

YERALTI KABLOLARINDA ARIZA YERİ TESPİTİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elk. Müh. Murat TEKİN
(504021022)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17 Kasım 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Kasım 2006

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Özcan KALENDERLİ
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Ayşen DEMİRÖREN (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. Nurettin UMURKAN (Y.T.Ü.)

KASIM 2006

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın hazırlanmasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım ve çalışmalarımın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocam **Doç. Dr. Özcan KALENDERLİ**'ye öncelikli olarak sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmalarım için bana her türlü kolaylığı sağlayan değerli mesai arkadaşlarım **Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş. Tesis Müdürlüğü çalışanlarına**, lisans ve yüksek lisans eğitim hayatımız boyunca birbirimize güç verdiğimiz sevgili arkadaşım **Ahmet Kubilay ATALAY**'a, maddi ve manevi desteklerini hep yanımda hissettiğim değerli **Aileme**, benden anlayışını ve yardımlarını esirgemedi hep yanımda olan sevgili eşim **İlknur TEKİN**'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kasım, 2006

Murat TEKİN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. YERALTI KABLOLARINDA ARIZA NEDENLERİ, ARIZA TİPLERİ, ARIZA YERİ ÖN TESPİTİ, GÜZERGAH TESPİTİ VE ARIZA YERİ TAM TESPİTİ	7
2.1. Yeraltı Kablolarında Arıza Nedenleri	7
2.1.1. İmalat Hataları	7
2.1.2. Nakliye ve Depolama Hataları	7
2.1.3. Döşeme ve Montaj Hataları	8
2.1.4. Mekanik Darbeler	8
2.1.5. Korozyon Etkisi	8
2.1.6. Olağanüstü Termik Etkiler	8
2.1.7. İç ve Dış Gerilim Darbeleri	9
2.1.8. Eskime	9
2.2. Yeraltı Kablolarında Arıza Tipleri	10
2.2.1. Arızanın Tanımı	10
2.2.2. Kısa Devre Arızaları	10
2.2.3. Açık Devre Arızaları	10
2.2.4. Toprak Arızaları	10
2.2.5. Nem Girişi	11
2.2.6. Ezilme	11
2.2.7. Kısmi Boşalma	11
2.2.8. Arıza Tanısı	11
2.2.8.1. Kablolarda Arıza Yerini Belirlemek İçin Akış Diyagramı	13
2.3. Arıza Yeri Ön Tespiti	14
2.3.1. Köprü Ölçümleri	15
2.3.1.1. Klasik Köprü Prensibi	16
2.3.1.2. Murray Yöntemi	17
2.3.1.3. Hillborn Yöntemi	19

2.3.1.4. Kesitlere Göre Arıza Mesafeleri Hesabı	20
2.3.1.5. Köprü Uygulamaları İçin Önkoşullar	21
2.3.2. Darbe Yansıma Yöntemi (Pulse Echo/Time Domain Reflectometry)	21
2.3.2.1. Hattın Yayılmış Sabitleri	21
2.3.2.2. Dalga Empedansı	22
2.3.2.3. Dalga Yayılma Hızı	22
2.3.2.4. Yansıma ve İletim Katsayıları	24
2.3.2.5. Arıza Yeri Tespiti	27
2.3.2.6. Muflarda Darbe Ölçümü	29
2.3.2.7. Branşmanlarda Darbe Ölçümü	30
2.3.3. İkincil Darbe Yöntemi (Secondary Impulse Method, SIM)	31
2.3.4. Yakma İşlemi	33
2.3.5. Darbe Yansıma Yöntemi ile Ölçüm Yapan Bir Cihazın Basit Tasarımı	35
2.4. Arıza Güzergahı Tespiti	37
2.4.1. Maksimum Yöntemi	37
2.4.2. Minimum Yöntemi	38
2.5. Arıza Yeri Tam Tespiti	39
2.5.1. Darbe Gerilim Yöntemi ile Arıza Yeri Tam Tespiti	39
2.5.2. Bükme Yöntemi ile Arıza Yeri Tam Tespiti	43
2.5.3. Kılıf Arızaları	44
2.5.3.1. Kılıf Arızalarının Tespiti	45
2.6. Genel Deneyler	46
2.6.1. Doğru Gerilim Deneyi	46
2.6.2. Alternatif Gerilim Değeri	47
2.6.3. Çok Düşük Frekanslı (VLF) Gerilim Deneyi	47
2.7. Günümüzde kullanılan Deney-Ölçü Araçları ve Arıza Tespit Cihazları	48
2.7.1. Test-Ölçü Arabaları	48
2.7.2. Taşınabilir Test-Ölçü Cihazları	52
2.7.2.1. IRG 2000 Cihazı	52
2.7.2.2. STG 600 Darbe ve Test Üretici	58
2.8. Genel Uyarılar	65
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	67
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	78
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	85

KISALTMALAR

AG	: Alçak Gerilim
BEDAŞ	: Boğaziçi Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ICM	: Impulse Current Method
IVM	: Impulse Voltage Method
MIM	: Multiple Impulse Method
OG	: Orta Gerilim
PE	: Polietilen
PE	: Pulse Echo
PVC	: Polivinilklorür
SIM	: Secondary Impulse Method
TDR	: Time Domain Reflectometry
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
XLPE	: Çapraz Bağlı Polietilen
YG	: Yüksek Gerilim

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 : Bazı yalıtkan malzemelerdeki darbe yayılma hızı.....	23
Tablo 2.2 : Seri arızalarda hata direncinin değişimine göre yansıma faktörleri	26
Tablo 2.3 : Şönt arızalarda hata direncinin değişimine göre yansıma faktörleri	26
Tablo 2.4 : STG 600 faz–toprak arızasında TDR yöntemi ile ölçme prosedürü	60
Tablo 2.5 : STG 600 faz–faz arızasında TDR yöntemi ile ölçme prosedürü.....	61
Tablo 2.6 : STG 600 cihazının SIM uygulaması için IRG 2000 ve kablo bağlantısı prosedürü.....	62
Tablo 2.7 : STG 600’ün kablo kılıf arızası tespiti için kabloya bağlantı prosedürü.....	64
Tablo 3.1 : Yapılan deneylere ait ölçüm değerleri.....	76
Tablo 4.1 : Kullanıcı başına yıllık maksimum kesinti süresi hedefleri.....	80
Tablo 4.2 : Kullanıcı başına yıllık maksimum kesinti sayısı hedefleri.....	80

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Bedaş'ın TEİAŞ Maslak Şalttan Çıkan 35 kV Kablo Montajı– Kablolar Arası Tuğlalar	9
Şekil 2.2 : Bedaş'ın TEİAŞ Maslak Şalttan Çıkan 35 kV Kablo Montajı – Kablo Koruma Plakaları	10
Şekil 2.3 : Wheatstone Köprüsü	17
Şekil 2.4 : Murrey Köprüsü	17
Şekil 2.5 : Hillborn Köprüsü	19
Şekil 2.6 : Dağıtım Hattının Elektriksel Modeli	22
Şekil 2.7 : Seri Arıza	24
Şekil 2.8 : Şönt Arıza	25
Şekil 2.9 : Kısa Devre ve Açık Devrede Arıza Sinyalinin Yansıması	28
Şekil 2.10 : Muflarda Arıza Sinyalinin Yansıması	30
Şekil 2.11 : Branşmanlarda Arıza Sinyalinin Yansıması	31
Şekil 2.12 : Karşılaştırma Yöntemi	32
Şekil 2.13 : Fark Yöntemi	33
Şekil 2.14 : Dedektör Blok Diyagramı	35
Şekil 2.15 : Sistemin İşleyişi ve Yapısı	36
Şekil 2.16 : Maksimum Yöntemi	38
Şekil 2.17 : Minimum Yöntemi	39
Şekil 2.18 : Darbe Gerilimi Yöntemi ile Arıza Noktasının Tam Tespiti	41
Şekil 2.19 : Büklüm Yöntemi ile Arıza Yeri Tam Tespiti	43
Şekil 2.20 : Kablo Kılıf Arızası Tespiti	45
Şekil 2.21 : BEDAŞ'ın Bir Kablo Test – Ölçü Aracının Arkadan Görünüşü ...	50
Şekil 2.22 : BEDAŞ Test – Ölçü aracı Kumanda Masası	50
Şekil 2.23 : BEDAŞ Yeni Tip Test – Ölçü Aracı Kumanda Masası	51
Şekil 2.24 : IRG 2000 Cihazı	52
Şekil 2.25 : IRG 2000 Cihazının Bağlantı Uçları ve Tuşları	53
Şekil 2.26 : IRG 2000 Ekranı	54
Şekil 2.27 : IRG 2000 ile Darbe Yansıma Yöntemi Görüntüsü	56
Şekil 2.28 : IRG 2000 de TDR Ölçümü Çıktı Örneği	57
Şekil 2.29 : IRG 2000 ile SIM / MIM Yöntemi Görüntüsü	58
Şekil 2.30 : STG 600 Darbe ve Test Üretici	58
Şekil 2.31 : STG 600 Darbe ve Test Üretici Bağlantıları	59
Şekil 2.32 : STG 600 Cihazının Faz – Toprak Arızasında TDR Uygulaması İçin Kabloya Bağlantısı	60
Şekil 2.33 : STG 600 Cihazının Faz – Faz Arızasında TDR Uygulaması İçin Kabloya Bağlantısı	61
Şekil 2.34 : STG 600 Cihazının SIM Uygulaması İçin IRG 2000 ve Kablo Bağlantısı	62
Şekil 2.35 : STG 600 Cihazı ile SIM Uygulaması Görüntüsü	63
Şekil 2.36 : STG 600'ün Kablo Kılıf Arızası Tespiti İçin Kabloya Bağlantısı	64

Şekil 3.1	: Sıvılar İçin İletkenlik Ölçü (Conductivity Meter) Cihazı	68
Şekil 3.2	: Deneyde Kullanılan Ölçü Aracı	69
Şekil 3.3	: Deneyin Uygulandığı Kablo ve Bağlantılarının Yapılması	69
Şekil 3.4	: Kablonun Sağlam Damarının Yansıyan Dalga Görüntüsü	70
Şekil 3.5	: 1. Deneyde Sağlam ve Arızalı Damarların Teleflex Cihazında Görüntüsü	70
Şekil 3.6	: 1. Deneyde Arıza Noktası ve Mesafesinin Teleflex Cihazında Görüntüsü	71
Şekil 3.7	: 2. Deneyde Sağlam ve Arızalı Damarların Teleflex Cihazında Görüntüsü	72
Şekil 3.8	: 2. Deneyde Arıza Noktası ve Mesafesinin Teleflex Cihazında Görüntüsü	73
Şekil 3.9	: 3. Deneyde Sağlam ve Arızalı Damarların Teleflex Cihazında Görüntüsü	74
Şekil 3.10	: 3. Deneyde Arıza Noktası ve Mesafesinin Teleflex Cihazında Görüntüsü	75
Şekil 3.11	: 4. Deneyde Yansıma Görüntüsü	76

SEMBOL LİSTESİ

$^{\circ}\text{C}$	: Santigrad derece
μ	: Mikro
A	: Amper
c	: Işık hızı
C	: Kapasite
DC	: Doğru akım
e	: Anlık endüklenen gerilim
G	: İletkenlik
H	: Henry
Hz	: Hertz
i	: Arıza noktasında endüklenen anlık akı
L	: Endüktans
l_x	: Arıza mesafesi
n	: Nano
R	: Direnç
r	: Yansıma faktörü
t	: Zaman
U	: Anma gerilimi
U_0	: Normal işletmedeki faz – toprak gerilimi
v	: Darbe yayılma hızı
V	: Volt
V_i	: Arıza noktasındaki gerilim
V_t	: İletilen gerilim
V_x	: Yansıyan gerilim
W	: Watt
Z_0	: Dalga empedansı
Z_L	: Arıza noktasındaki yük empedansı
ϵ_r	: Bağlı dielektrik sabiti
τ	: İletim katsayısı
Ω	: Ohm

YERALTI KABLOLARINDA ARIZA YERİ TESPİTİ

ÖZET

Kablolar enerji sistemlerinin can damarlarıdır. Üretilen enerjinin tüketiciye ulaşmasında çoğunlukla yeraltı kabloları kullanılır. Günümüzde özellikle insan yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde işletme emniyeti, insan – çevre sağlığı ve işletmenin ekonomikliğinin sağlanması hususları dikkate alınarak iletim ve dağıtım yeraltı kabloları ile gerçekleştirilir. Kablolar; üretim, montaj, işletme hataları veya dışarıdan gelebilecek elektrik ve mekanik darbelerden dolayı arızalara açıktırlar. Oluşabilecek arızalardan dolayı elektrik enerjisinin kalitesinin bozulması veya uzun süreli elektrik kesilmeleri göze alınamayacağından yeraltı kablolarında arıza yerinin kısa sürede bulunarak arızaya hemen müdahale edilmesi ve arızanın giderilerek tüketicilere kaliteli ve kesintisiz enerji sağlanması hayati önem arz etmektedir.

Bu tezde, yeraltı kablosu arıza yeri tespiti için, yeraltı kablolarının kullanılmaya başladığı tarihlerden itibaren geliştirilen Klasik Ölçme Yöntemleri ile günümüzde kullanılan Modern Tespit Yöntemleri incelenmiştir. Kullanımı en yaygın ve en basit olan İkincil Darbe Yöntemi kullanılarak, değişik direnç değerlerindeki kısa devre arızaları tespiti için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Deneyde elde edilen ölçüm sonuçlarına göre gerçekte 193. metredeki 256 k Ω , 5,88 k Ω ve 1,1 k Ω arıza direncine sahip kısa devre arızalarında, yani darbe yansıma faktörünün nispeten yüksek olduğu durumlarda gerçeğe çok yakın olarak tespit edilebildiği görüldü. Ancak gerçekte 193. metredeki 0,65 k Ω arıza direncine sahip kısa devre arızalarında yani darbe yansıma faktörünün nispeten daha düşük olduğu durumlarda birçok denemeye rağmen arıza tespit edilememiştir. Sonuç olarak değişik kısa devre arıza empedans değerlerinde darbe yansıma faktörünün yüksek olmasının arızayı tespit edebilme açısından çok önemli olduğu söylenebilir. İlerleyen teknolojiyle birlikte daha modern, uygulaması daha basit ve arıza yeri tespitini hatasız bulabilecek yöntemler bulmak için araştırmalar devam etmektedir.

FAULT LOCATION AT UNDERGROUND CABLES

SUMMARY

Cables are the blood vessels of the power systems. Generally underground cables are used to transmit the produced power to the consumers. Nowadays, especially in public areas underground cables are preferred in transmission and distribution systems because of operational safety, human and environmental health, operational economy. Because the production mistakes, assembling mistakes, operational errors, exterior electrical and mechanical shocks, cables are always open to the faults. As we can't let the long term interruptions and bad quality power, it is vital to determine the location of the fault and to fix the fault as soon as possible.

In this study, the Classical Measurement Methods that are developed when the cables became to be used in power systems and Modern Fault Location Methods are investigated. Also an experimental study is done to locate the cable fault point by using the Secondary Impuls Method that is the most common and simple method to use. According to the experimental results; for the short circuit fault impedans values 256 k Ω , 5,88 k Ω ve 1,1 k Ω at the 193. meter of cable where impuls reflection coefficient is relatively high, fault location is determined approximately to the real values. But for the short circuit fault impedans value 0,65 k Ω at the 193. meter of the cable where impuls reflection coefficient is relatively low, fault location couldn't be determined. As a result; it possible to say that impuls reflection coefficient at the different short circuit fault impedans values, has very important role to determine the fault location. By the advancement of the technology, more modern, easy applicable and more simple fault location methods will be improved.

1. GİRİŞ

Enerji kabloları elektrik enerjisini ileten vazgeçilmez bağlantı elemanlarıdır. Elektrik iletim şebekelerinin ve özellikle de elektrik dağıtım şebekelerinin değişmez ve en önemli parçalarıdır. Santrallerde üretilen yüksek gerilimli elektrik enerjisi, şehir dışlarına kadar genellikle havai hatlarla gelirken, yerleşim yoğunluğunun arttığı şehirlerde iletim ve dağıtım şebekelerinde yeraltına girmektedir. Bugün insan yoğunluğunun fazla olduğu büyük şehirlerde 380 kV kablo şebekeleri bile tesis edilmektedir.

Kablo tesisleri oldukça masraflı ve uzun ömürlü yatırımlardır. İşletme güvenliği, insan-çevre sağlığı ve işletmenin ekonomikliğinin sağlanması bakımından kabloların elektrik enerjisini kaliteli ve kesintisiz iletmesi hayati önem taşır. Bu nedenle yeraltı kablolarında; üretimi aşamasında, tesisi aşamasında ve işletme aşamasında arızaya neden olabilecek etkenleri minimuma indirerek kablonun etkin ve sürekli çalışması oldukça önemli bir konudur. Ancak ne kadar dikkat edilse de kabloların üretim, tesis ve işletme hatalarından dolayı veya dışarıdan gelebilecek elektriksel ve mekanik darbelerden dolayı kablolar arızaya yapabilmektedirler. Maalesef ülkemizde işletmede olan kablo şebekelerinde periyodik olarak belirli zamanlarda gerilim deneyi yapılmadığından işletmede olan kablolarda her an arıza oluşabilmektedir. Elektrik enerjisinin kalitesinin bozulması veya uzun süreli elektrik kesilmeleri göze alınamayacağından yeraltı kablolarında arıza yerinin kısa sürede bulunarak arızaya hemen müdahale edilmesi ve arızanın giderilerek tüketicilere kaliteli ve kesintisiz enerji sağlanması çok önemlidir.

Arıza yerinin hızlı ve doğru bir şekilde belirlenmesi; arızanın belirlenmesi masraflarını düşürecek, arızanın onarımı ve sistemin tekrar devreye girmesi işlemlerini hızlandıracak ve kesintilerden dolayı uğranılacak olan kullanım, üretim ve gelir kayıplarını azaltacaktır. Bu nedenle arızanın hızlı ve doğru bir şekilde tahmini ve belirlenmesi, sistemin işletilme devamlılığı, işletme güvenliği ve işletme maliyetleri açısından çok önemlidir.

Dağıtım sistemlerinde karşılaşılan arızaların çok büyük bir kısmının AG kablo arızaları olduğu göz önüne alınırsa, AG kablolarında arıza yerini hızlı ve doğru bir şekilde belirleyebilecek, kullanımı ve uygulaması basit cihazlara ihtiyaç vardır. Arıza yeri tahmini ve arıza yeri belirlenmesi ile ilgili bir çok çalışmalar yapılmaktadır.

Beyer, Kamm ve Fesser [1] endüstri alanlarında kullanılan YG kablo arıza tespit dedektörü uygulamaları için “Yürüyen Dalga Modeli” ilkesi üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Ancak bu tür uygulamalar pahalı olduğundan ve arazide uygulaması zor olduğundan, sıkça karşılaşılan AG kablo arızaları için arazide kullanımı kolay değildir. Bununla birlikte, Weeks ve Steiner [2] yüksek frekanslı bir osiloskop ile elektromanyetik gürültüyü tespit eden YG kablo arıza saptama dedektörü geliştirmişlerdir. Bu tekniğin uygulaması basittir ancak AG kablo arızalarını saptamak için yeterli değildir.

Clegg [3] yer altı kabloları için ilkesi arızalı kabloya verilen darbenin gitme-yansıma süresinin ölçülmesi hesabına dayanan arıza yerini ve arıza türünü tespit edebilen Darbe Yansıma Yöntemi (Pulse Echo Technique) uygulamaları üzerinde çalışmalar yapmıştır. Ancak bu tür uygulama tekniklerinin dezavantajları; büyük boyutlarda cihazlar olmaları ve yüksek gerilim üreteçleri gerektiriyor olmalarıdır. Bununla birlikte bu ilkeye dayanan cihazların uygulanabilmesi için, arıza noktasını analiz edebilecek çok deneyimli teknisyenler gerektirmektedir.

Kawashima ve Shinagawa [4] ise kablo sisteminin iki uç terminalinden birinin GIS (Gas Insulated Systems) sistemlere bağlı olduğu durumlarda en popüler arıza yeri tespit yöntemlerinin kullanılabilmesinin zor olduğunu belirtmişler ve yürüyen akım dalgası bulma ilkesine dayalı yeni bir arıza yeri tespit cihazı üzerinde çalışmışlardır. Çünkü GIS sistemlerde kablo şebekesi bağlantıları SF₆ gaz izoleli ve tamamen kapalı metal hücrelerdedir ve dolayısıyla da arıza yeri tespiti için yapılması gereken cihaz – kablo bağlantılarını yapmak çoğu zaman oldukça sınırlıdır. Bu nedenle de GIS sistemlere bağlı kablo şebekelerinde geleneksel arıza yeri tespit yöntemleri ile arıza yeri tespiti çoğu zaman yapılamamaktadır.

