetic Transients Program (EMTP) simulations.

1. GİRİŞ

Ana ve bu hatta bağlı tali hatlardan oluşan orta gerilim (OG) enerji dağıtım havai hatları, elektrik enerjisinin üretim merkezlerinden tüketicilere ulaştırılmasında önemli bir işleve sahiptirler. Dağıtım hatlarının sonunda kojenerasyon bulunması, hattan çekilen enerjinin günün belli saatlerine göre değişiklik göstermesi, hat düzeninin ana ve tali hatlar için farklı olması arıza akımlarının hesaplanmasını oldukça karmaşık hale getirmektedir [1].

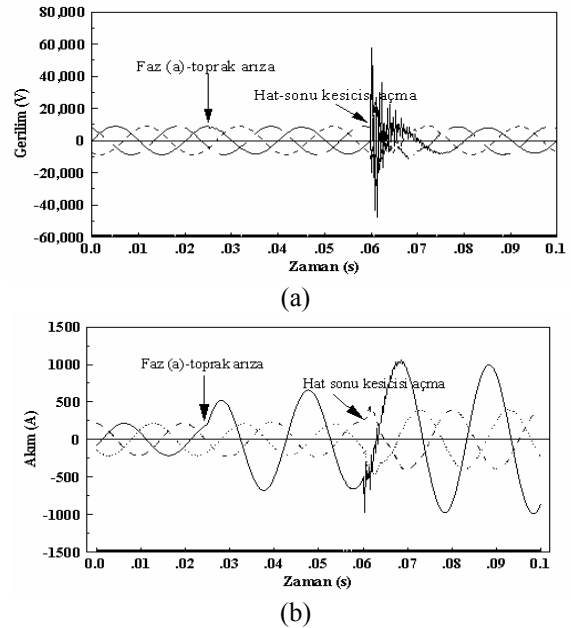
Dağıtım hatlarında meydana gelen arızalar şönt ve açık devre olmak üzere ikiye ayrılırlar. Açık devre arızalar hattın kopmasıyla, şönt arızalar ise (faz-toprak, faz-faz ve faz-faz-toprak) kısa devre sonucu oluşurlar. Bu hatlarda yapılan ölçümler şönt arızaların 2-3 günde bir meydana geldiğini göstermektedir. Şönt arızaların yaklaşık olarak %75'ini faz-toprak arızaları oluşturmaktadır [2].

Enerji dağıtım hatlarında, hat başından kaydedilen akım ve gerilim değerleri, arıza yeri tespitinde bazen arızanın ana veya tali hatta olması durumunda da aynı empedans değerini verebilmektedir [3]. Bu durumda tali hatlara bağlı sigorta ve tekrar kapayıcı gibi elemanların karakteristikleri incelenerek tali hatlarda oluşan arızaların yeri tespit edilebilir. Ancak tali hatların yer altı kablosu ile havai hatlardan oluşması, tekrar kapama yapılamaması, kullanılan sınırlı

sayıdaki sigorta ve koruma elemanı karakteristiklerinin birbirine yakın veya aynı olması tali hatlarda oluşacak arızaların saptanmasını iyice zorlaştırmaktadır.

2. TALİ HATLARDA ARIZA BULMA ALGORİTMASI

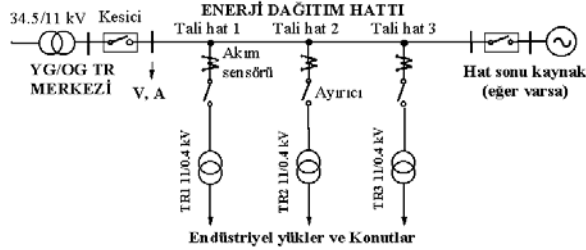
Bu çalışmada ana ve tali hatlardan oluşan bir radyal enerji dağıtım hattında tali hatlarda oluşan şönt arızaların yerleri tespit edilmiştir. Şekil 1(a) ve 1(b)'de arıza anında hat başından dijital arıza kaydedici (DAK) tarafından kaydedilen akım ve gerilim dalga şekilleri görülmektedir.



Şekil 1. Hatbaşında kaydedilen akım ve gerilim dalga şekilleri.

