

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**

**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**ARAŞTIRMA PROBLEMLERİ**

**DAĞITIK SİSTEMLER**

**YILMAZ DİKİLİTAŞ**

**KOCAELİ 2021**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**

**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**ARAŞTIRMA PROBLEMLERİ**

**DAĞITIK SİSTEMLER**

**YILMAZ DİKİLİTAŞ**

**Dr. Öğr. Üyesi Orhan BULUT**  
**Danışman, Kocaeli Üniv.**

.....

**Prof. Dr. Cihan DURAN**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**

.....

**Doç. Dr. Ömür HAN**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**

.....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 02.06.2021**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması,.....amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmamda desteğini esirgemeyen, çalışmalarına yön veren, bana güvenen ve yüreklendiren danışmanım ..... sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın tüm aşamalarında bilgi ve destekleriyle katkıda bulunan hocam..... teşekkür ediyorum.

Tez çalışmamda gösterdiği anlayış ve destek için sayın..... teşekkürlerimi sunarım. AP-DAĞITIK-YD-21

Hayatım boyunca bana güç veren en büyük destekçilerim, her aşamada sıkıntılarımı ve mutluluklarımı paylaşan sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Haziran – 2021

Yılmaz DİKİLİTAŞ

Bu dokümandaki tüm bilgiler, etik ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilip sunulmuştur. Ayrıca yine bu kurallar çerçevesinde kendime ait olmayan ve kendimin üretmediği ve başka kaynaklardan elde edilen bilgiler ve materyaller (text, resim, şekil, tablo vb.) gerekli şekilde referans edilmiş ve dokümanda belirtilmiştir.

Öğrenci No: 170201103

Adı Soyadı: Yılmaz DİKİLİTAŞ

İmza:.....