Potivejku, Kerdonfag, Jamnian ve Kinnares [5], genel olarak yüksek gerilim kablolarında uygulanan “Yansıyan Dalga” ilkesine dayanan AG kablo arıza tespit cihazı üzerinde çalışmışlardır. Kablo arıza tespit dedektörünün tasarımı ve yapımı

için kablo empedansının ve kablo yalıtkanının dielektrik geçirgenliğinin yansıyan dalga üzerindeki etkisi üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Bir dalga havada hareket ettiğinde bu dalganın hızı yaklaşık olarak ışık hızı olan 300×10^6 m/s olarak kabul edilir. Ancak kabloyu çevreleyen ve bağılı dielektrik sabiti ϵ_r olan kablo yalıtkan malzemesinin içinde yayılan dalganın hızı havadaki hızından farklıdır. Bu durumda yayılan dalganın hızı;

$$v = \frac{v_s}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1.1)$$

Burada;

v_s : ışık hızı (300×10^6 m/s)

v : yayılan dalganın hızı

Potivejku, Kerdonfag, Jamnian ve Kinnares [5] kablo arıza tespit cihazı tasarımında ve yapımında bir dalganın kablo boyunca hareketinde; kablonun dielektrik sabiti farklı ise yayılma hızının da farklı olacağını dikkate almışlardır. Ürettikleri arıza tespit cihazı ile yaptıkları ölçümlerde kullandıkları kablonun yalıtkan malzemesinin PVC olduğunu göz önüne alarak bu kablodaki dalga yayılma hızını 152×10^6 – 175×10^6 m/s arasındaki değerlerde seçmişlerdir.

Ürettikleri cihaz 8031 mikroışlemci ile kontrol edilmekte ve 3 bölümden oluşmaktadır. Cihazın darbe retecisi devresi, arıza tespiti yapılacak olan kabloya üretmiş olduğu darbeyi gönderir. Darbe retecisi 5 V genliğinde ve 500 ns genişliğinde darbe üretmektedir. Kabloya gönderilen darbe arıza noktasında farklı bir direnç değeriyle karşılaştığından darbenin bir kısmı kablo boyunca iletilir bir kısmı ise arıza noktasından yansıyarak cihaza geri döner. Cihazın ikinci kısmı yansıyan dalga ile gönderilen dalgayı kıyaslayan devrelerden oluşmaktadır. Açık devre arızalarda yansıyan darbe pozitif yönlü, kısa devre arızalarda ise negatif yönlü olduğundan, kıyaslama devresi arızanın cinsini belirler ve bu bilgiyi mikroışlemciye kaydeder. İçinde bir zaman devresi bulunan 3. bölüm, dalganın gönderildiği andan yansımanın kaydedildiği ana kadar geçen süreyi sayar ve bu bilgiyi devrede kullanılan mikroışlemciye kaydeder. Zaman sayıcı devrenin kaydetmiş olduğu darbenin gönderildiği andan yansımanın kaydedildiği ana kadar geçen t süresi, darbenin gönderildiği noktadan arıza noktasına varması ve buradan yansıyıp aynı yolu alarak

tekrar devreye gelme süresidir. Dolayısıyla darbenin arıza noktasına ulaşma süresi $t/2$ dir. Darbe hızı da bilindiğinden, gönderilmiş olan darbenin arıza noktasına kadar aldığı yol (l) hesap edilebilir.

$$l = \frac{t}{2} \cdot v \quad (1.2)$$

Hesap edilen bu uzaklık arıza uzaklığıdır. Mikroişlemci tarafından kaydedilen ve değerlendirilen bilgiler sonucunda üretilen cihazın monitöründe arızanın uzaklığı ve arızanın cinsi gösterilebilmektedir.

Potivejku, Kerdonfag, Jamnian ve Kinnares [5] ürettikleri bu prototiple yaptıkları ölçümlerde 50-500 m uzunluğundaki kablolarda ölçüm yapmışlardır. Bu ölçümler sonucunda hata $\pm 5\%$ olmuştur. Üretilen bu prototip AG kablo arıza yerlerinin ve arıza tiplerinin belirlenebilmesi için kullanımı kolay, arazide uygulanması basit ve oldukça ucuz bir cihazdır.

Wang ve Hou [6] arıza yeri tahmini ve arıza yeri belirlenmesinin asıl önemli noktasının modelleme olduğu üzerinde durmuşlardır. Kablo arıza yeri tespit ve tahmininin karmaşık nonlinear sistem modelini; nonlinear karakteristikli, Levenberg–Marquardt veri optimizasyon yöntemi algoritması gibi BP yapay sinir ağı seçilerek yapılan doğru ölçümlere dayandırmışlardır. Arızalı kablonun yer aldığı şebekeden arıza bilgilerini elde ettikten sonra sistemin teorik modelini kurmuşlardır. Bu modelin Matlab Programında simülasyonlarını yaparak sonuçta arızalı kablonun yer aldığı şebekeden elde ettikleri sonuçların ve simülasyonu yapılan modelden elde edilen sonuçlarla hemen hemen aynı olduğunu görmüşlerdir. Arıza mesafesi tahminlerinin bağıl hatasının ortalama değerinin %0,3 ten daha küçük olduğunu hesap etmişler ve modelin güvenilir olduğunu ortaya koymuşlardır.

Wang ve Hou [7] arıza yeri tahmini ve arıza yeri belirlenmesi için güvenilir veri üretimi yöntemini (anti-error data fusion method) kullanmanın, oluşturulan yapay sinir ağı modelinin kalitesini artırdığını belirtmişlerdir. Kablo arıza yeri tahmini ve tespiti yapmaya yönelik kullanılan lineer olamayan karmaşık sistemler için, ölçülen verilerin güvenilir olmasının bu verilerle oluşturulan yapay sinir ağı modelinin kalitesi üzerinde büyük etkisi vardır. Yapay sinir ağı modelinin kalitesini

kesinleştirmek için, orijinal verilerin arasındaki aykırı veriler tespit edilerek elenmeli ve elde edilmiş olan verilerin hata eğilimi dalgacık (wavelet) dönüşümüyle bulunmalıdır. Bu şekilde verilerin güvenilirliği sınanır. Sonuç olarak yapay sinir ağı modelinin verileri neredeyse gerçek sistemde oluşan duruma eşittir ve tahmindeki hata belirlenen sınırlar içerisinde.

Li, Zhou, Qu, Yai ve Gong [8] arıza noktasındaki ark süresini uzatan cihazın geliştirilmesi üzerine çalışmışlardır. Üzerinde çalıştıkları bu cihaz, ark sönmeden önce arkı ikinci darbe deneyi için yeterli derecede güçlü tutmak amacıyla otomatik olarak arızalı kabloya enerji verir. Yürüyen dalga modeli temel alınarak geliştirilen darbe akımı yöntemi (Impulse Current Method/ICM) ve darbe gerilimi yöntemi (Impulse Voltage Method/IVM) geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Darbe akımı yöntemi ve darbe gerilimi yöntemleri yüksek empedans değerine sahip arızaların tespit edilmesinde oldukça etkindirler ancak dalga şekillerinin analiz edilebilmesi oldukça zordur. Bu zorluğu ortadan kaldırabilmek için ikincil darbe yöntemi (Secondary Impulse Method/SIM) geliştirilmiştir. Bu yöntemde yüksek gerilim darbe uygulanması ve ark devam ederken, bir alçak gerilim sinyali arızalı kabloya gönderilir ve arıza noktasından sinyal geri yansır. İkincil darbe yönteminin amacı arıza noktasında ark devam ederken bir sinyal daha gönderebilmektir. Ancak klasik arıza yeri bulma devreleri için ark süresi 100µs den fazla değildir. Gerçekte arıza yeri bulma testleri sırasında, mekanik anahtarlama gibi nedenlerle ark başlangıçta düzenli ve kararlı değildir. Bu ise başlangıçtaki ark sırasında parazitler oluşmasına neden olur. Li, Zhou, Qu, Yai ve Gong [8] bu problemi çözmek için iki teknik üzerinde çalışmışlardır. İlk teknikleri tam olarak kararlı bir ark akımı bulmaktır. İkincisi ise ark süresini uzatmaktır. Ayrıca sinyalin kabloya ne zaman gönderileceği de önemlidir. Eğer sinyal erken gönderilirse ark patlamasıyla karışabileceği gibi, geç gönderildiğinde de ark sönmüş olabilir ve test başarısızlıkla sonuçlanabilir. Ark süresini uzatan bu cihazın doğruluğunu ortaya koyabilmek için arazide ikincil darbe yöntemi ile arıza yeri tespiti testleri yapmışlardır. Laboratuvar ve arazide yapılan testlerde ark süresini uzatan cihazın kullanımı başarılı sonuçlar vermiştir.

Zhou, Qu, Yai ve Gong [8] yaptıkları araştırmalar ve ark süresi uzatıcı cihazının gelişimi sonucunda şu fikirleri öne sürmüşlerdir:

- İkincil darbe yöntemi yüksek empedanslı arıza yeri bulmada etkindir ve arıza yeri yansıyan darbe şekillerinden kolayca belirlenebilir.
- Darbenin ark süresinin uzatılmasıyla ikincil darbe yöntemi kullanılabilir.
- Ark süresi uzatan cihazı için uygun bir çıkış gerilimi arıza yeri bulma testi sırasında kablo yalıtkanında oluşabilecek hasarları büyük oranda azaltır.

2. YERALTI KABLOLARINDA ARIZA NEDENLERİ, ARIZA TİPLERİ, ARIZA YERİ ÖN TESPİTİ, GÜZERGAH TESPİTİ VE ARIZA YERİ TAM TESPİTİ

2.1 Yeraltı Kablolarında Arıza Nedenleri

Yeraltı kablolarında sıkça karşılaşılan arızaların nedenleri araştırıldığında, karşılaşılan arızaların başlıca nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

2.1.1 İmalat Hataları

Yeraltı kabloları ulusal ve uluslararası normlarda ve standartlarda belirtilen şekilde iletkenlik, yalıtım (izolasyon), gerilime dayanma ve dielektrik kayıp faktörü değerleri göz önünde bulundurularak bu değerlere uygun şekilde üretilirler [9]. Üretilen malzemelerde var olabilecek herhangi bir kusur ancak ve ancak laboratuvarlarda yapılacak elektriksel ve gözle muayenelerde saptanabilir. Ülkemizde üretilen kabloların en büyük kullanıcısı durumunda bulunan Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. ve bağlı ortaklıklarıdır. TEDAŞ'ın bağlı ortaklıklarından olan ve İstanbul Avrupa Yakasının elektrik dağıtımını yapan Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş, kendisi için üretilen AG – OG yeraltı kablolarını, TEDAŞ – MYD/96-015 ve TEDAŞ – MYD/96-018.A Teknik Şartnamelerinde belirtildiği şekillerde içlerinden numune seçerek rutin ve tip deneylerine tabi tutmakta ve ancak bu deneylerden başarıyla geçen kabloları sisteminde kullanmaktadır. Bu sayede kablolarda üretim aşamasında oluşabilecek hatalar daha başlangıçtan saptanır ve hatalı imal edilen kabloların sistemde kullanılması engellenir.

2.1.2 Nakliye ve Depolama Hataları

Hatalı olarak yapılan nakliyat ve depolama ileride arızalara neden olabilir. Nakliye süresince kamyon veya vagonlarda kullanılan takozlar dikkatsizce konulursa,

kabloyu zedeleyebilir. Kabloların baş ve son uçları içine rutubetin girmesini önlemek için açıkta bırakılmamalıdır. Kablolar açık havada uzun süre bekletilmemelidir.

2.1.3 Döşeme ve Montaj Hataları

İlerde meydana gelebilecek kablo arızalarının birçoğu da döşeme esnasındaki dikkatsizliklerden oluşur. Bu hatalar fazla kıvrılmalardan, sürtünmelerden, tranşedeki sivri kenarlı cisimlerden ve kablonun serilmesi esnasında kablonun kılıfına verilebilecek zararlardan oluşur. Hemen fark edilemeyen bir kılıf zedelenmesi bir müddet sonra bu noktada arızaya neden olabilir. Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de Bedaş’ın TEİAŞ Maslak Şalttan çıkan 35 kV kablolarının yer aldığı tranşe, kabloların döşeme şekillerinin nasıl olması gerektiğini göstermektedir. Mufların, kablo başlarının montajı sırasında damarların gerekli çapların üstünde bir çapla kıvrılması gerekir [10]. Kablonun montajı tamamlandıktan hemen sonra doğru akım deneyi yapılmalıdır.

2.1.4 Mekanik Darbeler

Kablo arızalarının belki de en büyük ve önlenmesi çok zor nedeni dışarıdan gelebilecek mekanik darbelerdir. Maalesef ülkemizde birçok Kurum tarafından koordinesiz bir şekilde yapılan kazılar, hafriyatlar, yol hareketleri, toprak kaymaları son yıllarda kablo arızalarının en başta gelen sebebini oluşturmaktadırlar. Bazen mekanik darbeye maruz kalarak sakatlanan kablodaki arıza haftalar bekli de aylar sonra kendini gösterebilmektedir.

2.1.5 Korozyon Etkisi

Kimyasal korozyon topraktaki humus asidi, kireç ve diğer kimyasal maddelerin etkisi sonucu görülür. Örneğin kükürtlü araziye döşenen kırmızı PVC kablolar zamanla siyahlaşır. Doğru akım kaynaklarının yakınlarında döşenen kablolarda elektrolitik korozyon oluşur. Akaryakıt tankları yakınlarındaki PVC kablolar zarar görürler.

2.1.6 Olağanüstü Termik Etkiler

Her kısa devre arızasında kablo termik bir şok etkisi altında kalır. Birbirlerine yakın döşenmiş kablolarda, merkezi ısıtma sistemi yakınlarındaki kablolarda, ısı iletkenliği

düşük zeminlerde termik etkiler görülür. İklimlere ve döşeme şekline göre kabloların özelliklerine dikkat edilmeli, hatta döşeme yapılmadan önce toprağın ısı iletkenliği ölçülmelidir.

2.1.7 İç ve Dış Gerilim Darbeleri

İç gerilimler toprak kaçağının kesilmesinde ve bazı anahtarlama işlemleri sırasında meydana gelir. Örneğin trafoların devre dışı bırakılmasında iç gerilim darbeleri oluşabilir. Dış gerilim darbeleri ise atmosferik olaylardan (yıldırım düşmesi gibi) ve çevredeki yüksek gerilimli tesislerin etkilerinden oluşur. Bu gerilim darbeleri kablolarda yalıtımın zayıf olduğu yerlerde, muflarda ve kablo başlarında bir atlamaya neden olur. Atlama tehlikesi özellikle havai hat kablo bağlantılarında, açık kablo sonunda, dalga direnci değişimi sonucunda meydana gelen yansıma nedeni ile kendini gösterir. Özellikle açık hava başlıkları ve yakınlarındaki muflar bu dış gerilimlerden çok etkilenirler.

2.1.8 Eskime

Arıza nedenleri arandığında, kablonun eskime faktörü de göz önünde tutulmalıdır. Her döşenmiş kablo için bir arıza istatistiği tutmakta yarar vardır. Bu istatistik sayesinde daha önce meydana gelmiş arızalar, nedenleri ve yerleri devamlı olarak görülür ve kablo hakkında bilgi sahibi olunur.



Şekil 2.1: Bedaş'ın TEİAŞ Maslak Şalttan Çıkan 35 kV Kablo Montajı – Kablolar Arası Tuğlalar.



Şekil 2.2: Bedaş'ın TEİAŞ Maslak Şalttan Çıkan 35 kV Kablo Montajı – Kablo Koruma Plakaları.

2.2 Yeraltı Kablolarında Arıza Tipleri

2.2.1 Arızanın Tanımı

Arıza, bir kablonun normal çalışmasını etkileyen herhangi bir kusur, zayıflık, bozukluk durumudur. Kablolarda en çok karşılaşılan arıza tipleri kısa devre ve açık devre arızalarıdır. Bunların dışında kablolarda başka tip arızalarda oluşabilir.

2.2.2 Kısa Devre Arızaları

Şönt arızaları olarak da adlandırılırlar. İletkenler arası temas ile veya iletkenlerin metal kılıf ile temas etmesiyle oluşurlar. Bu tip arızalarda arıza direnci 0Ω ile $M \Omega$ mertebesinde değişen direnç değerleri alabilirler.

2.2.3 Açık Devre Arızaları

Seri arıza olarak ta adlandırılırlar. Kablo iletkenindeki kopma, yani iletkenler arasında çok büyük değerli veya sonsuz büyüklükte direnç bulunması durumudur.

2.2.4 Toprak Arızaları

Kılıf arızası olarak ta adlandırılırlar. Bir iletken ile toprak veya iletkenler ile toprak arasındaki temas sonucu oluşurlar.

2.2.5 Nem Girişi

Kablonun daha önce hasar gören bir noktasından giren su belirli bir bölgede veya muf noktalarında toplanarak damarlar arasında kısa devre arızalarının oluşmasına neden olabilirler.

2.2.6 Ezilme

Güç kablolarında oluşabilecek bir ezilme kısa devre arızalarına neden olabilir. Bu durumda ezilme noktasında karakteristik empedansta bir değişim olacağından, darbe yansıma yöntemi ile yer belirlenmesi yapılabilir.

2.2.7 Kısmi Boşalma

Yalıtımın zayıf noktalarında oluşan, yerel ve küçük boşalmalar şeklinde oluşan olaylardır. Bu tür kısmi boşalmaların picocoulomb mertebesinde elektriksel yükleri olduğundan genellikle kısa sürede arızalara neden olmazlar. Sistem içerisinde zayıf noktalar oluştururlar, yalıtımın zamanla bozulmasına neden olurlar.

2.2.8 Arıza Tanısı

Kablolarda arıza yerinin bulunmasında en önemli nokta kablo arıza türünün belirlenmesidir. Kablo arızasının türüne göre kendine özgü arıza yeri bulma yöntemi kullanılır.

Farklı arızaları bulmak için aşağıdaki prosedürler izlenebilir. Arıza yerinin direncini ölçmek için herkesçe bilinen ohmmetreler kullanılır. Dirençli kablo arızaları iki gruba ayrılır.

- Düşük dirençli arızalar – 100 Ω (ohm) dan küçük
- Yüksek dirençli arızalar – 100 Ω (ohm) dan büyük

Dirençli arızalarda yüksek deney gerilimi uygulamak direnç değerini değiştirir. Bu durumda mega-ohmmetre ve doğru akım deney düzenleri gerekli olmaktadır.