Arıza yeri tespitinde; arıza öncesinde, arıza anında ve sonrasında kaydedilen toplam 200 ms'lik akım ve gerilim değerleri kullanılmıştır. Şekil 2.'den görüldüğü gibi tali hatların başlarında bulunan akım sensörleri yardımıyla arızalı olan tali hat bulunur ve o anki akım ve gerilim örnekleri DAK tarafından kaydedilir. Bu değerler kullanılarak arızalı tali hattın başındaki akım ve gerilim fazörleri hesaplanır. Hattın

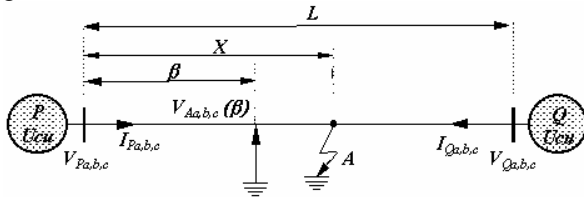
sonunda herhangi bir kaynak bulunması durumunda hattın sonundaki kesiciye ani açtırma yaptırılarak hat sonu kaynak akımının etkisi ortadan kaldırılmıştır. Arızalı tali hat başındaki akım ve gerilim fazörlerine *Bileşenler Farkı Yöntemi* uygulanarak tali hatta arızanın yeri bulunur. Bu metotla arıza yeri tespiti hesabında, arıza öncesi yük akımlarından kaynaklanan hatalar yok edilmiştir [4-6].



Şekil 2. Ana ve tali hatlardan oluşan enerji dağıtım hattı.

2.1. Bileşenler Farkı Yöntemi

Bileşenler farkı yöntemini daha iyi açıklayabilmek için Şekil 3.'te tali hat ve yüklerin ihmal edildiği bir dağıtım hattının modeli verilmiştir. Burada A arıza noktasını, X arıza noktasının P ucuna uzaklığı, β varsayılan arıza noktasının P ucuna mesafesini (kilometre), $I_{Pa,b,c}$ ve $V_{Pa,b,c}$ sırasıyla P ucundan kaydedilen akım ve gerilim fazörlerini göstermektedir.



Şekil 3. Arızalı dağıtım hattı modeli

Arıza anında, P ucunda kaydedilen akım ve gerilim örnekleri kullanılarak β daki arıza öncesi gerilim;

$$V_{Aa,b,c}(\beta) = -\beta[Z_{abc}]I_{Pa,b,c}(\beta) + V_{Pa,b,c}(\beta) \quad (1)$$

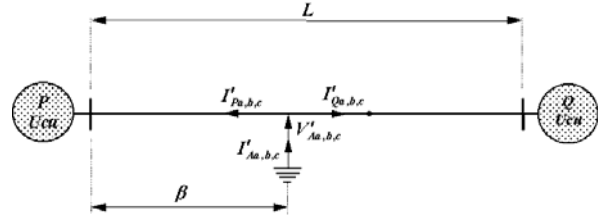
şeklinde bulunabilir. Burada $V_{Aa,b,c}(\beta)$ β noktasındaki arıza öncesi gerilim fazörlerini, $[Z_{abc}]$ hat birim empedans matrisini (ohm/kilometre), $V_{Pa,b,c}(\beta)$ ve $I_{Pa,b,c}(\beta)$, sırasıyla hat başında kaydedilen arıza öncesi akım ve gerilimin fazörlerini göstermektedir. Benzer şekilde β daki arıza anındaki gerilim;

$$V_{Aa,b,c}(\beta) = -\beta[Z_{abc}]I_{Pa,b,c}(\beta) + V_{Pa,b,c}(\beta) \quad (2)$$

olarak bulunabilir. Burada $V_{Aa,b,c}(\beta)$ ve $I_{Pa,b,c}(\beta)$ sırasıyla P ucunda arıza anında (kesici açmadan hemen önce) kaydedilen gerilim ve akım fazörlerini göstermektedir. β noktasında hatta uygulanacak gerilimler farkı $V'_{Aa,b,c}$;

$$V'_{Aa,b,c}(\beta) = V_{Aa,b,c}(\beta) - V_{Aa,b,c}(\beta) \quad (3)$$

eşitliği ile bulunabilir. Şekil 4.'te arıza noktasına gerilim farklarının uygulanması gösterilmiştir. Burada $V'_{Aa,b,c}$ varsayılan arıza noktası β 'ya uygulanan gerilim farklarını, $I'_{Pa,b,c}$ bu noktadaki fark akımlarını, $I'_{Qa,b,c}$ bu noktadan P ucuna akan fark akımlarını, $I'_{Qa,b,c}$ ise bu noktadan Q ucuna akan fark akımlarını göstermektedir.