## İÇİNDEKİLER

|   |      |
|---|------|
| ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....   | i    |
| İÇİNDEKİLER .....   | ii   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....  | iii  |
| TABLOLAR DİZİNİ .....   | iv   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....  | v    |
| ÖZET.....   | vii  |
| ABSTRACT.....   | viii |
| GİRİŞ .....   | 1    |
| 1. SAYISAL KORUMADA TEMEL KAVRAMLAR .....   | 3    |
| 1.1. Ayırık İşaretlerin Fazörel Gösterimi .....   | 3    |
| 1.2. Arıza Tipinin Belirlenmesi .....   | 6    |
| 2. İLETİM HATLARINDA EMPEDANSA DAYALI ARIZA YERİ BULMA ALGORİTMALARI.....                                 | 12   |
| 2.1. Tek Bara Ölçümlerini Kullanan Arıza Yeri Bulma Algoritmaları .....                                   | 13   |
| 2.1.1. Basit reaktans algoritması .....   | 13   |
| 2.1.2. Takagi algoritması.....  | 13   |
| 2.1.3. Geliştirilmiş Takagi algoritması.....  | 14   |
| 2.2. İki Bara Ölçümlerini Kullanan Arıza Yeri Bulma Algoritmaları .....                                   | 14   |
| 2.1.1. Basit arıza gerilimi eşitliği algoritması .....  | 14   |
| 2.1.2. Asimetrik arıza yeri bulma algoritması.....  | 15   |
| 2.1.3. Negatif bileşenler ile arıza yeri bulma algoritması .....  | 16   |
| 2.1.4. Simetrik arıza yeri bulma algoritması .....  | 17   |
| 3. EMPEDANSA DAYALI ARIZA YERİ BULMA ALGORİTMALARININ FARKLI TEST SİSTEMLERİNDE UYGULANMASI.....          | 20   |
| 3.1. Homojen Test Sistemi.....  | 20   |
| 3.2. Homojen Olmayan Test Sistemi .....   | 24   |
| 3.3. Homojen Olmayan Test Sistemi (Orta Uzun Hat Modeli - Pi Eşdeğer Devresi) AP-DAĞITIK-YD-21 .....      | 28   |
| 4. SERİ KAPASİTÖRLÜ İLETİM HATLARINDA ARIZA YERİ TESPİTİ.....   | 33   |
| 5. SERİ KAPASİTÖRLÜ İLETİM HATLARI İÇİN PERFORMANSA DAYALI ARIZA YERİ BULMA ALGORİTMASI .....             | 37   |
| 5.1. Algoritmanın Temel Arıza Yeri Bulma Algoritmaları İle Karşılaştırması .....                          | 41   |
| 5.2. Seri Kapasitörlü İletim Hatlarını Baz Alan Arıza Yeri Bulma Algoritmalarının Karşılaştırılması ..... | 45   |
| 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....   | 48   |
| KAYNAKLAR .....   | 53   |
| EKLER.....  | 59   |
| KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....  | 68   |
| ÖZGEÇMİŞ .....  | 69   |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Şekil 1.1. | Yinelenen Fourier ifadesi .....   | 5  |
| Şekil 1.2. | Simetrik bileşenlerin gösterimi a) pozitif bileşenler b) negatif bileşenler c) sıfır bileşenler ..... | 7  |
| Şekil 1.3. | Şebekenin a) pozitif bileşen devresi b) negatif bileşen devresi c) sıfır bileşen devresi .....        | 8  |
| Şekil 1.4. | Arıza öncesi, arıza anı ve arıza sonrası durum.....   | 9  |
| Şekil 2.1. | İletim hattında arıza eşdeğer devresi .....   | 12 |
| Şekil 3.1. | Homojen test sistemi .....  | 20 |
| Şekil 3.2. | Homojen olmayan test sistemi .....  | 24 |
| Şekil 3.3. | Homojen olmayan test sistemi( $\pi$ modeli) .....   | 28 |
| Şekil 5.1. | Seri kapasitörlü iletim hattı .....   | 37 |
| Şekil 5.2. | Arıza yerinin S barası ve seri kapasitör arasında olma durumu .....                                   | 38 |
| Şekil 5.3. | Performansa dayalı alınan algoritmanın akış diyagramı .....   | 41 |
| Şekil 5.4. | Seri kapasitörlü test sistemi.....  | 42 |
| Şekil 5.5. | MOV ve seri kapasitörde ki akım değişimi AP-DAĞITIK-YD-21 .....                                       | 43 |