Doğru akım deney düzenleri ile yüksek çıkış gerilimi elde edilir. Yüksek çıkış gerilimi yüksek dirençli arızalar ile atlama şeklindeki kablo arızaları arasındaki farkı bulmak için uygundur. Eğer uygulanan belli bir gerilimde kabloda arıza ortaya çıkarsa bu arıza tipine “atlama arızası” (flashing fault) denir. Kablo kopukluğu Darbe Yansıma (Pulse Echo) yöntemi ile kolaylıkla bulunabilir. Kablo kılıfı arızası özel bir DC uygulamalı deney sistemi ile bulunur. Bu sistem yüksek çıkış akımı üretir. Farklı kablo arıza türleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

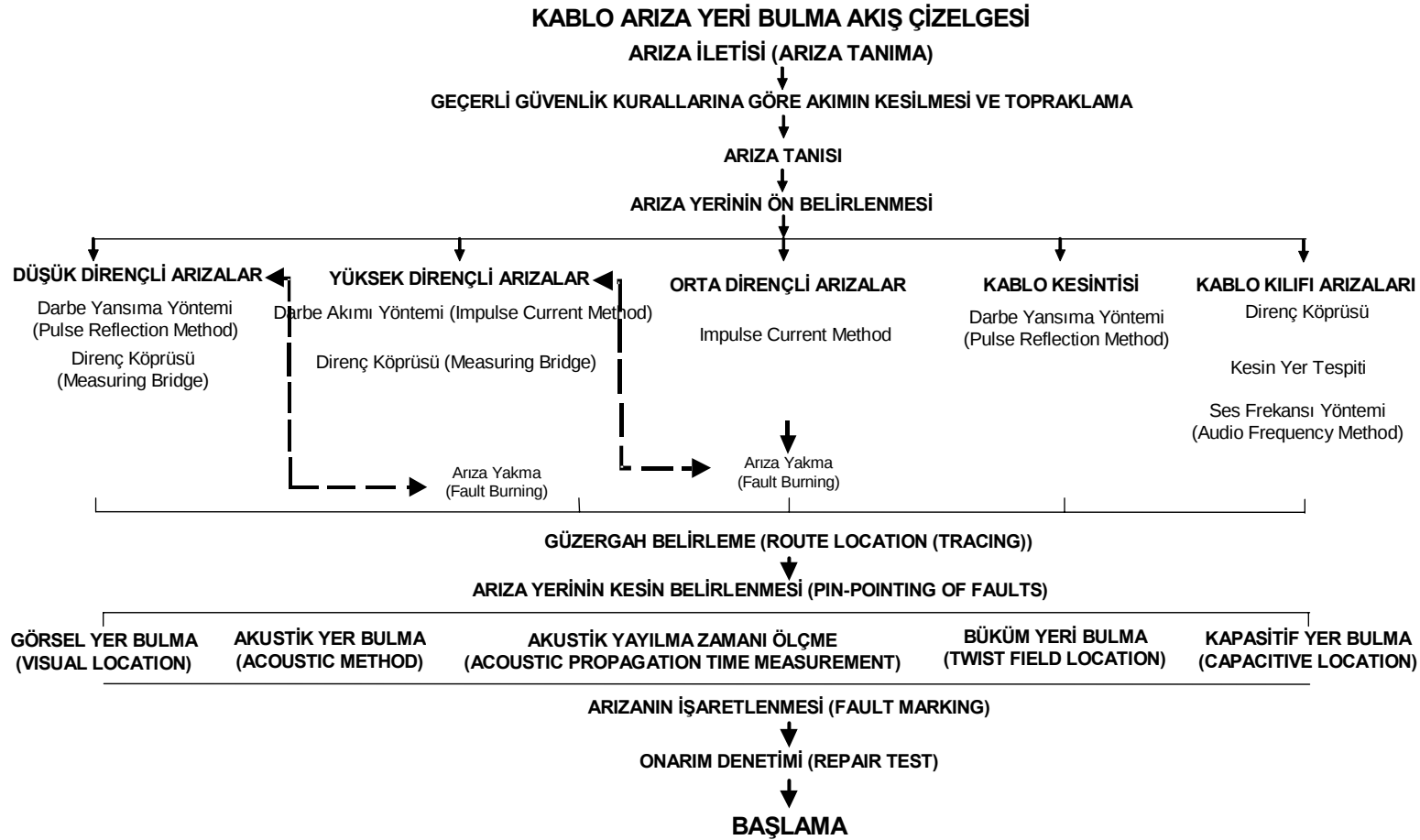
- Düşük dirençli arızalar
- Yüksek dirençli arızalar
- Atlama arızaları
- Kablo kopukluğu
- Kablo kılıfı arızaları

Elektrik arızalarının ölümcül sonuçlar doğurabileceği göz önüne alınarak arıza yerini belirlemede temel kuralları uygulamak güvenlik açısından çok önemlidir.

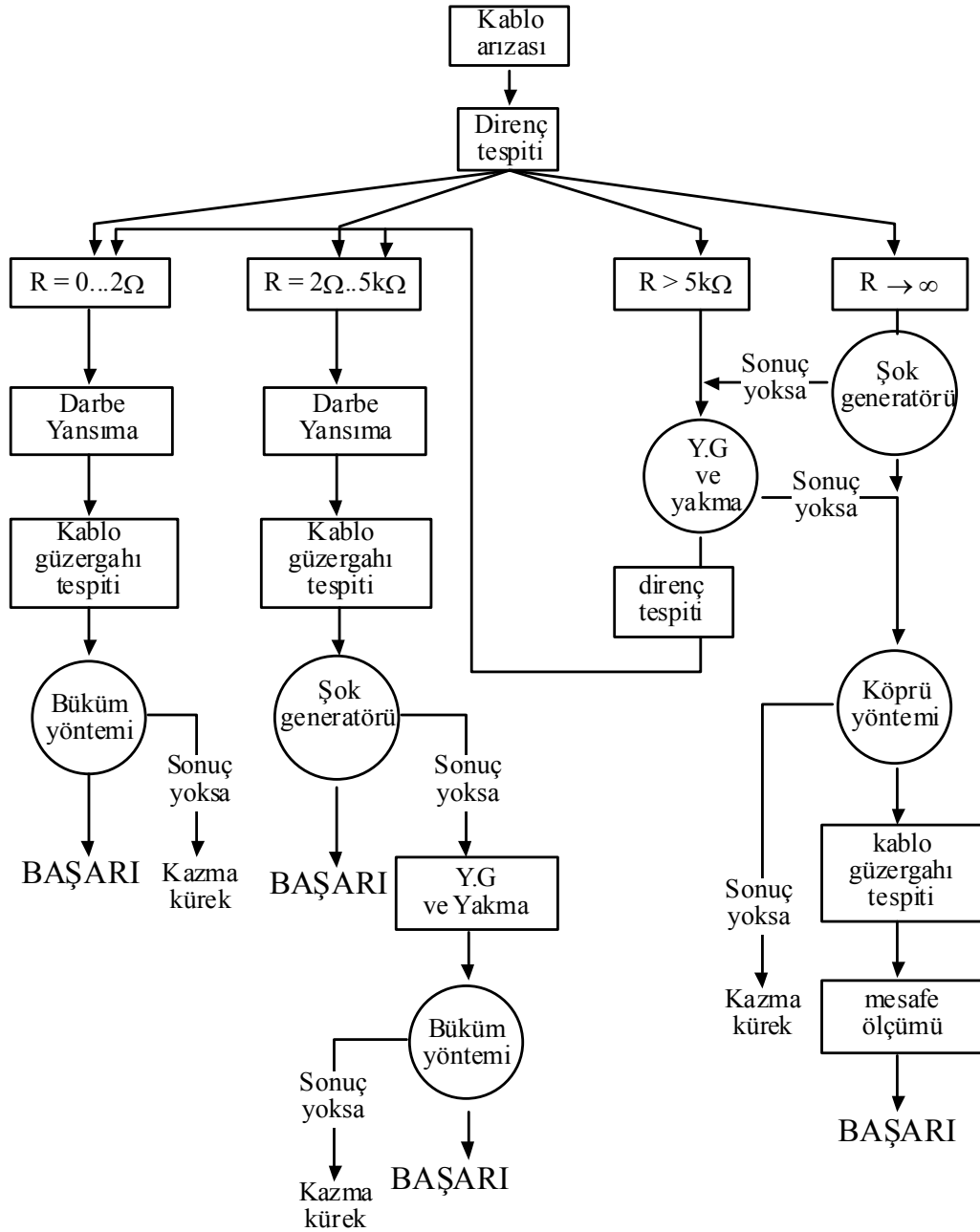
- Ölçüm yapılacak kablonun iletkenleri devre kesilmeden topraklanmamalı, topraklanana kadar temas edilmemelidir. Deney seti ve cihazı deneyden önce ve sonra kontrol edilmelidir.
- Deneyden sonra bütün kablo ve donanımları boşaltılmalıdır.

2.2.8.1. Kablolarda Arıza Yerini Belirlemek İçin Akış Diyagramı

a- Arıza Tipine Göre



b- Dirence Göre



2.3 Arıza Yeri Ön Tespiti

Ölçme ve arıza noktasını bulma zamanını mümkün olduğu kadar kısaltmak için arıza yeri tam tespitinden önce bir ön tespit yapılır. Eskiden klasik ölçme yöntemleriyle yapılan ön tespit bugün genellikle darbe-yansıma yöntemi ile yapılır. Bu yöntemin mantığı radar prensibine dayanmaktadır. Köprüler ile yapılan klasik ön tespit işlemleri birçok yardımcı bağlantılara, kablo karakteristiğinin tam olarak bilinmesine ve karmaşık hesap işleri gerektirirken, darbe-yansıma yöntemi ile yapılan ölçüm

basittir ve cihazın kullanılışı ve görüntünün değerlendirilmesi de daha kolaydır. Ancak arıza direnci bu cihazın kullanılma koşullarını sınırlandırmaktadır.

Darbe - yansıma yönteminin en önemli özelliği, fazla bağlantıya ve sağlam bir damara ihtiyaç göstermemesi, arızanın ekran üzerinde görüntülenebilmesi, birden fazla arızanın saptanabilmesi ve Y.G. ve A.G. şebekelerinde rahatlıkla uygulanabilmesidir. Darbe - yansıma aletleri ile tek veya çok damarlı Y.G. - O.G. kabloları, telekomünikasyon kabloları ve havai hatlarda ölçüm yapılabilmektedir.

Aygıtın kendi hata oranı oldukça düşük olup hata oranı ölçüm yapılan kablonun karakteristiklerine ve okuma hatalarına bağlıdır. Ölçümlerdeki hatalar başlıca şu nedenlerden dolayı oluşur:

- Darbe Yayılma Değeri:

Kabloya gönderilen darbe her kablonun devre özelliklerine göre değişik hızda hareket eder. Her kabloda bu değer farklılık gösterebilir.

- Arızanın Tanınması:

Darbe kabloya gönderildikten ve yansıma olduktan sonra ekranda oluşan görüntü bazen oldukça karmaşık olabilir. Bunun nedeni özellikle muf noktalarından gelen yansımalar ve branşmanlardan gelen yansımalar. Bu yansımalar ekrandaki dalga şeklini oldukça etkiler ve arızanın tanınmasını zorlaştırabilir.

- Güzergah Ölçümü:

Arıza yeri ölçümü yapıldıktan sonra saptanan arıza noktası mesafesini güzergah üzerinde bulurken yapılacak hatalar sonucu büyük oranda etkiler.

Bütün bu faktörlerin toplanmasıyla arıza noktası ancak kabaca tespit edilebilir. Bu nedenle ölçülen mesafenin güzergah üzerindeki tespitinde % 95–105'i arasındaki bir alan taranarak tam tespit yöntemleriyle kontrol edilmelidir.

2.3.1 Köprü Ölçümleri

Yeraltı kabloları ilk olarak Werner Siemens tarafından Almanya'da 1847 yılında kullanıldı. Yeraltı kablolarının kullanılmaya başlanması ile arıza tespit sorunları da ortaya çıktı. Kablo arızaları tespit tekniği ilk olarak İngiliz Varley tarafından 1848 yılında geliştirilmiştir. Daha sonra da yine İngiliz Murray'in geliştirdiği ve kendi adı

ile anılan köprü ölçme yöntemi geliştirilmiştir. Ancak elektriğin ilk olarak kullanılmaya başlanıldığı yıllarda doğru akım alternatif akıma göre daha çok tercih edildiğinden bu yöntemler doğru akım ile çalışmaktaydı. Doğru akım ile yapılan bütün ölçme yöntemleri “klasik ölçme yöntemleri” olarak adlandırılır [11]. Murray köprüsü ilkesine dayandırılarak değişik durumlar için birçok köprü sistemleri geliştirilmiştir. Klasik ölçme yöntemleri arıza yeri tespitinde 1940’lı yıllara kadar tek yöntem olarak uygulandı ancak bazı durumlarda arıza tespiti çok uzun süre alıyordu. 1945 yılında darbe – yansıma yönteminin kullanılmaya başlanmasıyla birlikte klasik yöntemler önemini yitirmişlerdir.

Köprü yöntemleri ile birkaç kohm civarındaki arızalar kolaylıkla bulunabilmektedir. Ancak enerji kablolarında oluşan yüksek dirençli arızalarda köprü yöntemi ile tespit yapmak olanaksızdır.

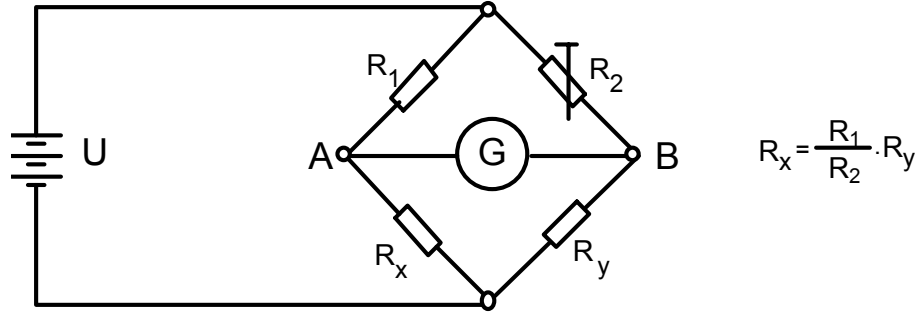
2.3.1.1 Klasik Köprü Prensibi

Kablo arızalarının tespitinde kullanılan tüm köprü yöntemleri Wheatstone köprüsünün değişik uygulamaları sonucu geliştirilmiştir. Wheatstone köprüsüne ait şema Şekil 2.3’te gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi $U(A-B) = 0$ olduğu takdirde;

$$\frac{R_x}{R_y} = \frac{R_1}{R_2} \quad (2.1)$$

$$l_x = l \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (2.2)$$

Arıza direncinin köprünün hassasiyetine bir etkisi yoktur, direnç yüksek olursa, gerilim de yükseltilir ve köprünün duyarlılığı artırılır. Bu köprü 2 ile 2000 metre uzunluğundaki kablolarda oluşabilecek 0,1 ohm’dan 50 Mohm’a kadar olan arızalarda kullanılabilir.

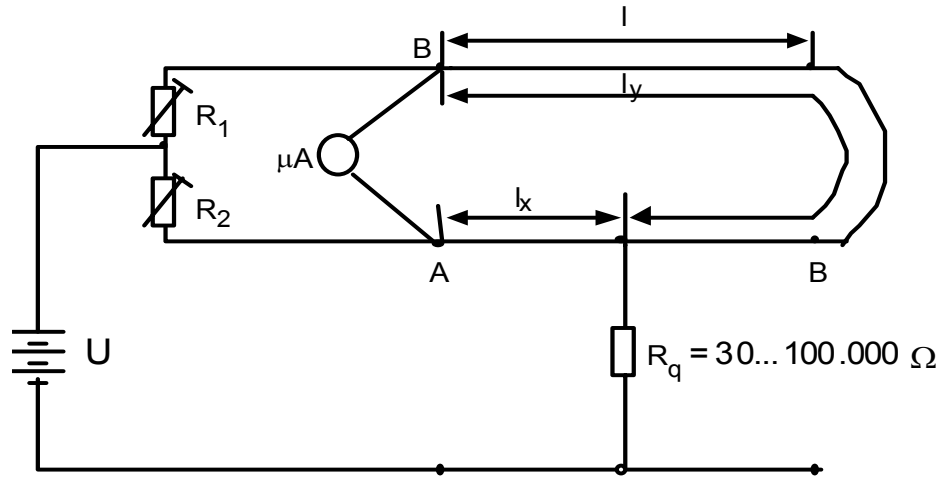


Şekil 2.3: Wheatstone Köprüsü.

Arızanın şekline ve ortama göre değişik köprü yöntemlerinden yararlanılır. En çok kullanılan iki yöntem olan Murray Yöntemi ve Hillborn yöntemi aşağıda açıklanmıştır.

2.3.1.2 Murray Yöntemi

Bu yöntemin uygulaması ve ölçmesi oldukça basittir. Kullanılan diğer köprü yöntemleri, Murray köprüsünün değiştirilmiş türleridir. Arıza mesafesi hesaplanması basittir. Şekil 2.4'te Murray Köprüsüne ait şema gösterilmektedir. Hesaplama işlemi için kablo uzunluğunun veya ölçüm devresinin direncinin bilinmesi gerekir [12]. Ölçüm, iki iç direnç kollarının kablo iletkenlerinin arıza noktasına olan uzaklıkları ile temsil edilen iki dış direnç kollarına karşı dengeleme ile yapılır. Dış çevrim oluşturmak için, sağlam damar ile arızalı damar arasında uzak bir noktada sıfır ohm dirence sahip bir kısa devre oluşturulmalıdır.



Şekil 2.4 : Murray Köprüsü.

Denge durumunda, yani $U(A - B) = 0$ olduğu takdirde, iç direnç kollarının oranı dış direnç kollarının oranına eşittir.

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_x}{R_y} \quad (2.3)$$

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_x}{R_x + R_y} \quad (2.4)$$

R_1 = Sağlam damara bağlı köprü kolu

R_2 = Arızalı damara bağlı köprü kolu

Kablonun birim uzunluğunun direnç değeri sabit olduğundan x ve y değerleri uzunluk olarak düşünülür. Bu durumda arızanın yeri;

$$l_x = \frac{R_2 (l_x + l_y)}{R_1 + R_2} \quad (2.5)$$

veya

$$l_x = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot (2l) \quad (2.6)$$

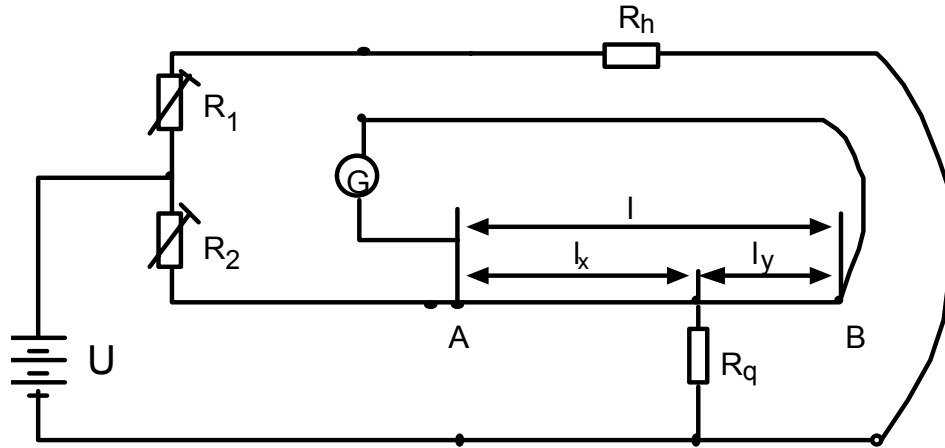
Bu yöntemin uygulanabilmesi için koşul ise kablo içinde aynı özellikte sağlam bir damarın mevcut olmasıdır. Aynı zamanda doğru bir ölçüm için dönüş hattının toprağa karşı olan yalıtım direnci değeri arızalı hattın direnç değerinin en az 1000 katı olmalıdır. Ayrıca arıza yerinin tespiti, kablo damarları boyunca birim uzunluk cinsinden direncin lineerliğine bağlı olması, deneyin uygulanmasında bir dezavantaj yaratır. Damar kesitlerinin değiştiği noktaların konumları önceden bilinmelidir. Çevrimin oluşturulabilmesi için kablo sonuna ulaşılması gerekmektedir.

Ancak bu dezavantajlara rağmen Murray çevriminin en önemli avantajı sonucun kesinliğidir. Arızalı iletken aynı kesitte sağlam bir iletkene bağlanır ve ayarlı bir direnç, bir tel veya iki bobinden oluşan direnç kutusu, çevrimin açık uçları boyunca

bağlanır. Çevrime paralel olarak bağlanan galvanometre, doğru akım kaynağı – ayarlı direnç veya direnç kutusu ile toprak arasındaki akımı ölçer. Kaynak gerilimini arıza direnci belirler, ancak çoğu kez bir batarya yeterli akımı sağlayabilmektedir. Bobin dirençleri ayarlanarak galvanometrede okunan akım değeri 0 ampere getirilir. Böylece sistem denge haline gelmiş olur. En iyi denge ya uygulanan gerilimi artırmak ya da akan akımın değerini azaltmakla sağlanır. Bu köprünün duyarlılığını etkileyen iki unsur; galvanometrenin duyarlılığı ve arıza boyunca akan akımdır.

2.3.1.3 Hillborn Yöntemi

Murray Köprüsünün geliştirilmiş şekli olan bu yöntemde Murray köprüsü yöntemi için gerekli olan, kablodaki ikinci bir sağlam hattın mevcut olmaması durumunda kullanılır [12]. Bu yöntemde köprünün bir kolu ek yardımcı hat ile sağlanmıştır. 500 metreye kadar olan kablo mesafelerinde rahatlıkla uygulanabilir. Şekil 2.5'te Hillborn Köprüsüne ait şema gösterilmektedir.



Şekil 2.5: Hillborn Köprüsü

Şekilde gösterildiği gibi bağlantılar yapıldıktan sonra arıza mesafesi aşağıdaki denkleme göre bulunur.

$$l_x = l \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_h} \quad (2.7)$$

2.3.1.4 Kesitlere Göre Arıza Mesafesi Hesabı

Ölçüm yapılan kablo hattı değişik kesitlerdeki kablolardan oluşuyor ise arıza mesafesinin belirlenebilmesi için en büyük kesitli kablonun kesiti baz alınarak bu kesite göre fiktif uzunluklar hesaplanır [11].