Şekil 4. Varsayılan arıza noktasına gerilim farklarının uygulanması.

β noktasından P ucuna akan akım farkı $I'_{Pa,b,c}$;

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

ve Q ucuna akan akım farkı $I'_{Qa,b,c}$ ise;

$$I'_{Qa,b,c} = [(L - \beta)[Z_{abc}] + [Z_{SR}]]^{-1}[V'_{Aa,b,c}(\beta)] \quad (5)$$

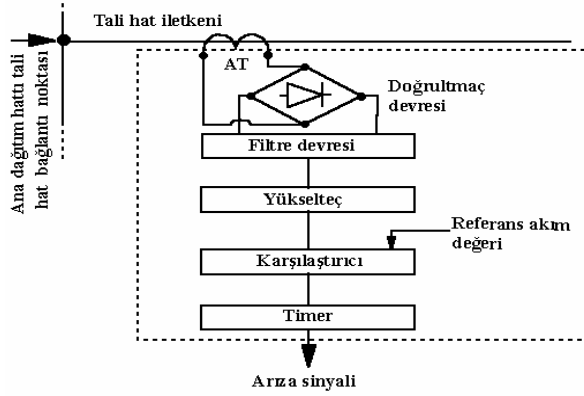
şeklinde bulunur. Burada, L kilometre olarak hattın uzunluğunu ve $[Z_{SR}]$ hat sonu kaynak empedans matrisini göstermektedir. β noktasındaki arıza yol akımları;

$$I'_{Aa,b,c} = I'_{Pa,b,c} + I'_{Qa,b,c} \quad (6)$$

olarak yazılabilir. Geliştirilen yöntemle göre β arıza noktası sistematik olarak kaydırılarak $I'_{Aa,b,c}$ değerleri kontrol edilmektedir.

2.2. Akım Sensörü

Tali hatlarda oluşan arızaların bulunması için toprak arızası için geliştirilen akım sensörü kullanılmıştır [7]. Bu amaçla aşırı akım röleleri veya tekrar kapayıcı gibi koruma elemanları için daha önce hatta bağlanan akım transformatörlerinden yararlanılmıştır. Şekil 5.'ten görüldüğü gibi, aşırı akım sensöründe akım transformatöründen elde edilen giriş akımı doğrultulup filtre edildikten sonra referans akım değeri ile karşılaştırılmaktadır. Sensör giriş akım değeri belirli bir süre (20 ms) referans akımı seviyesinden yüksek kalıyorsa, bağlı bulunduğu tali hat için ana istasyona bir arıza sinyali gönderir. Gelen sinyale göre ana hat başında bulunan DAK tarafından kaydedilen arıza akım ve gerilim örnekleri kullanılarak arızalı tali hattın başındaki akım ve gerilim değerleri hesaplanır. Bu değerler Bileşenler Farkı Yöntemi'yle değerlendirilerek tali hattaki arıza yeri bulunur. Böylece ana istasyondan kaydedilen veriler kullanılarak sinyalin gönderildiği tali hat başındaki akım ve gerilim fazörleri hesaplanır.



Şekil 5. Akım sensörü blok diyagramı

2.3 OG/AG İstasyonu İle Tali Hat Bağlantı Noktaları Arası Haberleşme

Enerji dağıtım istasyonları ve kontrol merkezlerinde haberleşme amacıyla koaksiyel kablo, mikro dalga, enerji hatları vb. gibi birçok alternatif bulunmaktadır. Burada haberleşme amacıyla elektromanyetik alanlardan etkilenmedikleri ve yüksek kapasitelerinden dolayı fiber optik hatlar tercih edilmiştir. Yerel bağlantı ağı için yıldız şebeke, veri iletiminde ise enerji sistemlerinde en çok tercih edilen half-duplex sistemi öngörülmüştür [8].