## TABLolar DİZİNİ

|  |    |
|--|----|
| Tablo 1.1. Arıza tiplerine göre pozitif bileşen empedans eşitlikleri.....  | 10 |
| Tablo 3.1. Homojen test sisteminde farklı uzaklıklardaki çeşitli arıza tipleri için yüzde hata oranları .....  | 21 |
| Tablo 3.2. Homojen test sisteminde farklı arıza dirençlerindeki çeşitli arıza tipleri için yüzde hata oranları.....  | 23 |
| Tablo 3.3. Homojen olmayan test sisteminde farklı uzaklıklardaki çeşitli arıza tipleri için yüzde hata oranları.....   | 25 |
| Tablo 3.4. Homojen olmayan test sisteminde farklı arıza dirençlerindeki çeşitli arıza tipleri için yüzde hata oranları .....                                       | 26 |
| Tablo 3.5. Homojen olmayan test sisteminde (orta uzun hat modeli - $\pi$ eşdeğer devresi) farklı uzaklıklardaki farklı arıza tipleri için yüzde hata oranları..... | 29 |
| Tablo 3.6. Homojen olmayan $\pi$ eşdeğer devreli test sisteminde farklı arıza dirençlerindeki çeşitli arıza tipleri için yüzde hata oranları .....                 | 30 |
| Tablo 4.1. Seri kompanzasyonun etkileri ve sonuçları.....  | 33 |
| Tablo 4.2. Seri kompanze edilmiş iletim sistemleri için kullanılan bazı algoritmalar ve özellikleri .....  | 34 |
| Tablo 5.1. Test sistemi parametreleri .....  | 42 |
| Tablo 5.2. Test sisteminin simülasyon parametreleri .....  | 42 |
| Tablo 5.3. Test sisteminin farklı uzaklıklardaki çeşitli arıza tipleri için yüzde hata oranları.....   | 44 |
| Tablo 5.4. Test sisteminin farklı arıza dirençlerindeki faz-faz-toprak arıza tipi için yüzde hata oranları .....   | 45 |
| Tablo 5.5. Seri kapasitörü dikkate alan algoritmaların karşılaştırılması .....   | 46 |
| Tablo 5.6. Seri kapasitörü dikkate alan algoritmaların genel özellikleri AP-DAĞITIK-YD-21 .....  | 47 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|                  |  |
|------------------|--|
| $\alpha_{1,2,3}$ | : Eğim için alınan açı, (°)                                    |
| $\varphi$        | : Açık, (°)  |
| $\theta$         | : Açık, (rad)  |
| $d$              | : Arıza noktasının referans baraya uzaklığı, (%)               |
| $d_{capS}$       | : Seri kapasitörün S barasına uzaklığı, (%)                    |
| $d_{capR}$       | : Seri kapasitörün R barasına uzaklığı, (%)                    |
| $d_S$            | : Arıza noktasının S barasına uzaklığı, (%)                    |
| $d_R$            | : Arıza noktasının R barasına uzaklığı, (%)                    |
| $f_0$            | : İşaretin frekansı, (Hz)                                      |
| $f_S$            | : Örnekleme frekansı, (Hz)                                     |
| $I^0$            | : Sıfır bileşen akımı, (A)                                     |
| $I^1$            | : Pozitif bileşen akımı, (A)                                   |
| $I^2$            | : Negatif bileşen akımı, (A)                                   |
| $I_a$            | : a fazı akımı, (A)  |
| $I_{ab}$         | : a fazı ve b fazı akımları farkı, (A)                         |
| $I_b$            | : b fazı akımı, (A)  |
| $I_{bc}$         | : b fazı ve c fazı akımları farkı, (A)                         |
| $I_c$            | : c fazı akımı, (A)  |
| $I_{ca}$         | : c fazı ve a fazı akımları farkı, (A)                         |
| $I_{cap}$        | : Seri kapasitör üzerinden geçen akım, (A)                     |
| $I_F$            | : Arıza noktasından geçen akım, (A)                            |
| $I_{FR}$         | : Arıza noktasından geçen akımın R barasından gelen kısmı, (A) |
| $I_{FS}$         | : Arıza noktasından geçen akımın S barasından gelen kısmı, (A) |
| $I_{önce}$       | : Arıza öncesi akım, (A)                                       |
| $I_R$            | : R barasından çıkan akımı, (A)                                |
| $I_{ref}$        | : Alınan referans akım, (A)                                    |
| $I_S$            | : S barasından çıkan akımı, (A)                                |
| $I_{süp}$        | : Süperpozisyon akımı, (A)                                     |
| $I_{süp}^*$      | : Süperpozisyon akımının eşleniği, (A)                         |
| $R_F$            | : Arıza noktası empedansı, ( $\Omega$ )                        |
| $X_L$            | : Hat empedansının imajiner bileşeni, ( $\Omega$ )             |
| $x_d''$          | : Senkron makinenin subtransientreaktansı, (pu)                |
| $V^0$            | : Sıfır bileşen gerilimi, (V)                                  |
| $V^1$            | : Pozitif bileşen gerilimi, (V)                                |
| $V^2$            | : Negatif bileşen gerilimi, (V)                                |
| $V_a$            | : a fazı gerilimi, (V)   |
| $V_{ab}$         | : a fazı ve b fazı gerilimleri farkı, (V)                      |
| $V_b$            | : b fazı gerilimi, (V)   |
| $V_{bc}$         | : b fazı ve c fazı gerilimleri farkı, (V)                      |
| $V_c$            | : c fazı gerilimi, (V)   |
| $V_{ca}$         | : c fazı ve a fazı gerilimleri farkı, (V)                      |
| $V_{cap}$        | : Kapasitör öncesindeki bağlantı noktasının gerilimi, (V)      |
| $V_R$            | : R barası (uzak bara) gerilimi, (V) AP-DAGITIK-YD-21          |