Örneğin A–B arası bir kablo hattı, ilk 100 metrede 70 mm² kesitli, ikinci 200 metrede 35 mm² kesitli, üçüncü 200 metrede de 10 mm² kesitli kablolardan oluşuyor olsun. Kesitlere göre kablo iletken direnci de değiştiğinden en büyük olan 70 mm² ye göre fiktif uzunlukları hesap edelim.

A–B arası gerçek uzunluk (m)	Gerçek kesit (mm ²)	Fiktif uzunluk (m)
100	70	100
200	35	400
200	10	1400
TOPLAM (m) :		1900

Ölçüm sonunda R₁ = 400 Ω ve R₂ = 800 Ω olarak saptanırsa;

$$l_x = 1900 m \frac{400 \text{ ohm}}{1600 \text{ ohm}} = 475 m$$

475 m olarak saptanan arıza mesafesi fiktif bir değerdir ve tekrar gerçek değerlere dönüştürülmesi gerekir.

A noktasından ölçüldüğüne göre 475 m'den gerçek uzunluk olan ilk 100 m çıkarılır.
475 m - 100 m (gerçek m) = 375 m (fiktif m)

375 m fiktif uzunluk 70 mm² ye göre hesaplanmış olduğundan, tekrar, kablonun ikinci bölümü olan 35 mm²'ye dönüştürülürse: 93,75 m bulunur. Buna göre arızanın A noktasından uzaklığı:

$$70 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots 100 \text{ m}$$

$$35 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots 93,75 \text{ m}$$

$$l_x = 193,75 \text{ m bulunur.}$$

2.3.1.5 Köprü Uygulamaları İçin Önkoşullar

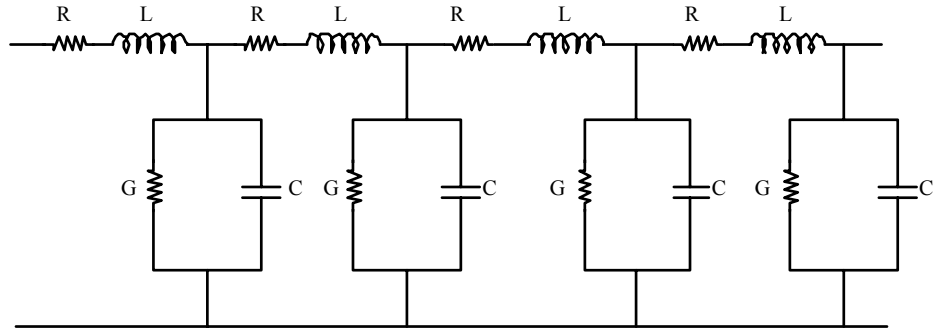
- Kablonun iki başı da bağlantı için serbest olmalıdır.
- Dönüş hattı gereklidir.
- Kablo sonunda bulan yük kısa devre etkisi yapacağından uzaklaştırılmalıdır.
- Bağlantı yapılırken köprünün akım ve gerilim kolları iletkenlere ayrı ayrı bağlanmalıdır.
- Branşmanlı ve değişik kesitli kablolu hatlarda kablo vaziyet planlarına ihtiyaç vardır.
- Köprü gerilimi 1 mA ile 100 mA'lık ölçme akımını sağlayabilecek kadar yüksek olmalıdır. Yüksek gerilim uygulandığında güvenlik önlemleri alınmalıdır.
- İki veya daha fazla arıza ölçümü yanlıtır.
- Köprü devresini etkileyebilecek yabancı akımlar ölçümü olanaksızlaştırır.

Bütün bu önkoşullar dikkate alınırsa köprü yöntemi uygulama alanının oldukça kısıtlı olduğu görülür. Bugün çok pratik ve kısa zamanda uygulanabilen darbe - yansıma yöntemi yaygın olarak kullanılmakta olup artık klasik köprü sistemleri önemini yitirmiştir. Darbe Yansıma Yöntemi, yeraltı kablo dağıtım şebekelerinde ve hava hattı iletim şebekelerinde en yaygın olarak kullanılan arıza yeri bulma yöntemidir [13].

2.3.2 Darbe – Yansıma Yönetimi (Pulse Echo, PE / Time Domain Reflectometry)

2.3.2.1 Hattın Yayılmış Sabitleri

Genel olarak bir dağıtım şebekesi birim değer (per unit) uzunluk olarak direnç (R), endüktans (L), hatlar arasında veya hat – siper arasındaki kapasite (C) ve iletkenlik (G) içerirler. Şekil 2.6'da gösterildiği gibi devrede hat uzunluğu boyunca kapasite ve iletkenlik paralel bağlanırken, direnç ve endüktans devreye seri bağlanır.



Şekil 2.6: Dağıtım Hattının Elektriksel Modeli

2.3.2.2. Dalga Empedansı

Bir kablo hattında dalga hareketi durumunda, kabloda endüklenen gerilimin endüklenen akıma oranı karakteristik empedans veya dalga empedansı (Z_0) olarak adlandırılır. Z_0 kablo hattının uzunluğuna bağlı değildir.

e: Anlık endüklenen gerilim (V)

i: Olayın olduğu aynı noktada endüklenen anlık akım (A)

$$Z_0 = \frac{e}{i} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (2.8)$$

Kayıpsız hatlarda ($R = G = 0$)

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.9)$$

Z_0 : Dalga empedansı (Ω)

L: Endüktans (H/m)

C: Kapasite (F/m)

2.3.2.3 Dalganın Yayılma Hızı

Bir dalga havada hareket ederse, yayılma hızı yaklaşık olarak $v_s = 300 \times 10^6$ m/ μ s olan ışık hızına eşit olur. v ; kablo yalıtkanının bağlı dielektrik sabiti ϵ_r olan bir dielektrik malzeme ile kaplı kabloda yol alan dalganın hızı olsun. Kablodaki yayılma hızı;

$$v = \frac{v_s}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.10)$$

Bu nedenle, bir dalganın kablo boyunca hareketinde; kablonun geçirgenliği farklı ise yayılma hızı da farklı olur.

$$v \approx c = 299778 \text{ km/s} \approx 300 \frac{\text{m}}{\mu\text{s}}$$

(2.11) Genellikle PVC yalıtkanlı kablolarda yayılma hızı yaklaşık 152×10^6 m/ μ s ile 175×10^6 m/ μ s arasındadır. Tablo 2.1’de farklı yalıtkan malzemelerdeki yayılma hızları gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Bazı Yalıtkan Malzemelerdeki Darbe Yayılma Hızı

Yalıtkan Malzeme	Yayılma Hızı (m/ μ s)
Yağ emdirilmiş Kağıt	150 171
Kağıt	216 – 264
PE	Yaklaşık 200
XLPE	156 – 174
PVC	152 – 175
PTFE	Yaklaşık 213
Hava	Yaklaşık 282

Bu değerler, yalıtım tipine, sıcaklığa ve kablonun yaşına bağlı olarak farklılık gösterebilirler.

2.3.2.4 Yansıma ve İletim Katsayıları

Dalga empedansı Z_0 olan bir kabloya darbe gerilimi uygulandığında, kabloda arıza varsa, arızanın olduğu noktadan bir yansıma ve iletim olur. Bu darbenin genliği ve polaritesi yansıma katsayısı r cinsinden şöyle ifade edilir;

$$r = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.12)$$

İletim katsayısı τ ;

$$\tau = \frac{2Z_L}{Z_L + Z_0} \quad (2.13)$$

$$V_r = r \times V_i \quad (2.14)$$

$$V_t = \tau \times V_i \quad (2.15)$$

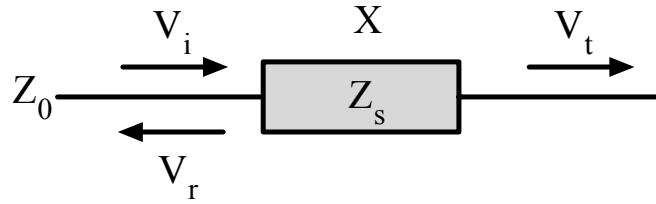
Z_L : Arıza noktasındaki yük empedansı

V_i : Arıza noktasındaki gerilim

V_r : Yansıyan gerilim

V_t : İletilen gerilim

a) Seri arızada yansıma ve iletim katsayıları



Şekil 2.7: Seri Arıza

Şekil 2.7’de gösterildiği gibi, Z_S kabloda x noktasındaki empedanstır ve Z_L yükten kabloyu gören empedanstır.

$$Z_L = Z_S + Z_0 \quad (2.16)$$

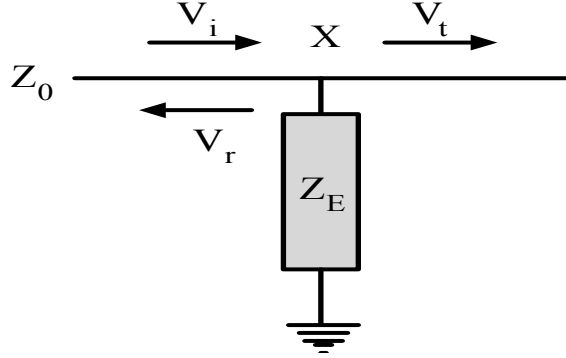
Denklem (2.12) ve (2.13) ten;

$$r = \frac{Z_S}{Z_S + 2 \cdot Z_0} \quad (2.17)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot (Z_S + Z_0)}{Z_S + 2 \cdot Z_0} \quad (2.18)$$

Kablo sonu açık devre olan kablolar için Z_S yaklaşık sonsuz olacağından denklem (2.17) den yansımaya katsayısı 1 bulunur.

b) Şönt arızada yansımaya ve iletim katsayıları



Şekil 2.8 : Şönt Arıza

Şekil 2.8’de gösterildiği gibi, Z_E kablonun X noktasındaki empedansdır ve Z_L yükten kabloyu gören empedanstır. Buradan;

$$Z_L = (Z_E // Z_0) = \frac{Z_E \cdot Z_0}{Z_E + Z_0} \quad (2.19)$$

Denklem (2.12) ve (2.13) ten;

$$r = \frac{-Z_0}{2 \cdot Z_E + Z_0} \quad (2.20)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot Z_E}{2 \cdot Z_E + Z_0} \quad (2.21)$$

Kablo sonu kısa devre olan kablolar için Z_E yaklaşık sıfır olacağından denklem (2.20) den yansımaya katsayısı -1 bulunur.

Güç kablolarında Z_0 değeri 15 – 80 Ω arasında değerler alacağından seri hatalarda ve şönt hatalarda arıza direncine göre yansımaya faktörünün değişimi Tablo 2.2 ve Tablo 5.3’teki gibidir.

Seri arızalarda $r = \frac{Z_s}{Z_s + 2 \cdot Z_0}$ dir. Z_0 değeri yaklaşık 50 Ω alındığında;

$$\% \text{ yansıma faktörü } r = Z_s / (2 \times 50 + Z_s) \times 100$$

Tablo 2.2: Seri Arızalarda Hata Direncinin Değişimine Göre Yansıma Faktörleri

Arıza Direnci $Z_s (\Omega)$	Yansıma Faktörü (%)
5 Mohm	99,998
100 kohm	99,9
1000 ohm	90,91
100 ohm	50
50 ohm	33,33
10 ohm	9,09
1 ohm	0,99

Şönt arızalarda $r = \frac{-Z_0}{2 \cdot Z_E + Z_0}$ dir. Z_0 değeri yaklaşık 50 Ω alındığında;

$$\% \text{ yansıma faktörü } r = -Z_0 / (2 \times Z_s + Z_0) \times 100$$

Tablo 2.3: Şönt Arızalarda Hata Direncinin Değişimine Göre Yansıma Faktörleri

Arıza Direnci $Z_s (\Omega)$	Yansıma Faktörü (%)
5000 ohm	-0,49
1000 ohm	-2,44
500 ohm	-4,76
100 ohm	-20
50 ohm	-33,33
10 ohm	-71,43
1 ohm	-96,15

Kablo boyunca yürüyen dalgaların, kablonun direncinden dolayı genliği azalır, kablonun kapasitesinden dolayı da eğimi azalır. Bu nedenle kablonun kesiti arttıkça darbenin kabloda ulaşabileceği mesafe artmış olur.

2.3.2.5 Arıza Yeri Tespiti

Bir dalga sinyali, arıza yeri bulunmak istenen bir kabloya gönderilir. Sonra dalga sinyali dalganın gönderildiği andan itibaren sayılan bir zaman sonunda geri yansır. Bu yüzden, arızanın olduğu nokta şu şekilde hesaplanır.

$$l_x = t \cdot \frac{v}{2} = t \cdot \frac{300 \times 10^6}{2 \cdot \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.22)$$

l_x : Arıza noktasına olan uzaklık (m)

t : Dalganın hareket süresi (s)

v : Dalganın kablodaki yayılma hızı (m/s)

ϵ_r : Kablo yalıtkanının bağıl dielektrik sabiti

Açık devrelerde, yansıyan dalga, gönderilen dalga ile aynı fazdadır. Ancak, kısa devrelerde, yansıyan dalga sinyali gönderilen dalga sinyali ile farklı fazdadır [14].

Kablonun yapısındaki, değişiklik gösteren her nokta, endüktans ve kapasitenin ve dolayısıyla dalga direncinin değişmesine sebep olur. Yansımalar ayrıca iki değişik kabloun bağlantı yerlerinde, faz değişimlerinde, ezilmelerde, muflarda, branşmanlarda ve benzeri yerlerde oluşur. Bu nedenlerle doğan dalga direnci değişikliği sonucunda gelen darbe tekrar geliş yönü istikametinde yansır. Buna karşın kabloun dalga direncine eş değerdeki arıza noktalarında, gönderilen darbe tamamen emilir, yansıma olmaz.

Ekranda darbenin gidiş ve geliş zamanları birlikte ölçüldüğünden formüldeki 2 katsayısına dikkat edilmelidir. Ekranda ölçüm noktaları, görüntünün yatay eksenden ayrıldığı noktalaradır.

Darbe yansıma yöntemine göre gidiş ve yansıma süresi birlikte ölçüldüğünden, yayılma hızı v , genellikle $v/2$ olarak verilir ve kullanılır. Darbenin gidiş-yansıma süresi, üzerinde gönderilen ve yansıyan darbeyi görüntüleyen, kalibre bir osiloskop ekranında ölçülür. Ekrandaki okuma, zaman değeri üzerinden, μs olarak yapılır.

Genellikle kabloun yapısı dolayısıyla yayılma hızlarında küçük farklar olabileceğinden, sağlam bir damar üzerinden $v/2$ değerinin saptanmasında daima

yarar vardır. $v/2$ değerinin saptanması için kablunun bilinen boyu, ekran üzerinde okunan zaman değerine bölünür.

$$\frac{v}{2} = \frac{\text{bilinen kablo boyu (m)}}{\text{zaman değeri } (\mu s)} \quad (2.23)$$

Örneğin 240 m olan bir kablunun boyu, ekran üzerinde 3 μs olarak ölçülürse:

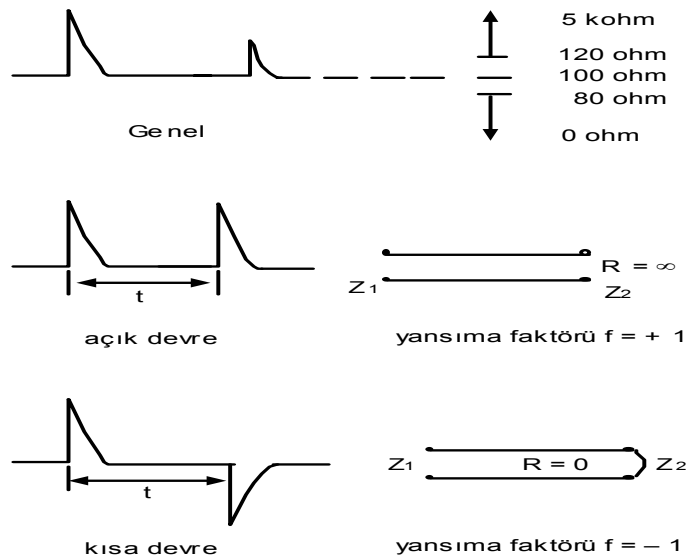
$$\frac{v}{2} = \frac{240 m}{3 \mu s} = 80 m / \mu s$$

Arıza mesafesinin tespiti de şu şekilde yapılır:

Örneğin $v/2$ değeri 80 m/ μs olan bir kabloda, arıza mesafesi ekranda 1,2 μs olarak okunursa:

$$l_x = \frac{v}{2} \times t = 80 m / \mu s \times 1,2 \mu s = 96 m$$

Yansıma faktörünün açıklamasında da belirtildiği gibi, ekranda, kısa devre ve düşük dirençli arızalar aşağı doğru, kopuklar ve yüksek dirençli arızalar ise yukarı doğru bir yansıma görüntüsü verirler (Şekil 2.9) [15].



Şekil 2.9: Kısa Devre ve Açık Devrede Arıza Sinyalinin Yansıması.

Dar ve dik çıkışlı darbeler ile hemen kablo başı yakınlarındaki arızalar dahi rahatlıkla tespit edilebilirler. Fakat dar ve dik çıkışlı darbelerin kablo üzerindeki kaybı yüksek olduğundan, uzun kablolarda yansıma görüntüsü düşer. Buna karşın uzun mesafelerde kullanılan güçlü ve geniş seçilen darbelerin kaybı az olmakla beraber, bu ölçümlerde okuma hatası daha yüksektir.

Bu nedenle yaklaşık 1 km'ye kadar olan arıza mesafelerinde dar ve dik çıkışlı darbe seçilir. Daha uzun mesafelerde ise kaybı küçük tutmak için, geniş çan tipi darbelerden yararlanılır. Darbe şeklinin seçimi aygıt üzerinde mevcut komütatör vasıtası ile yapılır.

Ölçme noktası (kablo başı) yakınlarındaki kısa devre arızaları, darbeyi önemli miktarda emeyeceğinden, bu noktanın arkasında başka yansımaların görülme olanağı ortadan kalkabileceği de ayrıca göz önünde tutulmalıdır.

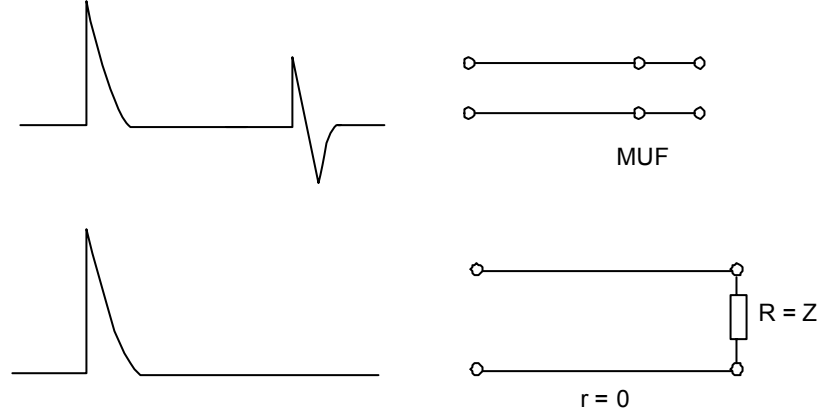
Darbe Yansıma Yöntemi şu nedenlerden dolayı Köprü Ölçüm Yöntemlerinden daha az duyarlığa sahiptir.

1. Ölçü başlangıç noktasının kesin yerini tayin etmede karşılaşılan zorluklar.
2. Yayılma hızının sadece yaklaşık değerler olması ve yayılma hızının, kablo boyunca ilerleyen şekli değişmiş darbenin frekansındaki değişimler sonucu değişmesi
3. Farklı kesitlerde ve farklı yalıtkan malzemelere sahip kabloların bağlanması durumunda yayılma hızında oluşan küçük değişiklikler.

2.3.2.6 Muflarda Darbe Ölçümü

Kablonun normal karakteristik noktalarından çeşitli yansımalara rağmen, gönderilen ölçme darbesinin büyük bir kısmı kablo üzerinde yayılmasına devam eder, arıza yerinden tamamen yansıyınca kadar, daha birçok yerlerden yansımalar meydana getirir. Bunun sonucunda ekran üzerinde, arıza yansımasının yanında, kablonun bünyesinden oluşan diğer birçok görüntüler ortaya çıkar. Bu görüntülerin büyük bir kısmını muflar belirler. Mufun tipik görüntüsü Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Yerleri bilinen bu mufların ekrandaki görüntüleri, her ne kadar arıza yerinin tespitinde yardımcı olursa da, bazı durumlarda değerlendirmede karışıklıklar da yaratabilir [11].