2.4. Akım ve Gerilim Fazörlerinin Elde Edilişi ve Arayüz Hataları

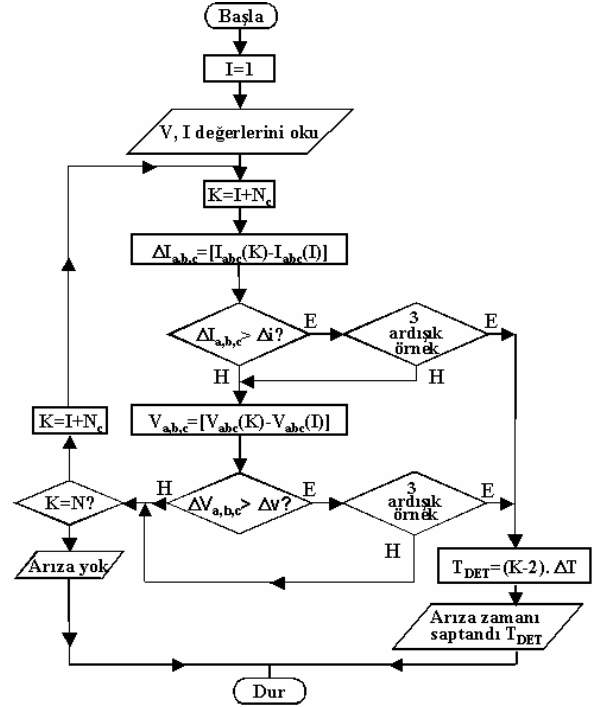
Geliştirilen metod, ölçüm yapılan baradan alınan akım ve gerilim işaretlerinden elde edilen fazörler ile çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Akım ve gerilim transformatörlerinden (AT ve GT) elde edilen altı analog işaret, mikroişlemci tabanlı donanım sayesinde devamlı olarak kaydedilmektedir. Bu aşamada analog-dijital çevirici (ADC) analog işaretleri ayrık zamanlı değerlere dönüştürmektedir. Arıza anında, DAK tarafından kaydedilen akım ve gerilim bilgileri kullanılarak arıza oluş zamanı, arıza tipi ve arıza yol akımları hesaplanmaktadır.

Uygulamada AT ve GT'lerin frekans tepkileri ile analog arayüz birimlerinden kaynaklanan hatalar, antialiasing filtrelerinin tepkileri ile analog-dijital çevirimden kaynaklanan kuantalama hataları, bu birimlerin modelleri bilgisayar benzetime dahil edilmek suretiyle dikkate alınmıştır. EMTP bilgisayar benzetiminden elde edilen akım ve gerilim verileri ayrıca 12-bit çözünürlükte (4 kHz de) örneklenmiştir. Böylece elde edilecek sonuçların daha gerçekçi olması sağlanmıştır.

2.5 Arıza Oluş Zamanı Tespiti

OG hattının bağlı olduğu dağıtım istasyonundaki DAK, akım ve gerilim sensörlerini kullanarak akım ve gerilim değerlerini sürekli kaydetmektedir. DAK'daki buffer 10 periyotluk bilgiyi sürekli olarak muhafaza etmektedir. Şekil 6.'da arıza oluş zamanı algoritması görülmektedir. Arıza oluş zamanının tespiti için bir periyotluk akım örnekleri sürekli olarak bir önceki

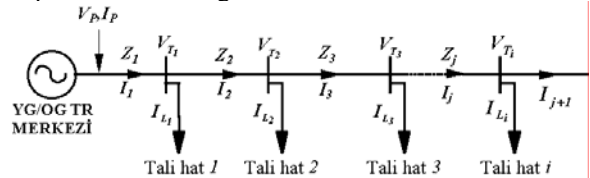
periyottaki akım örnekleri ile karşılaştırılmaktadır. Ardışık iki periyottaki karşılıklı üç akım örneği için değişim %40 ve daha fazla ise aynı işlem gerilim örneklerine de uygulanmakta ve arıza oluş zamanı belirlenmektedir.



Şekil 6. Arıza oluş zamanı tespiti algoritması (N toplam örnek sayısı, N_c periyottaki örnek sayısı, Δv, Δi V ve I için eşik seviyesi, ΔT zaman aralığı).