|             |  |
|-------------|--|
| $V_{ref}$   | : Alınan referans gerilimi, (V)                                      |
| $V_S$       | : S barası (yakın/referans bara) gerilimi, (V)                       |
| $V_F$       | : Arıza noktası gerilimi, (V)  |
| $Z_{Cap-F}$ | : Seri kapasitör ile arıza noktası arasındaki empedans, ( $\Omega$ ) |
| $Z_L$       | : Hat empedansı, ( $\Omega$ )  |
| $Z_R$       | : R barasından görülen thevenin empedansı, ( $\Omega$ )              |
| $Z_S$       | : S barasından görülen thevenin empedansı, ( $\Omega$ )              |

### Kısaltmalar

|       |   |
|-------|---|
| AC    | : AlternativeCurrent (Alternatif Akım)  |
| ANN   | : ArtificialNeural Networks (Yapay Sinir Ağları)  |
| DDA   | : DeterministicDifferentialApproach (Deterministik Diferansiyel Yaklaşım)                           |
| FACTS | : FlexibleAlternativeCurrentTransmissionSystem (Esnek Alternatif Akım İletim Sistemi)               |
| IEEE  | : TheInstitute of ElectricalandElectronicsEngineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü) |
| Im    | : İmajiner  |
| min   | : Minimum   |
| MOV   | : Metal OxideVaristor (Metal Oksit Varistör)  |
| PMU   | : PhasorMeasurementUnit (Fazör Ölçüm Ünitesi)   |
| R     | : Receiving (Alan)  |
| Re    | : Reel  |
| S     | : Sending (Gönderen)  |
| SC    | : Series Capacitor AP-DAĞITIK-YD-21 (Seri Kapasitör)  |

## DAĞITIK SİSTEMLER

### ÖZET

Bu çalışmanın amacı, iletim hatlarında arıza yeri tespiti için empedansa dayalı algoritmaları incelemek ve seri kompanze edilmiş hatlar için yeni bir algoritma geliştirmektir.

Öncelikle, tek yada iki baradan alınan ölçümleri kullanarak arıza yerini belirleyen temel algoritmalar tanımlanmıştır. Örnek test sistemleri üzerinde sistem ve arızaya ilişkin parametreler değiştirilerek, temel arıza yeri algoritmalarından elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sistem parametreleri hat modeli ve sistemin homojen olup olmama durumlarını kapsarken, arızaya ilişkin parametreler arıza tipi, konumu ve direnci olarak alınmıştır.

Seri kompanze edilmiş iletim hatlarında empedansa dayalı geliştirilmiş temel algoritmaların yeterli olmadığı, bu duruma özel algoritmaların gerekliliği bir uygulama ile gösterilmiştir. Bu özel algoritmalar incelenerek kısaca özetlenmiştir. Buradan hareketle, iletim hatlarında seri kompanzasyon durumunu dikkate alan performansa dayalı yeni bir arıza yeri tespiti algoritması bu tez kapsamında geliştirilmiştir.

Geliştirilen bu algoritma, hat bilgileri ve iki baradan alınan ölçümleri kullanarak iteratif olarak arıza yerini hesaplayan, bütün örneklerdeki sonuçları karşılaştırarak minimum hata ile bir sonuca ulaşan bir algoritmadır. Önerilen algoritma, hem temel algoritmalar hem de seri kompanze edilmiş iletim hatları için tasarlanmış, iki farklı algoritma türü ile çeşitli test sistemleri üzerinde denenmiş, alınan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Test sistemleri DigSILENT üzerinde modellenmiş ve kısıadevre analizleri yapılmış olup, bu sistemden alınan akım ve gerilim bilgileri MATLAB ortamında kodlanan algoritmalar için kullanılmıştır. AP-DAĞITIK-YD-21

**Anahtar kelimeler:** Dağıtık, Sistemler, Dağıtık Sistemler.

## **A NEW APPROACH FOR IMPEDANCE BASED FAULT LOCATION ON TRANSMISSION LINES AP-DAĞITIK-YD-21**

### **ABSTRACT**

Purpose of this study is to examine impedance based algorithms on transmission lines for fault location and to develop a new algorithm for series compensated lines.