Örneğin, kablo başı yakınlarındaki bir muf yansıması, kablo sonlarındaki bir arıza yansımasından daha yüksek değerlerde bir görüntü verebilir. Bu görüntü farklarının nedeni, darbenin kablo üzerindeki gidişi ve yansıması sırasındaki kaybıdır. Kayıplar dikkate alınarak, ekranda aynı değerlerde görülen iki arıza yansımasından, kablo sonuna yakın olanına daha ağırlık tanınır.



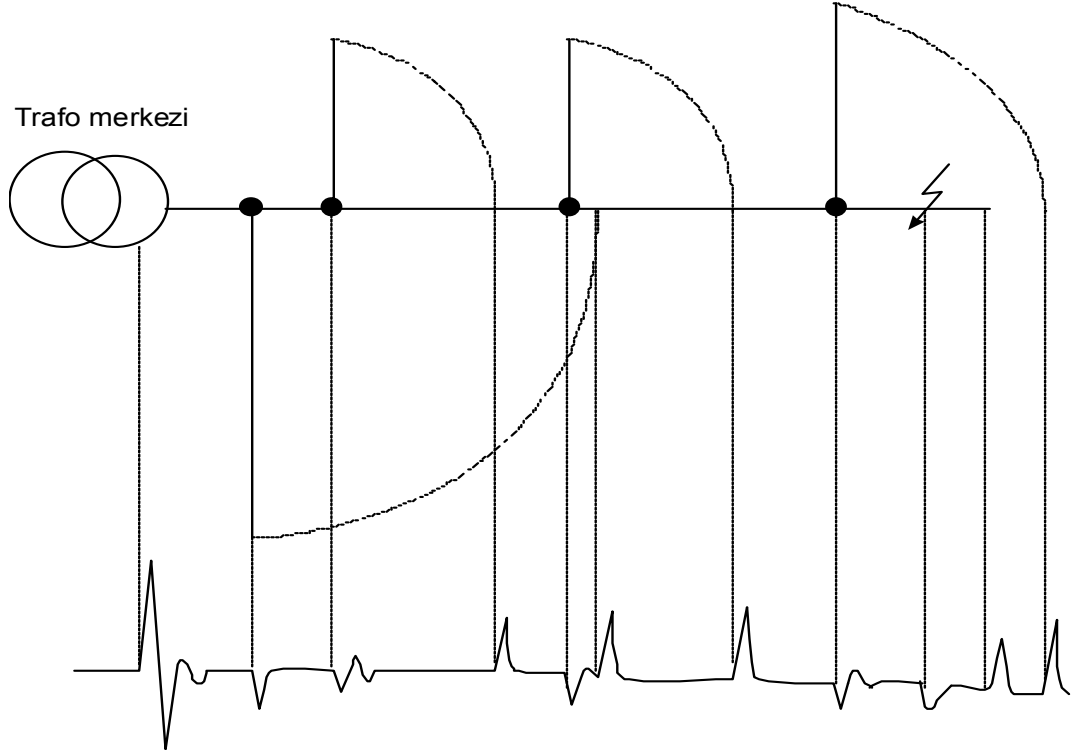
$$\text{Yansıma Faktörü} \quad r = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

Şekil 2.10: Muflarda Arıza Sinyalinin Yansıması.

2.3.2.7 Branşmanlarda Darbe Ölçümü

Eksiz ve herhangi bir branşmanı olmayan bir kablo üzerinde arıza tespiti basittir. Böyle bir kablodaki, düşük değerli veya kopuk arızalarının darbe yansıma yöntemi ile saptanması ne kadar kolay ise, branşmanlı kablolardaki ölçümler de o derecede karmaşıktır. Özellikle, ışıklandırma ve tüketici kolları olan, alçak gerilim devrelerinde bu ölçüm güçleşir.

Her branşman noktası (T-muf), bu noktada iki paralel direnç meydana gelmesi sonucunda, karakteristik kablo empedansının azalmasına sebep olur. Arızanın tanınmasını, okumayı güçleştiren esas unsur, branşmanlarda ve branşman sonlarında, gelen ve yansıyan darbenin tekrar yansıyarak birçok harmonik yansımalar oluşturmasıdır. Branşman sonları ve hat üzerindeki mevcut diğer empedans değişiklikleri de yine, iz düşümü olarak, ana kablo üzerinde görünür. Bu görüntülerin değerlendirilmesi ve arızanın saptanması oldukça zordur.



Şekil 2.11: Branşmanlarda Arıza Sinyalinin Yansıması.

Şekil 2.11’de görüldüğü gibi arıza yeri ile çıkan bir branşman sonunun iz düşümü, görüntüyü tanınmayacak şekilde etkileyebilir [11]. Değerlendirmede planlardan yararlanmak gerekir. Branşmanlardan oluşan yansımaların tanınması için, branşman sonlarında belirli aralıklarla kısa devre yapılmasının faydası olur. Bunun için telsiz ile yönetilen personelden faydalanılabilir ve arızanın branşman önünde veya arkasında olduğu saptanabilir. Branşmanlı kablolarda genellikle geniş ve güçlü darbeler daha iyi sonuç verir.

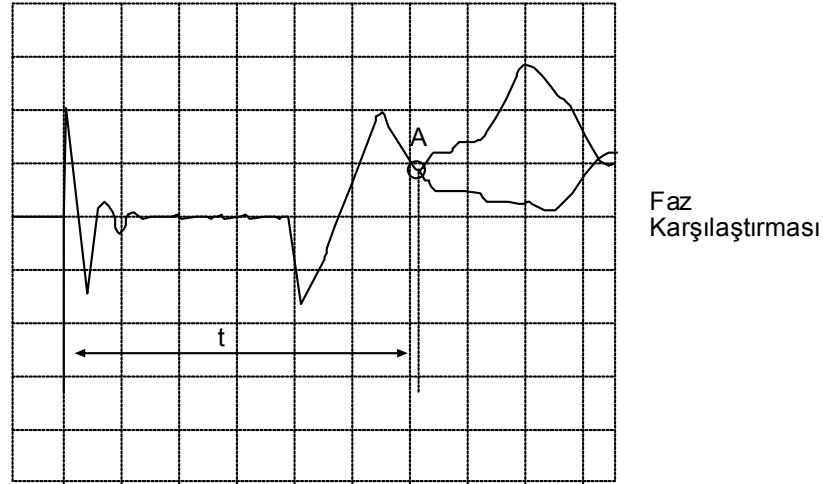
2.3.3 İkincil Darbe Yöntemi (Secondary Impulse Method, SIM)

Kablo arıza ön tespiti için geliştirilmiş en ileri yöntemlerden biri de İkincil Darbe Yöntemi’dir (SIM). Temel olarak Darbe Yansıma Yöntemine dayanır. Çok damarlı kablolarda damar görüntülerinin karşılaştırılması ve farklarının tespiti, darbe yansıma ölçümünü büyük oranda kolaylaştırır. Ancak arızanın yüksek dirençli olması nedeniyle sinyal alınamayan durumlarda darbe üretici ile ark yapılarak arızanın anlık düşük dirence düşmesi, dolayısıyla da ekometre sinyalini geçirmesi sağlanır.

Cihazın empedansı ile test kablusunun empedansı aynı olmak zorundadır. Aksi halde empedans farkından dolayı kablo başında tekrar bir yansıma meydana gelir. SIM’ın

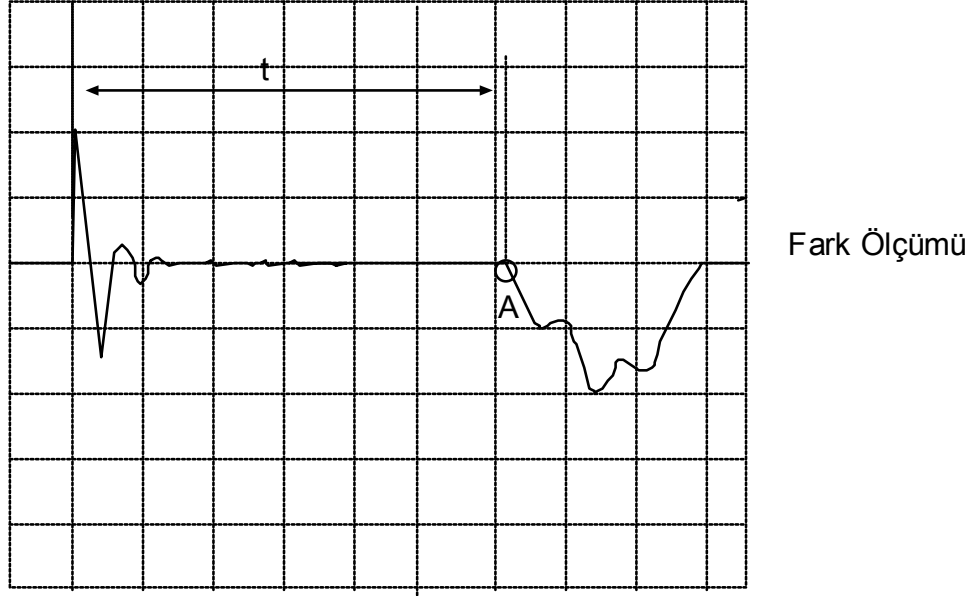
en önemli özellikleri; kolay kullanımı, çok yönlü uygulama alanı ve kolay anlaşılır ekogramdır. SIM Yöntemi kablo arızalarını yorumlamada kullanılan en kolay yöntemdir. Kablo arıza yeri uzaklıkları metre cinsinden bilgisayar ortamında gösterilir.

Karşılaştırma yönteminin uygulamasında, aynı kablonun iki veya daha fazla damarı cihaza bağlanır. Mekanik veya elektronik seri bir röle veya bir ateşleme devresi vasıtası ile arızalı ve sağlam damara sıra ile darbe verilir, iki damarın da görüntüsü ekranda belirir. Arıza noktasına kadar; iki iletken de aynı görüntüyü verir, fakat bu noktadan sonra birbirlerinden ayrılırlar. İki görüntünün birbirlerinden ayrıldığı nokta, ekran üzerinde arıza yeri olarak saptanır. Bu yöntemle en küçük ayrıcalıklar dahi tespit edilebilir. (Şekil 2.12)



Şekil 2.12: Karşılaştırma Yöntemi.

Fark yönteminde ise, arızalı ve sağlam bir damar, cihazın bunlar için öngörölmüş terminallerine bağlanır ve bunlara paralel olarak darbe verilir. Bu şekilde iki damardan da aynı anda ve aynı değerde yansıyan darbeler cihaz içinde kompanze edilir ve yalnız aralarındaki farklı noktalar görüntülenir; arızanın saptanması basitleşir. Fark yöntemini basit ölçümlerde de kullanmakta yarar vardır. Bu yöntem ile muf, kablo sonu, branşman ve benzeri özellikli yerlerden gelen yansımalar elimine edilir ve görüntü etkilenmez; arıza daha net görünür (Şekil 2.13).



Şekil 2.13: Fark Yöntemi.

2.3.4 Yakma İşlemi

Bazı arıza durumlarında ön yer tespiti yapabilmek için arıza direncini belirli bir değere düşürmek gerekmektedir. Bir arıza direncini düşürebilmenin en uygun yolu “yakma” işlemidir. Yakma işlemi için;

- Arıza direncinin azaltılabilmesi için yeterli büyüklükte bir gerilim,
- Arıza noktasında yalıtım malzemelerinin karbonlaşmasını sağlamak için yeterli büyüklükte akım,
- Bu büyüklükleri kontrol edecek gereçler

gereklidir.

Alçak gerilim şebekeleri için yaklaşık 3 kV doğru gerilim çıkışlı, 1-2 kVA gücünde taşınabilir cihazlar kullanılmaktadır. Bu tip cihazların alternatif gerilim çıkışları da olabilmektedir. Bu cihazlar ayrıca kablo kılıf arızaları gibi toprak temas arızalarının kesin yer tespitinde de kullanılırlar. OG ve YG şebekeleri için ise 15 kV doğru gerilim çıkış gerilimli ve yaklaşık 10 kVA gücünde olan cihazlar kullanılmaktadır. Bu cihazların bir çok tipinin 100 A’ye yaklaşan alternatif akım yakma setleri vardır. Bu cihazlar genellikle taşınabilir setler olmayıp ölçü araçlarında taşınırlar.

Yakma işlemi ile, sonradan yapılacak ölçüm için gerekli koşulları sağlayabilmek üzere, arızalı damar ile diğer bir damar veya zırh arasında dayanıklı, düşük dirençli bir köprü meydana getirilir. Bunun için önce, arıza yerinde ateşlemeyi sağlayacak, arkı meydana getirecek seviyede bir yüksek gerilim verilir. Bağlantı yapıldıktan sonra yakma aygıtı çalıştırılır ve gerilim yakma işlemi başlayıncaya kadar yükseltilir. Yakma trafosunun çıkış gerilimi yeterli gelmediği, çok yüksek dirençli arızalarda, YG üretici yakma trafosuna paralel olarak bağlanarak ön ateşleme sağlanır.

Yanma başladıktan sonra, ateşleme devamlı tutularak, gerilim düşürülür. Ateşleme kesilirse, tekrar bir üst gerilim kademesine geçilir. Bu şekilde gerilim düşürülerek ve akım yükseltilerek, arıza direnci istenen düzeye indirilir. Yakma işlemi sürecinde ve sonunda bir ohmmetre ile devamlı diren kontrolü yapılır.

Paralel bağlanan YG üretici yardımıyla ilk atlamalar gerçekleştirildiğinde arıza yerinde gazlar oluşur ve atlama geriliminin düşmesi sağlanır. Atlama gerilimi düştükten sonra yakma trafosu ile işleme devam edilir. Damar ve zırh arasında mavi renkli bir ark oluşur. Arkın oluşturduğu termik etki altında yalıtımın hidro-karbür bileşeni, karbon ve hidrojen olarak ayrılır. Buradaki enerji, yakma cihazının kabloya verdiği enerjiye eşittir. Enerji yüksek tutulursa, yalıtım malzemesi eriyerek iletkeni kaplar ve ark söner, tekrar ateşlenmesi zorlaşır.

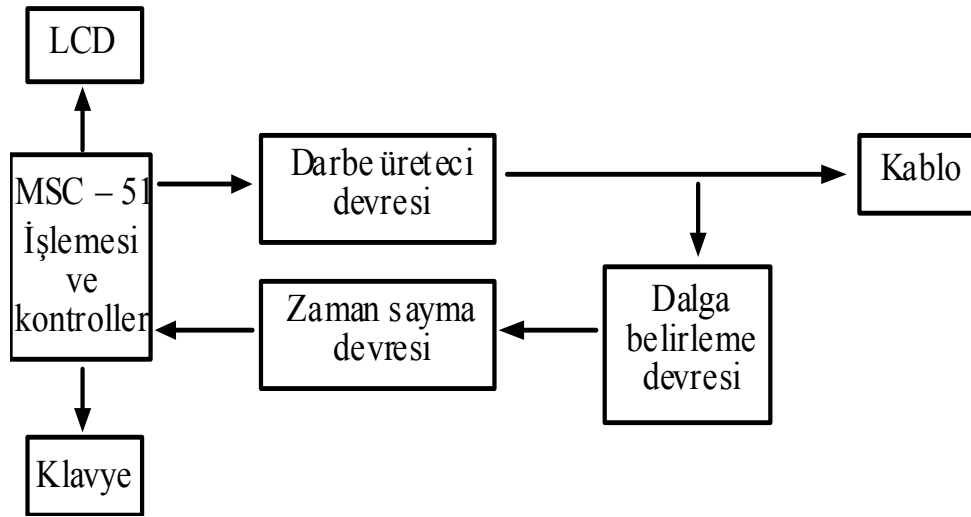
İşlemin başında enerjinin düşük tutulmasına dikkat edilmelidir. İlerlemeyi görmek için cihaz üzerindeki akım ve gerilim göstergeleri devamlı izlenir. Gerilim çıkıyor ve akım düşüyorsa, yakma işlemi tam olarak gerçekleşmiyor demektir. Ancak gerilimin düşmesi ve akımın çıkması ile optimal bir yakmaya yaklaşılabılır. Amaçlanan karbon köprünün oluşabilmesi için arıza yerindeki oksijenin tamamen yanarak bir koruyucu gazın oluşması gereklidir. Bu, arıza yerinde kılıfın sakatlanıp sakatlanmamış olmasına bağlıdır. Yakma işlemi sırasında kılıfın delindiği dikkate alınır, arıza yerine girecek oksijenin karbon oluşumundaki ters etkisi nedeni ile işlemin uzayabileceği veya imkansızlaşabileceği ortadadır.

İyi bir karbonlaşma arıza yerine verilen güce bağlıdır. Eğer akım gücü yüksek tutulursa oluşmuş karbon parçacıkları yanmaya başlar ve dağılır, bu durumda karbon oluşturulmasına tekrar yeniden başlamak gereklidir. Daha çok görülen bu yüksek güç hatasına karşılık eğer güç çok düşük tutulursa, bu kez karbonlaşmada ilerleme olmaz.

Oluşan karbon parçacıkları üzerinden akım kendi yolunu tayin eder, ark birdenbire söner. Bu olay gerilim göstergesinin üzerinde, gerilimin alçak fakat sabit bir değere düşmesi şeklinde görülür. Akımın yavaş yavaş yükseltilmesi, gerilimin düşürülmesi sonucunda birçok paralel karbon iletkenler oluşur. Yakma işlemi sonunda iki iletken arasında sert bir karbon köprü oluşur. Köprünün oluştuğu, akım ve gerilim göstergelerinin 1–2 dakika süreyle değer değiştirmemelerinden anlaşılır.

2.3.5 Darbe Yansıma Yöntemi ile Ölçüm Yapan Bir Cihazın Basit Tasarımı

Şekil 2.14’te darbe yansıma yöntemini kullanarak arıza yeri tespiti yapan bir dedektörün blok diyagramı gösterilmektedir.

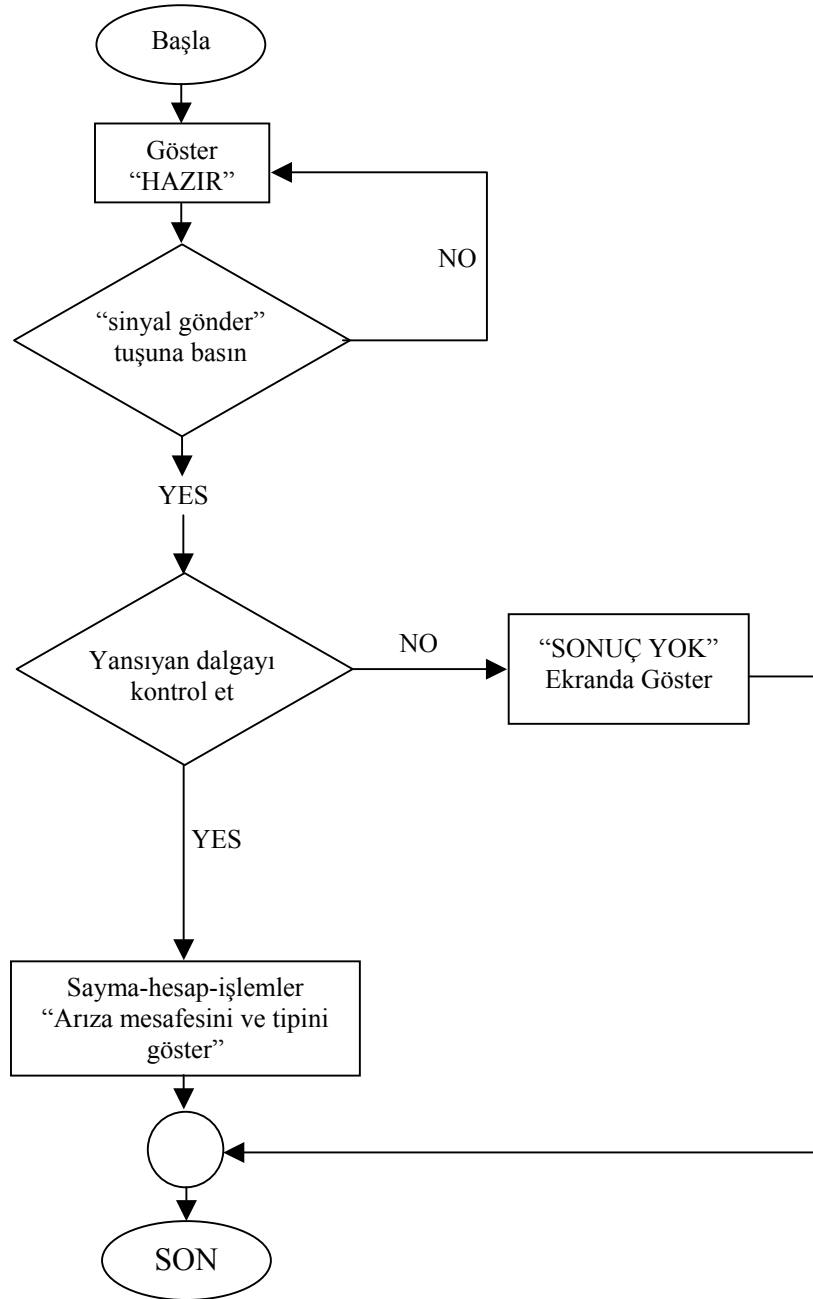


Şekil 2.14: Dedektör Blok Diyagramı.