2.6 Admitans Matrislerinin Elde Edilmesi

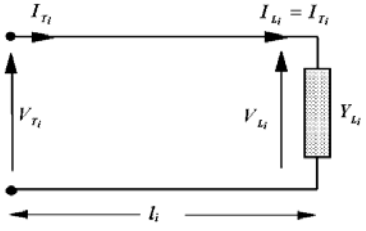
Şekil 7.'de bir radyal enerji dağıtım hattı ve bu hatta bağlı tali hatlar görülmektedir. Burada V_p ve I_p hat başından elde edilen akım ve gerilim fazörlerini, V_{Ti} i. tali hat bağlantı noktasındaki gerilimi, I_{Li} i. Tali hattın akımını, I_j ise ana hattın j. kısmından akan akımı, Z_j ise iki tali hat arasında kalan ana hattın empedans matrisini göstermektedir.



Şekil 7. Radyal enerji dağıtım hattı

Enerji dağıtım hattında bir arıza meydana geldiğinde varsayılan arıza noktasından hattın her iki ucuna doğru görülen empedanslar, hat sonuna bağlanması olası kojenerasyon dikkate alınarak kaynak [5]'te açıklandığı gibi hesaplanmıştır. Şekil 8.'de ise dağıtım hattına bağlı bir tali hat modeli görülmektedir. Burada, V_{Li} ; i. tali hattına bağlı yükün gerilimini, I_{Li} akımını,

Y_{L_i} bu yüke ait admitans matrisini, l_i ise tali hattın uzunluğunu göstermektedir.



Şekil 8. Tali hat modeli

Tali hat başındaki gerilim V_{T_i} ,

$$[V_{T_i}] = l_i [Z_{T_i}] [I_{L_i}] + [V_{L_i}] \quad (7)$$

şeklinde bulunur. Burada $[Z_{T_i}] = [Y_{T_i}]^{-1}$ olmak üzere i . tali hattın empedans matrisidir (Ω /birim uzunluk). Yük akımı I_{L_i} ;

$$[I_{L_i}] = [I_{T_i}] = [Y_{L_i}] [V_{L_i}] \quad (8)$$

olarak (7)'de yerine konulduğunda

$$[V_{T_i}] = [U + l_i [Z_{T_i}] [Y_{L_i}]] [V_{L_i}] \quad (9)$$

şeklinde bulunur. Eşitlik (9)'dan V_{L_i} çekilip (8)'de yerine konulursa i . tali hat akımı I_{T_i} ;

$$[I_{T_i}] = [Y_{L_i}] [U + l_i [Z_{T_i}] [Y_{L_i}]]^{-1} [V_{T_i}] = [Y_{E_i}] [V_{T_i}] \quad (10)$$

elde edilir. Burada i . tali hattın ana hat bağlantı noktasından görünen admittans matrisi,

$$[Y_{E_i}] = [Y_{L_i}] [U + l_i [Z_{T_i}] [Y_{L_i}]]^{-1} \quad (11)$$

olarak yazılabilir.

2.7 Tali Hat Başlarında Akım ve Gerilimler

Şekil 7.'de görülen dağıtım sisteminde tali hat i başındaki gerilimler,

$$[V_{T_i}] = [V_P] - \sum_{j=1}^i [Z_j] [I_j] \quad (12)$$

olarak yazılabilir. Tali hatlar arasında kalan ana dağıtım hattından geçen akım ise yük akımları dikkate alınarak eşitlik (13)'teki gibi hesaplanabilir.

$$[I_i] = [I_P] - \sum_{j=1}^{i-1} [I_{L_j}] \quad (13)$$

Arızasız tali hatlardaki arıza öncesi ve sonrası akımlar,

$$[I_{L_i}] = [I_j] - [I_{j+1}] \quad (14)$$

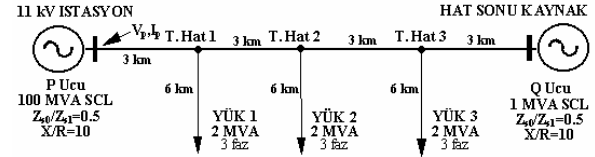
şeklinde ve herhangi bir tali hatta arıza olması durumunda arıza anındaki hat akımı ise,

$$[I_{L_i}] = [I_i] - [V_{T_i}] [Y_{E_{R_i}}] \quad (15)$$

olarak bulunur. Yukarıdaki eşitlikte $Y_{E_{R_i}}$ i . tali hat bağlantı noktasından hat sonuna doğru görülen empedansı (bu noktadaki tali hat empedansı hariç) göstermektedir.