First of all, one and two end basic fault location algorithms are described. At a sample test system, results of the basic fault location algorithms are compared by changing system and fault related parameters. The system parameters consist of the line model and the cases of the system being homogeneous or nonhomogeneous while the fault related parameters are considered as fault type, fault location and fault resistance.

In the series compensated transmission lines, inadequacy of the basic impedance based fault location algorithms and necessity of a new particular fault location algorithm are shown by a simulation. The particular algorithms are analyzed and summarized. Then a new performance based algorithm is developed for the series compensated transmission lines in this thesis.

The developed algorithm iteratively estimates the fault location based on the calculated fault voltage and current using two end measurements and the line parameters, the algorithm can compare all the samples to attain a single outcome with minimal error. On the various test systems, the proposed algorithm is examined with two algorithm type, the basic algorithms and the particular algorithms designed for series compensated lines and the results are compared. The test systems are modeled and analyzed on DigSILENT and the gained current and voltage information is used in MATLAB for coded algorithms.

**Keywords:** Distribution, Systems, Distribution Systems.

## GİRİŞ

Güç sisteminde bir arıza oluştuğunda, maddi kayıp ve can kaybı oluşmasını önlemek için, arızalı kısmın/bölgenin sistemden en kısa zamanda ayrılması sağlanmalıdır. Arıza giderildikten sonra, arızaya neden olan etkeni belirleyebilmek için arıza yeri bulunmalıdır. Arıza yeri tespiti için, yakın ya da uzak baradan ölçülen akım ve gerilim değerleri kullanılır. Temel arıza yeri tespiti için, yıllar içerisinde birçok çalışma geliştirilmiştir [1-3]. İlk çalışmalar ağırlıklı, yürüyen dalga algoritmalarını baz almıştır [4-7]. Yürüyen dalga algoritmaları arıza tipi, arıza dirençleri, arıza başlangıç açıları ve kaynak empedansları gibi değişkenlerden etkilenmeyecek şekilde geliştirilmiştir. Ancak yüksek örnekleme frekansı gereksinimi, örnekleme penceresi seçiminde karşılaşılan zorluklar, arıza yeri ve uzak baradan yansıyan dalgaların birbirlerinden ayırt edilmesinde yaşanan zorluklar, yeni algoritma çalışmalarına zemin oluşturmuştur [8]. AP-DAĞITIK-YD-21

Yürüyen dalga algoritmalarında yaşanan zorluklar, tek bara ve iki bara ölçümlerini kullanan empedansa dayalı algoritmaları ön plana çıkarmıştır [9, 10]. Empedansa dayalı algoritmalar, basit olarak hat empedansını gerçek ve hesaplanan değerlerin karşılaştırılmasında baz alarak arıza yerini tespit etmeyi amaçlar [11].

Tek bara ölçümlerini kullanan algoritmalar basit, az maliyetli, uzak baranın etkilerinin arıza yeri tespiti sonuçlarını değiştirmeyeceği algoritmalarlardır. Ancak arıza yeri bulma doğruluğu, iki bara ölçümlerini kullanan algoritmaların altındadır [12, 13].

İki bara ölçümlerini kullanan algoritmalar, daha düşük arıza yeri tespiti hata oranına sahiptir, özel uygulamalar için (seri kapasitör, FACTS, transpoze olmamış hatlar gibi) daha kolaylıkla adapte edilebilirler [14-19].