Arıza yeri tespit dedektörü temel olarak 3 bölümden oluşur.

- 1) Darbe Üretici Devresi: Bu devre arıza taraması yapılmak istenen kabloya gönderilecek darbeyi üretir.
- 2) Yansıyan Dalga Tarama Devresi: Bu devre gönderilen ve arıza noktasından geri yansıyan dalgayı taramak için kullanılır. Devre karşılaştırma işlemi için 2 adet kuvvetlendirici devresi içerir. İlk kuvvetlendirici devre devresi gerilimin pozitif yansıyan dalgayı karşılaştırmak için, ikinci kuvvetlendirici devre ise gerilimin negatif yansıyan dalgayı karşılaştırmak için kullanılırlar. İki kuvvetlendirici devrenin çıkış sinyalleri “veya” kapıları ile kıyaslanarak devrenin çıkışına verilir.

3) Zaman Sayacı: Yansıyan Dalga Tarama Devresinin çıkışı, gerekli sinyali elde etmek için D flip-floplarını besler. Zaman sayıcı dalganın gönderildiği andan yansımanın kaydedildiği ana kadar geçen süreyi sayar ve devrede kullanılan mikroişlemciyi besler. Şekil 2.15’te sistemin işleyişi ve yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.15: Sistemin İşleyişi ve Yapısı.

2.4 Arıza Güzergahı Tespiti

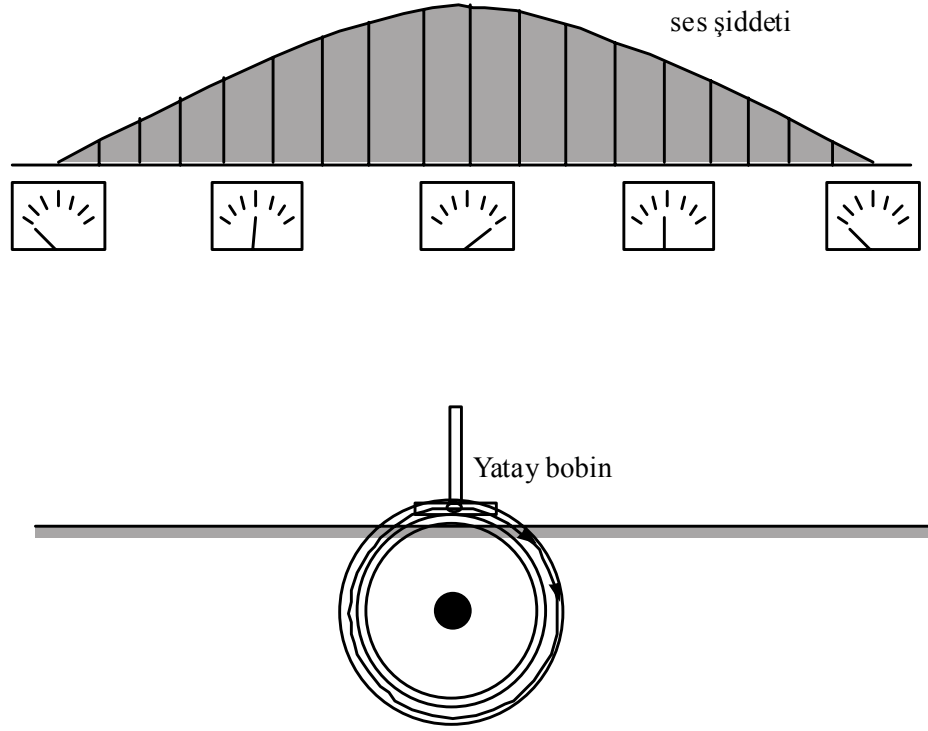
Ses frekans yöntemi olarak adlandırılan güzergah tespiti yönteminde, kabloya ses frekansında olan yüksek frekanslı bir akım verilir. Bu akım kablonun çevresinde elektromanyetik alan meydana getirir. Kablo ekseninde oluşan manyetik dalgalar dedektörün bobininde, bobin durumuna bağlı olarak, bir gerilim endükleme. Bobinin gerilim endüklemesi yükselteç üzerinden kulaklıkla dinlenerek güzergah tespiti yapılır. Bu işlemlerin yapılabilmesi için şu cihazlara gerek vardır;

- Ses frekanslı işaret üretici
- Yükselteç ve kulaklık
- Dedektör
- Çerçeve anten
- Kuplaj pensi
- Ayırma bobini
- Burgulu toprak sondaları

Ses frekanslı akım verilen kablonun güzergahı, dedektör bobini yardımı ile iki yönleme göre aranır.

2.4.1 Maksimum Yöntemi

Dedektör, yatay düzende içinden akım geçen kablonun üzerinde eksenine dik olarak hareket ettirilirse, akım yönüne dik bir alan oluşturan elektromanyetik dalgaların, kablo üzerinde yatay bir duruma girmesi ve bobin sargılarında bir gerilim doğurması nedeniyle kablonun tam üzerinde işaret maksimum olur (Şekil 2.16). Bobin kablo ekseninden yanlara doğru hareket ettirilirse, yatay bileşenler düştüğünden, endüksiyon da azalır ve bu şekilde sinyalin maksimum tespit edildiği nokta, kablo eksenine olarak belirlenir.

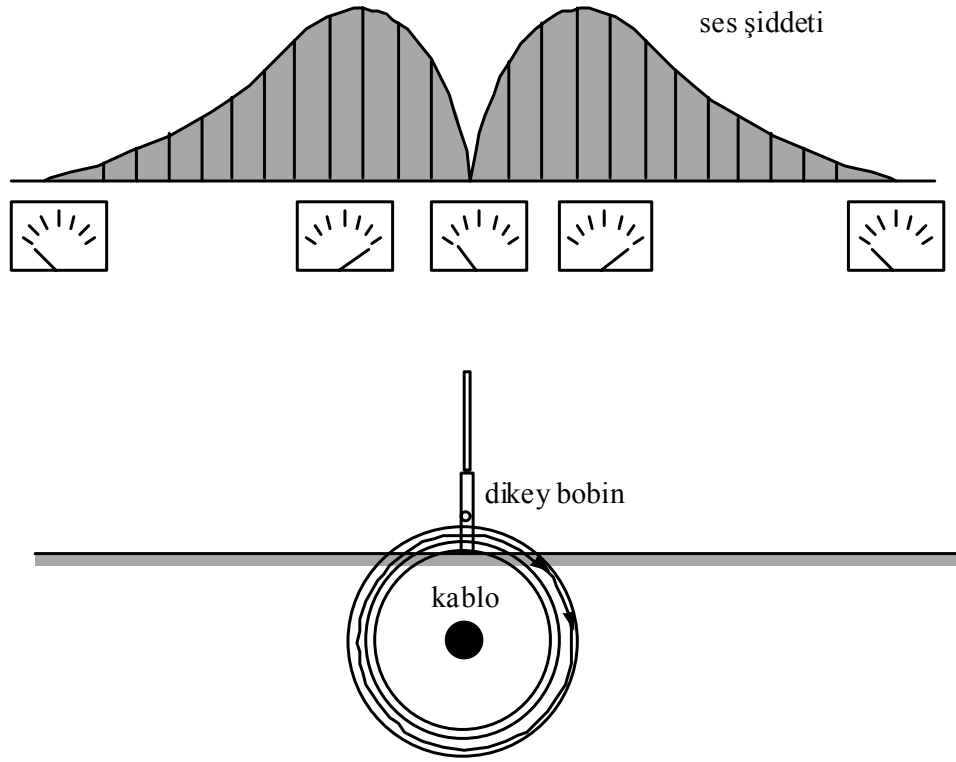


Şekil 2.16: Maksimum Yöntemi.

2.4.2 Minimum Yöntemi

Dedektör bobini dik şekilde kablo eksenini üzerinde bulunduğunda, kablo eksenini yönünde alan olmadığından bobinde bir endüksiyon oluşmaz. Bobin kablo ekseninin dışına sağa – sola hareket ettirildiğinde, dik alan bileşenleri bobinde bir endüksiyon oluşmasına neden olurlar ve iki maksimum arasında tespit edilen keskin bir minimum noktası kablunun eksenini olduğunu belirtir. (Şekil 2.17)

Ancak tek damarlı kablolarda, üreteç çıkışı iletken ile zırh arasına bağlanırsa, birbirlerine ters yönde birer akım, dolayısıyla ters yönde iki alan oluştururlar. Bu iki alan birbirini yok ettiğinden burada alan tespiti de yapılamaz.



Şekil 2.17: Minimum Yöntemi.

2.5 Arıza Yeri Tam Tespiti

2.5.1 Darbe Gerilimi Yöntemi ile Arıza Yeri Tam Tespiti

Günümüzde arıza yeri tam tespitinde en çok tercih edilen yöntem Darbe Gerilimi Yöntemidir. Darbe gerilimi yöntemi uygulanması için şu cihazlara ihtiyaç vardır.

- Darbe gerilimi üretici
- Akustik yükselteç (dinleme aygıtı)
- Özel kulaklık
- Yer mikrofonu (Geofon)

Darbe üreticinde yüksek gerilimle doldurulmuş olan darbe kondansatörleri belirli zaman aralıklarıyla boşaltılırlar. Darbe üreticinden gönderilen yüksek enerjili darbeler arızanın olduğu noktada atlama sesi yapar. Bu ses, mikrofon, alıcı ve kulaklıktan oluşan dinleme cihazları kullanılarak bulunur. Boşalma sesinin en yüksek duyulduğu nokta, mikrofonun kablodaki arızaya en yakın olduğu noktadır. Arızanın tam olarak bulunduğu noktada boşalma sesi en yüksek seviyede kaydedilir.

Arıza yerinin saptanmasını sağlayacak olan sesin, dolayısıyla akustik gücün yüksek olması, kondansatörlerde toplanan yükün yüksekliğine ve atlama aralığı üzerinden çok kısa süre içinde ve mümkün olduğu kadar kayıpsız olarak boşalmasına bağlıdır. Darbe üreticilerinde kullanılan gerilimler 8 – 16 – 32 kV ve enerjiler ise 750 – 800 W.s civarındadır. Kondansatörlerin doldurulma süresi R ve C değerlerine bağlı zaman sabitine göre olur [16]. Bir darbe üreticinde toplanan enerji aşağıdaki denkleme göre bulunur.

$$Q = \frac{C \cdot U^2}{2} \quad (2.24)$$

Darbe akımının hesaplanması ise denklem (2.25) de gösterildiği gibidir.

$$I_{tepe} = \frac{U}{\sqrt{\frac{L}{C}}} \quad (2.25)$$

Örneğin endüktansı 30 nH olan 32 kV'luk 1,6 µF kondansatörlü bir darbe üreticinde toplanan enerji;

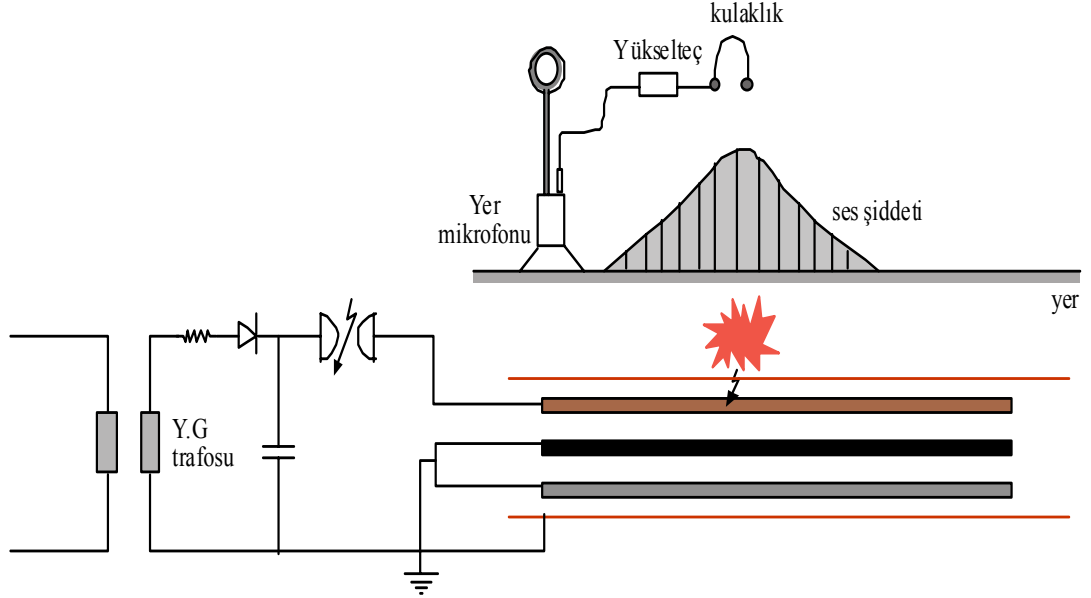
$$Q = \frac{1,6 \cdot 10^{-6} \cdot (32 \cdot 10^3)^2}{2} = 819,2 \text{ W}$$

ve akımın tepe değeri de;

$$I_{tepe} = \frac{32 \cdot 10^3}{\sqrt{\frac{30 \cdot 10^{-9}}{1,6 \cdot 10^{-6}}}} = 233,7 \text{ kA} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Darbe üretici tek fazlı gerilim ile çalışan, yüksek gerilim üreterek bünyesindeki yüksek güçteki kondansatörleri kısa zamanda dolduran ve belirli aralıklarla kondansatörlerde toplanan enerjiyi seri olarak arıza üzerinden boşaltabilen bir cihazdır. Cihaz üzerindeki potansiyometre ile uygulanacak gerilim % 0 – 100 aralığında ayarlanabilir. Ayrıca cihaz üzerinde yüksek gerilim göstergesi, uyarı lambaları ve kumanda butonları bulunur.

Cihaz topraklanarak canlı çıkış mümkün olduğu kadar kısa ve en az 16 mm² kesitli kablo ile arızalı iletkene, diğer çıkışı ise ekran, kılıf ve nötr hattına bağlanır. Kablo sonları kısa devre yapılarak topraklanır. Daha sonra atlamayı gerçekleştirebilecek bir gerilim kademesi seçilerek darbe gerilimi kabloya verilir. Atlamalar başladıktan sonra, yükselteç kulaklık ve ye mikrofonu ile önceden belirlenmiş veya aynı anda tespit edilen kablo güzergahı üzerinde 0,5 – 1 m aralıklarla aramaya başlanır. Arıza yerinin gerisi ve ilerisindeki noktalarda ses şiddeti ve endüksiyon alanı daha düşüktür. Arıza sesi arıza yerinin hemen üzerinde en şiddetli halini alacak ve bu şekilde arızanın yeri de saptanmış olacaktır. Şekil 2.18 de Darbe Gerilimi Yöntemi ile arıza noktasının tam tespiti gösterilmektedir.



Şekil 2.18: Darbe Gerilimi Yöntemi ile Arıza Noktasının Tam Tespiti.

Darbe gerilimi yöntemi arıza direnci çok düşük olmayan arızalarda uygulanabilir. Yakma işlemi ile küçük değerlere dönüştürülen karbon köprüler darbe gerilimi uygulamasında çözülür ve darbe gerilimi için gerekli direnç ortamı sağlanır. Genellikle 10 Ω dan düşük dirençli arızalarda darbe gerilimi yöntemi uygulanmaz.

Darbe gerilimi, kablo çalışma geriliminin 6 katı kadar olabilir. Darbe gerilimi uygulamadaki amaç arıza noktasında bir atlama oluşmasını sağlamaktır. Ancak bazı zeminler akustik etkiyi önemli miktarda emdiğinden, sağlıklı bir izleme için büyük güçte bir darbeye ihtiyaç olabilir. Yumuşak toprak, balçıklı zeminler, arıza noktasının kablounun altına rastlaması, kablo kılıfının delinmemiş olması ses iletimini

büyük oranda engelleyebilmektedir. Atlamaların doğurduğu akustik işaret bir metre çaptaki alanda yayılır. Bu nedenle kablo güzergahı tam olarak bilinmelidir.

Kablo güzergahının tam olarak bilinmesi koşulu göz önünde bulundurularak, bunun kolaylıkla ve seri bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için, modern yer dinleme mikrofonları aynı zamanda bir de arayıcı bobin ile donatılmıştır. Darbe gerilimi uygulanan kabloya, paralel olarak, güzergah tespiti için bir ses üretici bağlanır. Bu kuplaj, kabloya yüksek gerilim uygulandığında, bir endüktif pens veya kadran anten ile sağlanır. Bu ses frekansı beslemesi ve mikrofondaki arayıcı bobin yardımı ile atlama sesi dinlenirken, aynı zamanda da kablo güzergahı tespit edilmiş olur. Bu iki sinyalin alınmasında, yine diğer işlemlerde kullanılan yükselteçten yararlanılır.

Arıza yerinde endüksiyon yükselmesi ile meydana gelen alan yükselmesi de bu bobin tarafından tespit edilebildiğinden, arıza yerinin saptanması, özellikle çevre gürültüsünün yüksek olduğu yerlerde daha kolaylaşır. Darbe gerilimi uygulamasında, kablonun öbür ucunda, bir atlamayı önlemek üzere, bütün uçlar birleştirilerek topraklanır ve güvenlik önlemleri alınır. Uygulamalar, kablo sonuna çok yakın (8–10 m) arızaların dahi bu yöntem ile saptanabileceğini göstermiştir.

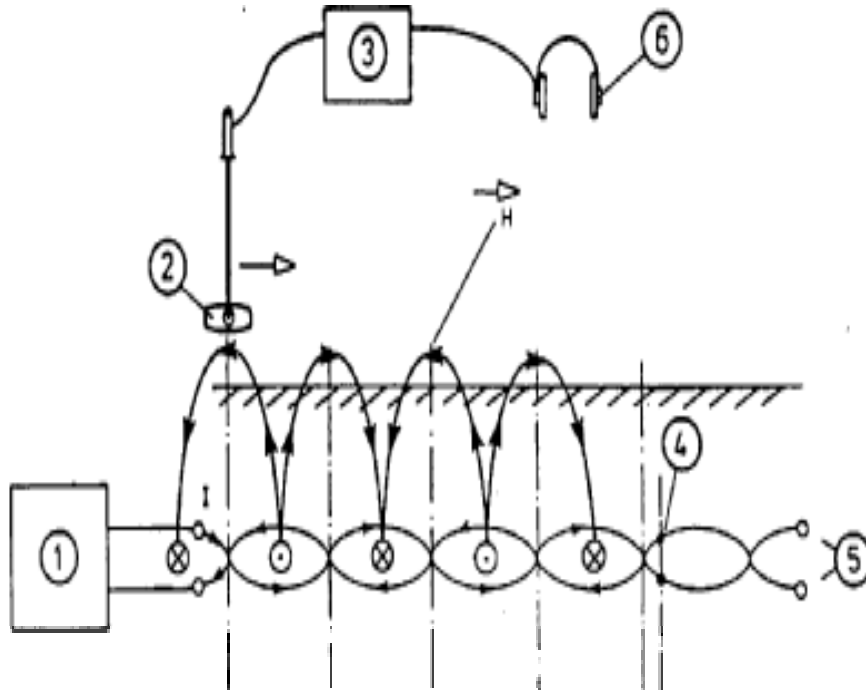
Darbe yöntemi çok kullanılıyor olmasına rağmen istatistiklere göre başarıya ulaşma oranı % 65 civarlarındadır. Çünkü tam kısa devre arızalarında, arızanın çok derinde ve yumuşak toprakta olması gibi durumlarda atlama sesi duyulmaz, yine kılıfı aşamayan yani mikrofona ulaşamayan işaretlerinde saptanma olasılığı yoktur.