3. UYGULAMA

Geliştirilen yöntem Şekil 9.'da görülen dağıtım sisteminin bilgisayarda benzetimi yapılarak test edilmiştir. Benzetimi yapılan dağıtım sisteminde yatay hat düzeni kullanılmış ve iletkenler arası mesafe 0.6 m alınmıştır. Benzetimden elde edilen akım ve gerilim örnekleri kullanılarak arızalı tali hattın ana istasyona olan mesafesi hesaplanmıştır. Yöntemin güvenilirliği değişik kaynak kapasiteleri, arıza tipleri ve arıza direnci için test edilmiştir.



Şekil 9. 11kV Enerji dağıtım sistemi

Şekil 9'daki dağıtım sisteminde hat sonuna bağlı kaynak devre dışı edilerek 1. tali hatta çeşitli arızalar oluşturulduğunda elde edilen değerler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. 1 numaralı tali hatta meydana gelen şönt arızalar için gerçek ve hesaplanan arıza yerleri (Hat sonu kaynak yok).

Arıza tipi	(R _A) Arıza Direnci (Ω)	Gerçek mesafe (km)	Hesaplanan mesafe (km)	% Hata
a-e	2.0	3.0	3.13	2.16
a-e	20.0	3.0	3.28	4.67
a-e	50.0	3.0	3.53	8.83
a-b-e	2.0	3.0	2.80	3.33
a-b	2.0	3.0	3.00	0.00

Çizelge 1'deki sonuçlardan faz-toprak arızalar için arıza direncinin artışına bağlı olarak hata miktarının da arttığı görülmektedir. Ancak, 50.0 Ω luk arıza direncine karşılık meydana gelen hata %8.83 civarında kalmaktadır. Faz-faz-toprak ve faz-faz arızalarındaki hata oldukça düşüktür. Şekil 9.'daki dağıtım hattının sırasıyla 2. ve 3. tali hatlarında arızalar oluşturulduğunda elde edilen değerler Çizelge 2 ve 3'te verilmiştir. Çizelge 2'den görüleceği gibi özellikle faz toprak arızasında arıza direncinin artmasıyla birlikte ölçümdeki hatanın artmasının beklenmesine karşılık, arıza noktasında sağlam faz arıza yol akımlarının minimum olduğu değerler birbirinden uzaklaşmaktadır. Bu noktaların aritmetik ortalaması alındığında hata düşebilmektedir. Faz-faz arızasında ise hatanın nispeten yüksek çıkmasının

nedeni sağlam fazlar için hesaplanan arıza yol akımlarının çok düşük seyretmesi ve arayüz ile çevrim hatalarından daha çok etkilenmeleridir.

Çizelge 2. 2 numaralı tali hatta meydana gelen şönt arızalar için gerçek ve hesaplanan arıza yerleri

Arıza tipi	(R _A) Arıza Direnci (Ω)	Gerçek mesafe (km)	Hesaplanan mesafe (km)	% Hata
a-e	2.0	3.0	3.20	3.33
a-e	20.0	3.0	3.15	2.50
a-e	50.0	3.0	2.92	1.33
a-b-e	2.0	3.0	3.10	1.65
a-b	2.0	3.0	2.70	5.00

Çizelge 3. 3 numaralı tali hatta meydana gelen şönt arızalar için gerçek ve hesaplanan arıza yerleri

Arıza tipi	(R _A) Arıza Direnci (Ω)	Gerçek mesafe (km)	Hesaplanan mesafe (km)	% Hata
a-e	2.0	3.0	3.23	3.83
a-e	20.0	3.0	3.30	5.00
a-e	50.0	3.0	3.55	9.15
a-b-e	2.0	3.0	3.30	5.00
a-b	2.0	3.0	2.50	8.33