Elektrik enerjisi talebinde, süregelen artış ve iletim hattının termal limitlerine kadar enerji transferi gerekliliği, iletim sistemlerinde hızlı gelişmelere yol açmıştır [20]. Bu durum, iletim hatlarında güç transferi kabiliyetini, iletim kayıplarını, güç sistemi kararlılığını ve gerilim kontrolünü iyileştirme amacıyla, seri kapasitörler kullanımı

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada, öncelikle tek ve iki bara ölçümelerini kullanan temel arıza yeri bulma algoritmaları tanıtılarak, bu algoritmalar farklı test sistemlerinde incelenip sonuçları karşılaştırılmıştır. Daha sonra seri kapasitörlü iletim hatları için geliştirilen algoritma, teorik olarak açıklanmıştır. İki baradan alınan ölçümleri kullanan geliştirilmiş algoritma, seçilen temel arıza yeri bulma algoritmaları ile karşılaştırılmış ve sonuçlar irdelenerek seri kompanze edilmiş iletim hatlarında bu sistemler için özel olarak bir algoritma geliştirmenin gerekliliği vurgulanmıştır. Daha sonra geliştirilen algoritma, diğer seri kompanze iletim hatları için özel geliştirilmiş algoritmalar ile karşılaştırılmıştır. AP-DAĞITIK-YD-21

Geliştirilen algoritmanın uygulanmasının daha kolay olması, arıza sonrası verilerin hepsini irdeleyerek en uygun sonucu seçmesi ve gerçek arıza yerine diğer algoritmalarından daha yakın sonuçlar elde etmesi önemli özelliklerindendir. Geliştirilen algoritma, bunun dışında giriş verileri olarak temel arıza yeri algoritmalarının kullandığı standart giriş verilerini talep etmektedir, ek olarak arıza öncesi değerler veya önceden hesaplanmış değerlere ihtiyaç duymamaktadır. Ayrıca algoritma hesaplamaları uzun hat modeli veya kısa hat modeline görede kolayca değiştirilebilir. Temel arıza yeri algoritmalarında ise, özellikle negatif bileşenleri kullanan algoritmaların arıza direnci ve admitans değerinin ihmal edilmediği durumlarda minimum hata oranı elde etmesi göz ardı edilmemesi gereken bulgulardandır. Bunun dışında simetrik arıza yeri bulma algoritması dışında iki baradan ölçüm değerlerini kullanan algoritmalar bütün senaryolarda düşük hata oranları ile sonuca ulaşmışlardır. Ancak Takagi ve geliştirilmiş Takagi algoritmasından oluşturulacak bir hibrit algoritmanın, iki baradan ölçüm değerlerini kullanan algoritmalar kadar iyi sonuçlar elde edemesede yaklaşık %1'lik maksimum hata oranı ile göz ardı edilemeyecek bir isabet ile sonuca ulaşabilir. AP-DAĞITIK-YD-21

## KAYNAKLAR

- [1] Takagi T., Yamakoshi Y., Yamaura M., Kadow R., Matsushima T., Development of A New Type Fault Locator Using The One-Terminal Voltage and Current Data, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 1982, **PAS-101**(8), 2892-2898.
- [2] Gale P. F., Crossley P. A., Bingyin X., Yaozhong G., Cory B. J., Barker J. R. G., Fault Location Based on Travelling Waves, *Fifth International Conference on Developments in Power System Protection*, York, United Kingdom, 30 March-01 April 1993.
- [3] Iżykowski J., *Fault Location on Power Transmission Lines*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2008.
- [4] Lewis L. J., Traveling Wave Relations Applicable to Power-System Fault Locators, *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, 1951, **70**(2), 1671-1680.
- [5] Aurangzeb M., Crossley P. A., Gale P., Fault Location on a Transmission Line Using High Frequency Travelling Waves Measured at a Single Line End, *IEEE Power Engineering Society Winter Meeting*, 2000, **4**, 2437-2442. AP-DAĞITIK-YD-21