Darbe yönteminde kablonun ekranına atlama sağlanamayan durumlarda, kablo eğer çok damarlı ise sağlam olan iletkenin kablo başında ekran ile aynı potansiyele getirilerek, atlamının arızalı damardan sağlam damara olması sağlanabilir. Ayrıca atlama darbe üretici ile sağlanamıyorsa, yani atlamayı sağlamak için darbe üreticinin ürettiği gerilimden daha yüksek gerilimler gerekiyorsa, bu durumda başka bir yüksek gerilim üreticinden faydalanılabilir. Bu durumda kablodaki sağlam olan iki iletken bir kapasite gibi çalıştırılırken, atlama bir atlama aralığı üzerinden gerçekleştirilir.

2.5.2 Bükme Yöntemi ile Arıza Yeri Tam Tespiti

Düşük dirençli arızalarda, arıza noktasında atlama sağlanamayacağından darbe gerilimi ile arıza yeri tam tespiti olanaksızdır. Bu nedenle bu gibi düşük dirençli arızalarda endüktif bir arama şekli olan Bükme Yönteminden yararlanılabilir.

Bu yöntemde yüksek akımlı ses frekanslı sinyal üretici arızalı iki iletkeni bağlanarak sonları köprülenir. Arızalı kablounun iki damarı üzerinden yüksek akımlı (10 ila 30 A) ses (2 kHz) frekanslı sinyal verilir. Pratik bir uygulama için reaktif akım kompanzatörlü güçlü ses frekans üreticine (600 VA) gerek duyulmaktadır. Daha önce belirlenen güzergahta sonucu tayin edecek manyetik alan zemin yüzeyinden ölçülür. Çok damarlı kablolarda damarlar bükümlüdür. Yükselteçte, damarların büküm boylarına bağlı olarak ritmik bir işaret alınır. Her tam büküm bir maksimum endüksiyon olarak kulaklıkta duyulur. Dedektör bobini bu ölçmelerde yatay ve dikey olarak kullanılabilir. Bu ritmik endüksiyon, kısa devre arızası noktasına kadar devam eder, arıza noktasında endüksiyon birdenbire yükselir ve ondan sonra tamamen kaybolur. Bu şekilde arıza yerinin tam tespiti sağlanır. Şekil 2.19'da Büküm Yöntemi ile arıza yeri tam tespiti gösterilmektedir.



Şekil 2.19: Büküm Yöntemi ile Arıza Yeri Tam Tespiti.

- 1) Ses frekanslı verici (2 kHz)
- 2) Arama bobini
- 3) Ses frekanslı alıcı
- 4) Damarlar arası arıza (< 10 ohm)
- 5) Kablo iletkenleri
- 6) Kulaklık

Bükme Yöntemi ile daha çok kablo bağlantıları bulunur. Büküm yöntemi T-kollu şebekelerde büyük avantaj sağlar. Çünkü bu tür şebekelerde büküm sinyali her zaman arızanın yönündedir. Tüm sağlam kablolarda düşük sinyal verirler. Büküm sinyallerinin yok olduğu noktada arıza geçilmiş demektir.

Eğer kablo içindeki arıza, iki damar arasında ise düşük empedanslıdır (2 Ω). Bu tür arızalar (düşük empedanslı) için büküm yöntemi en başarılı yoldur. Eğer arıza, kablonun metal yüzeyine teması arızası ise bu durumda arızayı bulmak için oldukça karmaşık bir durum ortaya çıkmaktadır. Eğer metal yüzey topraktan ayrılırsa büküm yöntemi uygulanabilir.

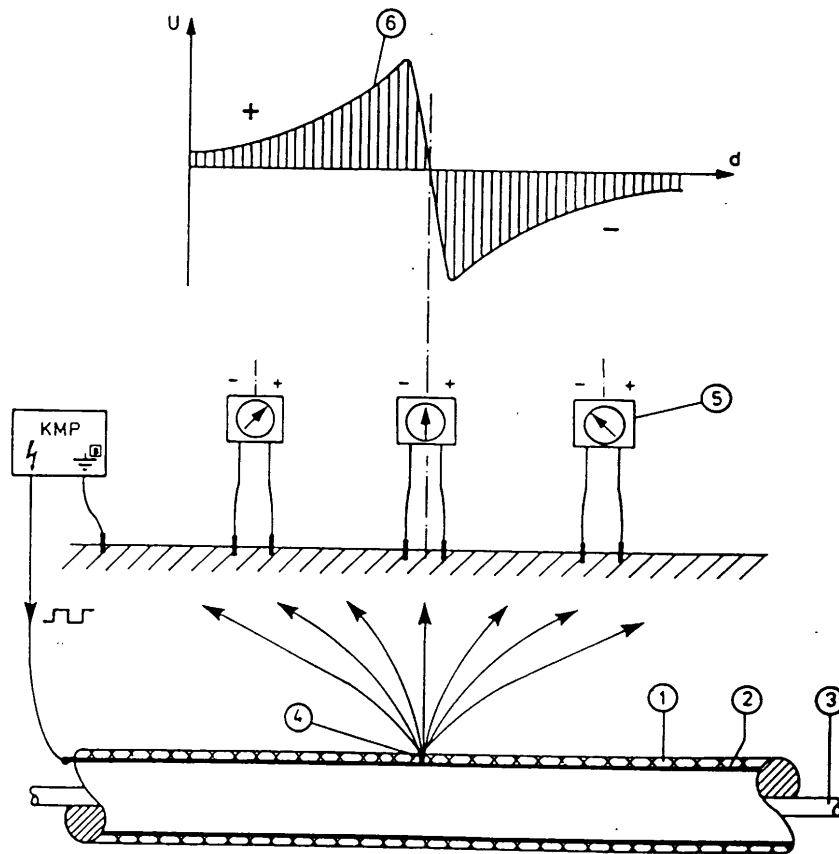
2.5.3 Kılıf Arızaları

Kablolarda en çok PVC ve PE dış kılıflar kullanılmaktadır. Kablonun dış kılıfında meydana gelebilecek küçük bir sakatlık, bu noktada alüminyum zırhın korozyona uğramasına yol açabilir. Sakatlanmalar genellikle daha öncede belirtildiği gibi döşeme ve montaj sırasındaki sürtünmelerden ve zemindeki taşlardan meydana gelir. Bu yüzden kılıfın zarar görmesini engellemek için, bol kumlu bir zeminin hazırlanması şarttır. Kılıfın herhangi bir noktasından zedelenip delinmesi, buradan girecek toprak ile hemen zırh korozyonu başlamakta ve ilerde kablonun arızalanmasına yol açmaktadır. Uzun süre çalışır durumda olan bir kabloda PVC kılıf zamanla, çeşitli zorlanmalar altında, özellikleri kaybedebilir. Bu nedenle periyodik kontrollerde 5 kV doğru gerilimi uygulanmalıdır. Hasar görmemiş bir PVC kılıf 5 kV doğru gerilimde 1,5 ile 2 mA/km den fazla akım çekmemesi gerekir.

Ne kadar dikkat edilirse edilsin döşeme ve montaj sırasında oluşabilecek kılıf zedelenmeleri çoğu zaman önlenememektedir. Kablo arızalarının büyük bir kısmı kılıf sakatlanmaları sonucu oluşmaktadır. Örneğin zaman zaman görülen bir toprak kaçağı, PVC dış kılıfın dış etkiler altında sakatlanması sonucunda ortaya çıkar.

2.5.3.1 Kılıf Arızalarının Tespiti

Kılıf arızasının tam yer tespiti için öncelikle doğru akım kaynağı yalıtılmış metal yüzeye ve topraklamaya bağlanır. Kabloya verilecek akım mutlaka dikkatlice ayarlanmalı, arızanın olduğu yerde daha büyük problemlere sebep olmamalıdır. Akım yolu metal zırh üzerinden tamamlanır. Toprak yüzeyindeki adım gerilimi iki prob (sonda) ile ölçülür. Arıza yeri yakınlarında bir gerilim yükselmesi görülür. Doğru gerilim uygulamasında aynı zamanda arıza yerinde bir kutup değişmesi de olduğundan, kaçak yeri tespiti rahatlıkla yapılır. Arızanın bulunduğu nokta geçilir geçilmez alıcı arızanın bulunduğu noktayı işaret eder ve işaret kutuplarını değiştirir. Bu yöntem çok kolaydır. Bu yöntemin en önemli özelliği aynı kablo üzerinde bir çok kılıf hatasına uygulanmasıdır. Şekil 2.20’de bu yöntemin uygulaması gösterilmektedir.



Şekil 2.20: Kablo Kılıfı Arıza Tespiti.

Şekil 7.3'teki kablo kılıfı deney seti (YG DC kaynağı) şu elemanlardan oluşmaktadır;

- 1) Kablo kılıfı
- 2) Metal siper
- 3) İletken (damar)
- 4) Kablo kılıf arızası
- 5) Toprak propları ile alıcı
- 6) Görülen gerilim işareti

2.6 Genel Deneyler

2.6.1 Doğru Gerilim Deneyi

- Yüksek doğru gerilim deneyi, damar – damar veya damar – zırh arasında yapılabilir.
- Yüksek doğru gerilim deneyinde deney gerilimi için kesin bir değer yoktur. Her ülke ve organizasyon kendi deneyimlerine göre değişik gerilim seviyeleri kullanmaktadır. Örneğin Almanya ve civarındaki ülkelerde VDE'ye göre $U_0 \times 6$ ve IEC'e göre $U_0 \times 4$ kullanılmaktadır. Genel olarak kabul edilen ise 30 kV'a kadar $U_0 \times 6$, daha yüksek gerilim değerleri içinse $U_0 \times 4$ önerilmektedir.
- Genel deneyime göre, doğru gerilim deneyinde $U_0 \times 2,5$ için 10 kV'luk kablonun çalışma gerilimi 5,8 kV civarında olduğundan $5,8 \times 2,5 = 14,5$ kV deney gerilimi ya da 34,5 kV'luk kablonun çalışma gerilimi 20,3 kV olduğundan $20,3 \times 2,5 = 50,75$ kV deney gerilimi, alternatif gerilim deneyinde ise $U_0 \times 2$ için $5,8 \times 2 = 11,6$ kV ve $20,3 \times 2 = 40,6$ kV olarak kullanılabilir.
- Yüksek doğru gerilim deneyinde yalıtımdan akan akım vardır ve sabittir. Sağlıklı kablolarda $5 - 20 \mu A/km$ civarında olup bunun $2/3$ 'ü kablo başı (korona) kayıplarında meydana gelir. Bu yüzden deney sırasında ilk 1 – 2 dakikalık süre geçtikten sonra akım sabit kalmalı aksi halde kabloda arıza olabilecek kuşkusu doğmalıdır. Korona kayıpları, küre şeklindeki kablo başlıkları ile yarı yarıya azaltılabilir. Ayrıca deneyden önce izolatörlerin alkol/benzin benzeri maddeler ile temizlenmesi gerekir. Böylece burada biriken parçacıklar iletken görevi görmez.

- Doğru bir akım değeri bulabilmek için sağlıklı damar ölçülerek sabit akım, arızalı damar akımı ile karşılaştırılabilir.
- Deneyde kullanılan kabloların yalıtımı yüksek olmalıdır. Aksi halde ölçülecek olan kablo değil deney kablosunun yalıtım akımı olur.
- Deney sırasında kullanılmayan damarların topraklanması doğru sonuç alma açısından çok önemlidir. Çünkü deney sırasında bu damarlarda gerilim endüklenebilir. Bu da deney sonucunun bozulmasına neden olur.
- Deney sırasında kabloda enerji birikir. Bu yüzden deney sonrası topraklama çok önemlidir ve topraklama süresi deney süresinin en az 4 katı olmalıdır.
- Deneydeki gerilim üretici YG çıkışını sabit olarak verebilmeli, aksi halde yalıtımdan akan akım, %1-2 gerilim değişimi için %70-80 değişme gösterecektir. Bunun içinse, deney üreticinin kondansatörünün kapasitesi küçük, toprağa karşı yalıtımının da çok iyi olması gerekir.
- Akım değişiklikleri arızanın habercisidir. Ancak bazı arızalarda direnç yavaş yavaş düşer fakat deney geriliminde dahi atlama olmayabilir. Atlama ancak deney geriliminin uzun süre uygulanması ile olabilir.

2.6.2 Alternatif Gerilim Deneyi

Alternatif gerilim deneyi, doğru gerilim deneyi kadar pratik değildir çünkü deney sırasında gereken reaktif bileşenlerden dolayı çok güçlü üreteçler gerekmektedir.

2.6.3 Çok Düşük Frekanslı (VLF) Gerilim Deneyi

Temel olarak kısmi boşalma ve kayıp faktörü ölçümlerine dayanan bir yöntemdir. Diğer yöntemlerden farkı, arıza oluşmadan ölçüm yapılarak, arıza oluşabilecek noktaların saptanmasını veya cihazın genel durumu hakkında bilgi edinilmesini sağlamasıdır. VLF deneyinde çok düşük frekanslı gerilim kullanıldığından kabloya zarar verme de söz konusu değildir.

Kısmi boşalma ölçümünde esas olan arıza yapacak kablonun bu arıza noktasında tıpkı bir barajın çökmeden önce su kaçırmaması gibi kısmi ve çok az miktarda kaçan elektrik akımının saptanmasıdır.

Kayıp faktöründe ise genel olarak kablo veya cihazın kaçak akımının karakteristiği ölçülür ve tanδ değeri saptanarak kablonun genel durumu hakkında bilgi edinilir. Doğru gerilim deneyinin periyodik olarak yapılması gibi, VLF yöntemi ile kısa zaman aralıkları ile deneyler yapılarak kablolar arızalanmadan önlem alınabilir.

2.7 Günümüzde Kullanılan Deney – Ölçü Araçları ve Arıza Tespit Cihazları

Daha önce de belirtildiği gibi enerji kesilmesinin ekonomik etkileri göz önüne alındığında, arıza yerinin en kısa sürede tespit edilerek tüketicilere kesintisiz enerji verme sorumluluğu dağıtım şirketlerine ve sorumlu personele ağır yükler getirmektedir. Son yıllarda geliştirilen modern tespit aygıtları bu yükü biraz olsun hafifletebilmektedir.

Arıza tespit cihazları olarak, taşınabilir teçhizatların mı yoksa test – ölçü araçlarının mı tercih edileceğine etki eden değişik faktörler vardır. Bu faktörler;

- Maliyet
- Arıza tespiti yapacak personelin organizasyonu
- Mesafeler
- Arazi
- İklim
- YG test gereksinimleri
- Güç gereksinimleri
- Operasyonel güvenlik

2.7.1 Test - Ölçü Arabaları

Birçok değişik arıza tipleri karşısında, bir yöntemle bağlı kalmayan çeşitli yöntemler denenmelidir. Ancak ölçü cihazlarının büyük kısmı özellikle yüksek gerilim cihazları oldukça ağır olduklarından bunların taşınarak uzak bir arıza yerine getirilmeleri mümkün değildir. Bir arızaya müdahale edilmesi gerektiğinde, cihazların teker teker araca yüklenmesi ve arıza yerine gelindiğinde tek rar teker

teker araçtan indirilmesi, besleme, topraklama ve ölçü bağlantılarının yapılması hem çok uzun süreceğinden hem de karışıklık olabileceği göz önüne alınarak cihazları ve personeli tehlikeye sokabileceği düşünülürse pek uygulanabilen etkin bir yol değildir. Bütün bu olumsuzluklar göz önüne alındığında hızlı, etkin, gerçekçi ve güvenli bir çalışma için ölçü – test araçlarının gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu araçlarda gerekli tüm cihazlar sabit ve bağlantıları yapılmış bir şekilde monte edilmiştir. Araç içindeki her cihaz bağımsız bir şekilde gerektiğinde kolayca çıkarılarak kullanılabilir, değiştirilebilir ve bakım onarımları yapılabilir. Aracın genel topraklaması ve toprak koruma rölesi vardır. Aracın topraklaması yetersiz olduğu takdirde araçtaki bütün cihazlar devreden çıkar. Operatör bütün bağlantıları gözle izler. Operatörün kolayca erişebileceği yerlerde ve uzaktan kumandalı imdat anahtarları vardır. Şekil 2.21’de görülebileceği gibi araç ile arızalı kablo bağlantısı arka bölümde bulunan ölçüm kabloları ile yapılır. Bu bölümde yüksek gerilim üniteleri, otomatik topraklama düzenekleri ve kablo makaraları vardır. Yüksek esnekliğe sahip üç iletkenli ölçüm kablosu ile tek iletkenli yüksek gerilim deney kablosu makaralar üzerinde sarılıdır ve kablonun makaraya sarılması ve makaradan boşaltılması bir motorla yapılır. Bu ölçüm kablolarının yanında yine makaralara sarılı topraklama ve besleme kabloları vardır. Topraklama hattının mümkün olduğu kadar kısa tutulabilmesi için, her iki metrede bir terminal bağlantısı mevcuttur. Arızaya müdahale edilme işlemine ilk olarak aracın topraklaması yapılarak başlanır. Daha sonra ise şebeke besleme kablosu bağlanır. Üç iletkenli kablo boşaltılarak kabinde ölçümü yapılacak fazlara bağlanır. Daha sonra ise aracın arka kapıları kapatılarak kumanda masasında ölçüme başlanır. Kumanda masasındaki butonlar yardımıyla cihazla faz bağlantıları değiştirilebilir. Boğaziçi Elektrik A.Ş.’nce kullanılmakta olan test – ölçü araçlarının kumanda masaları Şekil 2.22 ve Şekil 2.23’te gösterilmektedir.



Şekil 2.21: BEDAŞ'ın Bir Kablo Test – Ölçü Aracının Arkadan Görünüşü.



Şekil 2.22: BEDAŞ Test – Ölçü aracı Kumanda Masası.



Şekil 2.23: BEDAŞ Yeni Tip Test – Ölçü Aracı Kumanda Masası.

Araçlarda yer alan elektronik kilitleme düzenekleri sayesinde ters ve yanlış bir bağlantı olanağı mümkün değildir. Ölçüm sonunda fazlar otomatik olarak topraklandığından, çalışan personelin güvenliği tam olarak sağlanır. Güzergah ve tam tespit işlemleri için gerekli diğer teçhizatlar aracın içindeki gözlerde olduğundan gerektiğinde kolayca çıkarılarak kullanılabilir.

Genellikle motoru ve süspansiyonu takviye edilmiş bir minibüs tipindeki bu araçlar, gerekli cihazlara, kontrolü yapılacak şebeke sistemine, istenilen en yüksek deney gerilimine göre özel imal edilmektedirler.

Mobil deney araçları; gerekli olan bütün cihazların bir arada olması, herhangi bir bağlantı değişikliği yapılmadan, bir düğme yardımıyla her fazın istenilen cihaza bağlanabilmesi test ve ölçüm işlemlerini önemli oranda kolaylaştırmakta ve kısaltmaktadır. Bu araçlarla uzak mesafelerdeki ve zor arazilerdeki arızalara kısa zamanda ulaşılabilmekte ve müdahale edilebilmektedir. Araçlardaki değişik cihazlarla tüm arıza tiplerine etkin müdahale şansı vardır.

2.7.2 Taşınabilir Test - Ölçü Cihazları

Günümüzde çok değişik firmaların üretmiş olduğu çok değişik yapılarda ve birçok fonksiyona sahip modern arıza tespit cihazları vardır. Bu bölümde; Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş.'nin de ürünlerini kullandığı bir Avusturya firması olan Baur Prüf – und Messtechnik GmbH & KG Firmasının üretmiş olduğu sıkça kullanılan ve çok fonksiyonlu IRG2000 ve STG600 cihazlarından söz edilecektir.

2.7.2.1 IRG 2000 Cihazı

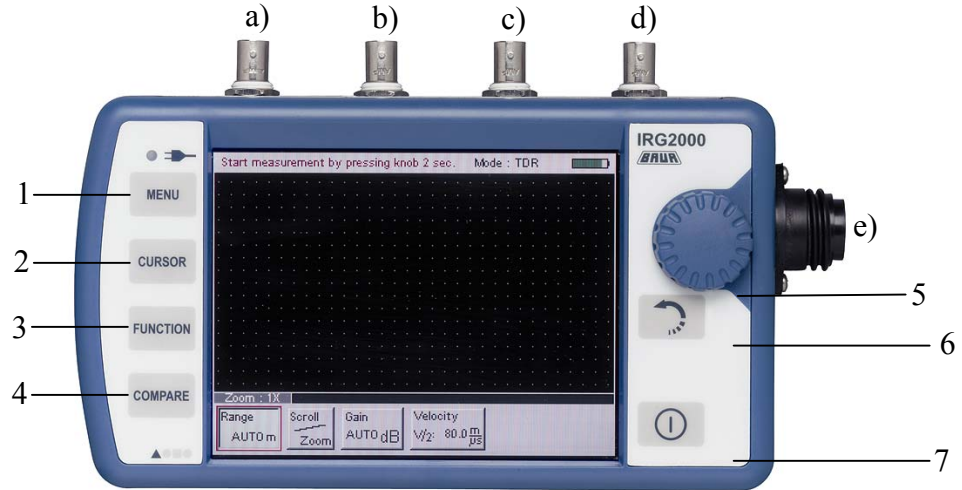


Şekil 2.24: IRG 2000 Cihazı.