Şekil 9.'daki dağıtım hattı sonundaki kaynak kısa devre seviyesi (SCL) sırasıyla 10 MVA ve 100 MVA değerlerine çıkarılarak arızalar tekrar edildiğinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4 ve 5'te verilmiştir. Sonuçlardan aynı tür arızalar için ölçme hatalarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Bunun nedeni arıza anında hat sonundaki kesiciye ani açtırma yaptırılarak hattın sonundaki kaynak devre dışı edilmektedir. Dolayısıyla hattın sonundaki kaynağın arıza akımlarına yapacağı etki ortadan kaldırılmaktadır. Yapılan testler, hat sonu kaynak devre dışı edildikten en az 40 ms sonra arıza sonrası akım ve gerilim ölçümlerinin yapılması gerektiğini göstermiştir.

Çizelge 4. 3 numaralı tali hatta meydana gelen şönt arızalar için gerçek ve hesaplanan arıza yerleri (Hat sonu kaynak SCL 10 MVA)

Arıza tipi	(R _A) Arıza Direnci (Ω)	Gerçek mesafe (km)	Hesaplanan mesafe (km)	% Hata
a-e	2.0	3.0	3.25	4.15
a-e	20.0	3.0	3.30	5.00
a-b-e	2.0	3.0	3.30	5.00
a-b	2.0	3.0	2.50	8.33

Çizelge 5. 3 numaralı tali hatta meydana gelen şönt arızalar için gerçek ve hesaplanan arıza yerleri (Hat sonu kaynak SCL 100 MVA)

Arıza tipi	(R _A) Arıza Direnci (Ω)	Gerçek mesafe (km)	Hesaplanan mesafe (km)	% Hata
a-e	2.0	3.0	3.28	4.65
a-e	20.0	3.0	3.33	5.50
a-b-e	2.0	3.0	3.30	5.00
a-b	2.0	3.0	2.50	8.33

4. SONUÇ

Bu çalışmada Bileşenler Farkı Yöntemi kullanılarak orta gerilim enerji dağıtım tali hatlarında arıza yeri tespiti yapılmıştır. Yöntemin performansı, bilgisayar benzetimi ile yapılan uygulamalarda test edilerek

görülmüştür. Geliştirilen bu yöntemin, özellikle tali hat uzunluklarının ana hat uzunluğuyla kıyaslanabilir olan dağıtım sistemlerinde daha işlevsel ve ekonomik olarak uygulanabileceği görülmektedir. Uygulanan algoritma çevrim dışı (off-line) olduğu için arıza anında haberleşme kanallarından kaynaklanabilecek gecikmeler sakınca yaratmayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Cook V. *Fundamental Aspects of Fault Location Algorithm Used in Distance Protection*, IEE Proceeding, No.133,Pt.5, pp359-368 (1986)
- [2] Gönen, T. *Electric Power Distribution System Engineering*, Text Book, McGraw-Hill, (1986)
- [3] Zhu J., Lubkeman L David, Girgis A.A. *Automated Fault Location and Diagnosis on Electric Power Distribution Feeders*, IEEE Winter Meeting, 1996
- [4] Aslan Y., Aggarwal R.K., Johns A.T. *Fault Location in Overhead Distribution Systems Using Superimposed Components*, 30th Universities Power Engineering Conference 1995 at University of Greenwich, UK, September, (1995)
- [5] Aggarwal R. K. Aslan Y. Johns A. T. *A New Concept in Fault Location for Overhead Distribution Systems Using Superimposed Components*, IEE Proc. C, May, 144 (3), pp 309-316 (1997)
- [6] Johns A. T., Moore P. J., Whittard R. *New Technique for the Accurate Location of Earth Faults on Transmission Systems*, IEE Proc. C, March, 142 (2), pp 119-127 (1995)
- [7] Kakimoto H., Hayashi T., Handa H., Yukihiro K., Okamura Y., ve Odaka N. *Development of Automatic Fault Point Locating and Sectional Isolating System for Power Distribution Line*, Electrical Engineering in Japan, Vol.115, No.5, 1995, pp 75-87.
- [8] Moore.P J. *Power System Protection*, vol.4: Digital protection and signalling, The Institution of Electrical Engineers, (1997)