Şekil 2.24'te görülen IRG 2000 cihazı ilk kullanımda kendi kendine parametreleri yerleştirebilen bir akıllı işlemci tarafından yönetilmektedir. Önceden ayarlanmış parametreler kullanıcıya kolaylık sağlaması amacıyla işlemci tarafından seçilen ölçüm şekline göre set edilir. Operatör sadece parametrelerin kendi seçtiği ölçüme uygun olup olmadığını kontrol edebilir. Ayrıca cihaz üzerinden elle kontrol de mümkündür. İzleme ve kablo arızası bulunmasına ilişkin tüm veriler bilgisayar belleğinde kayıt edilir. Bu bilgiler istenildiğinde RS 232 arayüzü ve kablosuyla herhangi bir bilgisayara aktarılır veya bilgisayara bağlı yazıcı ile çıktı alınabilir. Ek olarak RS 232 arayüzü ile bilgisayar programları güncellenebilir [17].

60 V çıkış darbesi ve sürekli kayıt modu ile IRG 2000 aşağıdaki ölçümleri yapabilir;

- Darbe Yansıma Yöntemi (Pulse Reflection Method, TDR) (Üç fazın aynı anda karşılaştırılması ekran üzerinde yapılabilir.)
- İkincil Darbe Metodu (Secondary Impulse Method, SIM)
- Çoklu Darbe Metodu (Multiple Impulse Method, MIM) (Geliştirilmiş SIM)



Şekil 2.25: IRG 2000 Cihazının Bağlantı Uçları ve Tuşları.

Şekil 2.25'te IRG 2000 cihazının bağlantı elemanları ve tuşları gösterilmektedir. Burada;

- 1) Kablo kılıfı "MENU" tuşu: menüye girmek için.
- 2) "CURSOR" tuşu: kursör ekranını görmek için.
- 3) "FUNCTION" tuşu: ekogramın fonksiyon ekranını görebilmek için.
- 4) "COMPARE" key: karşılaştırma ekranını görebilmek için.
- 5) "KNOB" dönen fare: Kullanıcının farklı opsiyon ve ekranlara girmesini sağlayan dönen fare. Fare'nin üzerine basıldığında ekran üzerindeki fonksiyonlar açılır.
- 6) "BACK" tuşu: bir önceki menüye geri dönebilmek için

7) "I/O" tuşu: Cihazı açıp kapatma tuşudur.

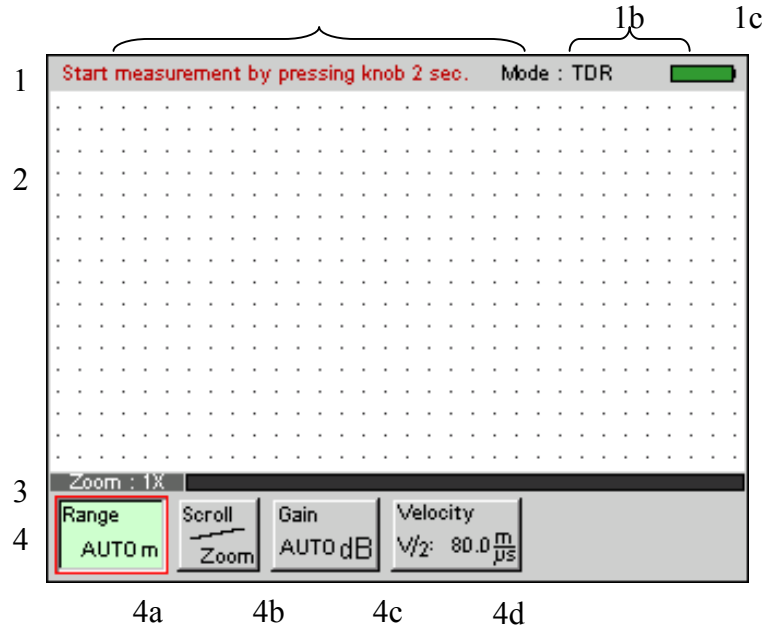
a) SIM: SA 32 - SIM cihazına bağlantı ve MIM yöntemi kuplajı

b) ICM: SK 1D - cihazına bağlantı, darbe akımı kuplajı

c) DECAY: CC1 cihazına bağlantı, zayıflama yöntemi kuplajı

d) TRIGGER: TDR ölçümü için harici tetikleme girişi

e) LINE: Sadece TDR modda test kablosu ile bağlantı noktası



Şekil 2.26: IRG 2000 Ekranı.

Şekil 2.26 da gösterilen IRG 2000 cihazının ekranında;

1) Durum göstergesi

- a- Yapılması gereken işlem için talimat
- b- Hangi modun geçerli olduğunu gösteren ekran
- c- Pil durumu

2) Ana ekran

- Ekogram
- Dot matrix (Her 5 pixel)
- Aktif ekogram göstergesi (kırmızı çerçeve)

3) Menü Kartları / Zoom

- Mevcut büyütme (zoom) miktarı

4) Tanımlı Araç çubuğu

- a- Menzil (Eğer kırmızı çerçeve ve yeşil zemin mevcutsa bu menü kartı seçilidir)
- b- Menü Kartları / Zoom
- c- Kazanç
- d- Salınım hızı (Velocity $v/2$ - Decay $v/4$)

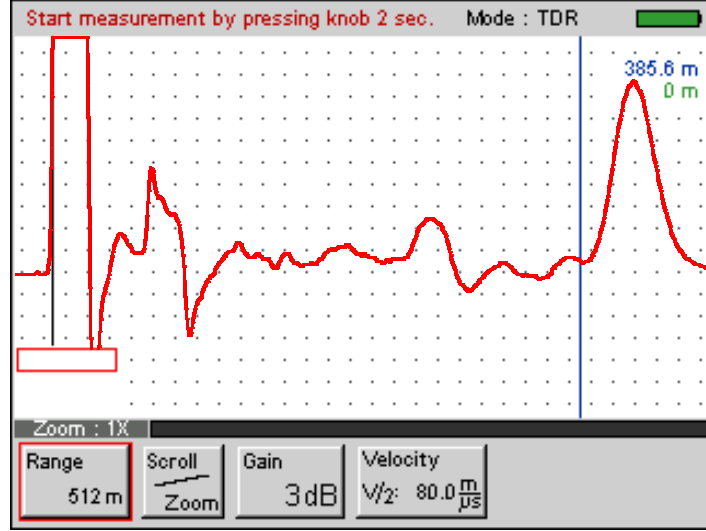
Cihaz operasyon sırasında AG canlı kablo ağına bağlanabilir. Ancak kullanıcı tüm operasyon sırasında belirtilen güvenlik ve bağlantı talimatlarına uymalıdır. Cihaz için elektrik beslemesi mutlaka özel topraklı soketi ile yapılmalıdır. Besleme soketi ile topraklama arasındaki bağlantı her zaman sağlanmalıdır. Topraklamanın kaldırılması operasyon sırasında tehlikeli bir duruma yol açabilir. Bu cihaz T-branşmanlarda veya birden fazla kablonun bağlandığı noktalarda diğer yüksek gerilim kaynakları ile kullanımı sırasında öldürücü elektrik şokları gönderme riski vardır. Kullanıcı hiç bir koşulda cihazın bağlandığı kabloya dokunmamalıdır. Ancak kablonun elektrikten uzak olduğuna kesin olarak emin olduğu durumunda kablo üzerinde işlem yapılabilir. Kablo testi ve arıza noktası tespiti sırasında tüm güvenlik uyarılarına ve koşullarına bağlı kalınmalıdır.

Cihazda herhangi bir arıza gözlenmesi durumunda cihaz derhal kapatılmalıdır. Bu gibi bir durumda cihazın kazara dahi tekrar servise alınmamalıdır.

a- IRG 2000 Cihazı ile Darbe Yansıma Yöntemi (PE/TDR)

IRG 2000 herhangi bir kuplaj kullanılmadan TDR işlemini yapabilir. Bu yöntem ile kablo sonu, kopuk kablo (faz-toprak), faz-faz kısa devre arızaları herhangi bir yüksek gerilim uygulamasına gerek duymadan bulunur [17].

LINE soketi kabloya doğrudan bağlanmak suretiyle ölçüm yapılır. Cihaz TDR moduna geçirilmelidir. Tüm elle ayarlamalar “AUTO” şeklinde ayarlanmalıdır. Ölçüm dönen fareye 2 saniye sürekli basılarak başlatılır. Şekil 2.27’de IRG 2000 cihazı ile TDR yöntemiyle yapılan bir ölçümün ekrandaki görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 2.27: IRG 2000 ile Darbe Yansıma Yöntemi Görüntüsü.

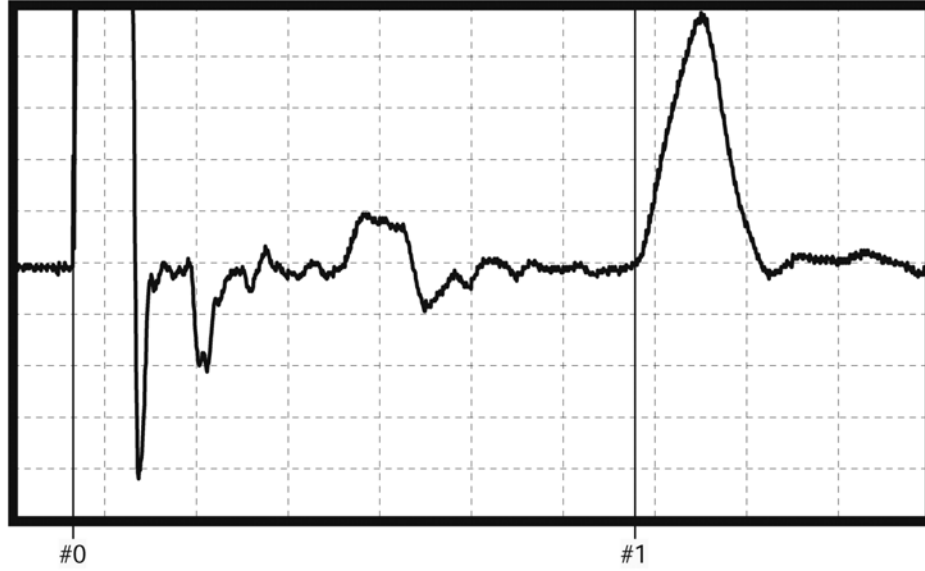
Menzil (Range) ve kazanç (Gain) otomatik olarak ayarlanmalıdır. Otomatik kursör konumlandırması kablo sonunu veya arıza (faz-faz, faz-toprak arızası) noktasını doğrudan ekrana getirecektir. Eğer ayarlama gerekirse kursör düğmesine basarak ekranda görülen her kursör ayrı ayrı seçilmek sureti ile istenilen ayarlama yapılabilir. Ayarlama için dönen fareye bir kez tıklayarak kursör istenilen pozisyona getirilebilir. Ayarlama sırasında kursörün temsil ettiği uzunluk, ekranın sol üst köşesinde kursör ile aynı renkteki metre ile görülebilir.

IRG 2000 cihazı RS232 bağlantı ucunu kullanarak IRG 2000 yazıcı (printer) programı yüklenmiş bilgisayara bağlanıp ve IRG 2000 cihazı çalıştırılır. Bilgisayardaki yazıcı programı çalıştırılır. Program COM portlarını tarayacaktır. Eğer IRG 2000'in bağlandığı port PC tarafından görülürse program kullanıcıyı uyaracaktır. FUNCTION tuşu ile çıktı alınması istenen dosya seçilerek kullanılan bilgisayarda seçili olan yazıcıdan çıktı alınabilir. Şekil 2.28'de yazıcıdan alınmış bir çıktı örneği görülmektedir.

TDR Measurements

IRG 2000 Information

Curve : FILE #22
 Date : 14/03/03
 Time : 16:12:05

Measure

TDR 1. Main Curve -----> _____

Cursor

	Value
Cursor #1 :	313,6 m
Cursor #2 :	0,0 m

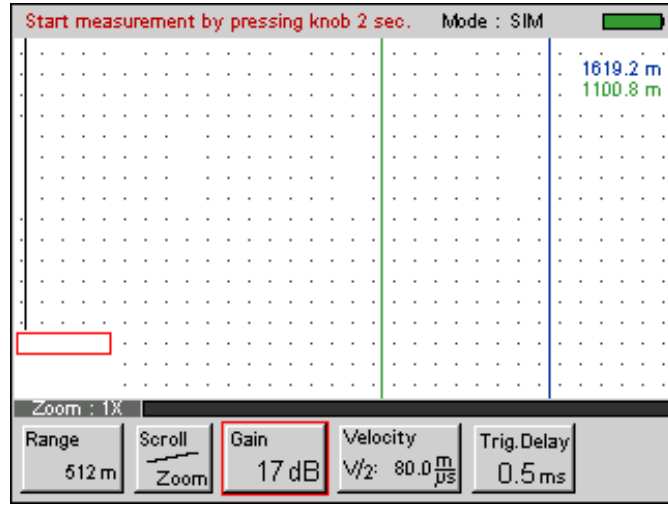
Parameters

	Value
Gain :	24 dB
Pulse Height :	50 v
Pulse Width :	400 ns
Range :	512 m
Velocity v/2:	80,0 m/μs
Impedance :	50 ohm

Şekil 2.28: IRG 2000 de TDR Ölçümü Çıktı Örneği.

b- IRG 2000 Cihazı ile SIM (İkincil Darbe Yöntemi) / MIM (Çoklu Darbe Yöntemi)

SIM ve MIM için (SIM'in gelişmiş, menzili, 80 m/ μ s dağılım hızında 1024 m'dir.) Ölçüm için SA 32 kuplaj ünitesi gereklidir. İlk ölçümde pozitif yansıma ile kablo sonunu bulunur. Daha sonra IRG 2000 yüksek gerilim üreticinden (STG 1000 veya SSG) tetikleyici darbeyi bekleyemeye başlar. Tetikleyici darbe kabloya verildikten sonra ikincil ölçüm ekranda negatif yansımayı gösterecektir. Şekil 2.29 da IRG 2000 ile SIM yöntemiyle yapılan bir ölçümün görüntüsü yer almaktadır.



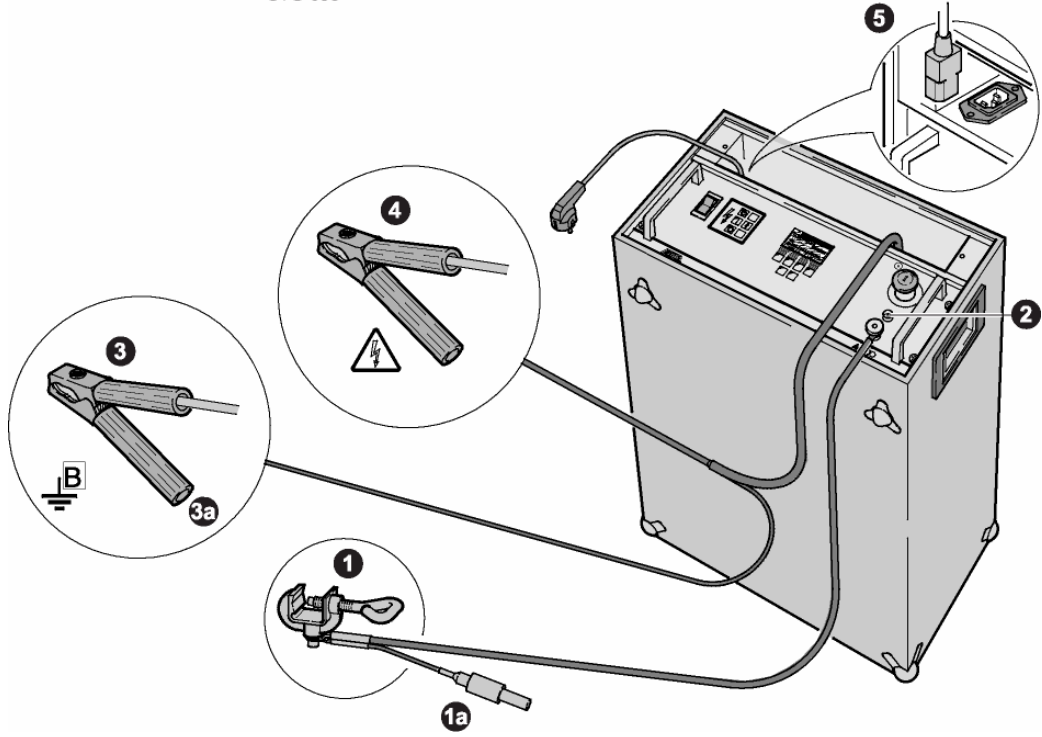
Şekil 2.29: IRG 2000 ile SIM / MIM Yöntemi Görüntüsü.

2.7.2.2 STG 600 Darbe ve Test Üretici



Şekil 2.30: STG 600 Darbe ve Test Üretici.

Front view
STG 600

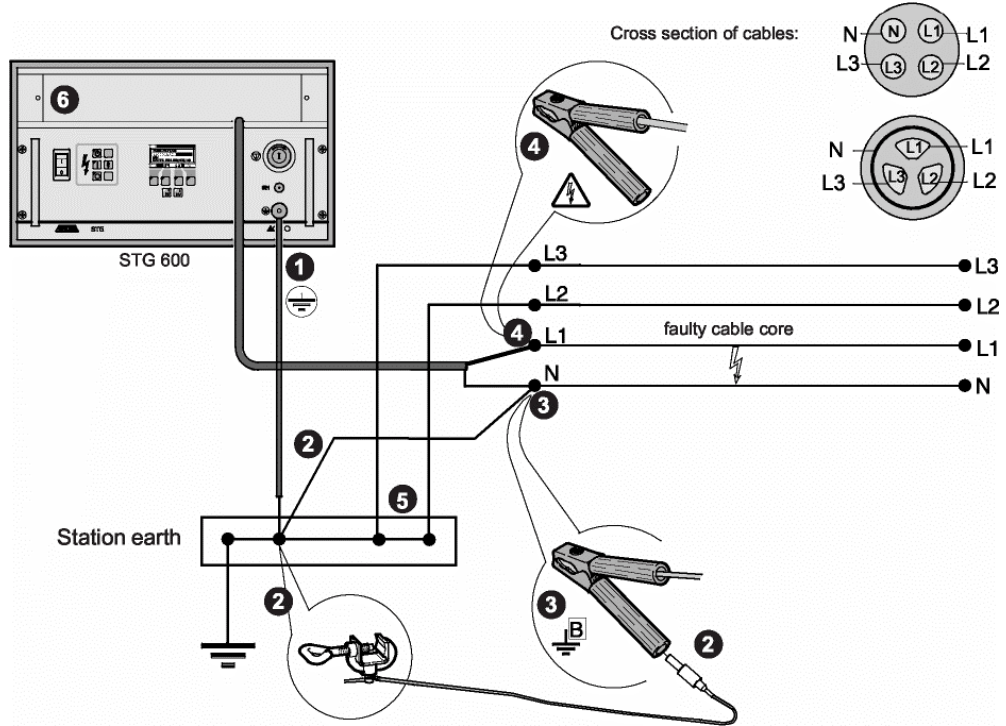


Şekil 2.31: STG 600 Darbe ve Test Üretici Bağlantıları.

Şekil 2.31 de IRG 2000 cihazının bağlantı elemanları gösterilmektedir. Burada;

- 1) Topraklama kancası 
- 1.a) Topraklama kancası için fiş 
- 2) BNC soket: Ekometreye bağlantı ucu (SIM, opsiyon)
- 3) Operasyonel topraklama kancası (mavi) 
- 3.a) Operasyonel toprak bağlantısı için fiş  (1a)
- 4) Yüksek Gerilim timsahı (kırmızı) 
- 5) Şebeke bağlantısı

a- STG 600 Cihazının TDR Uygulaması İçin Kabloya Bağlantıları

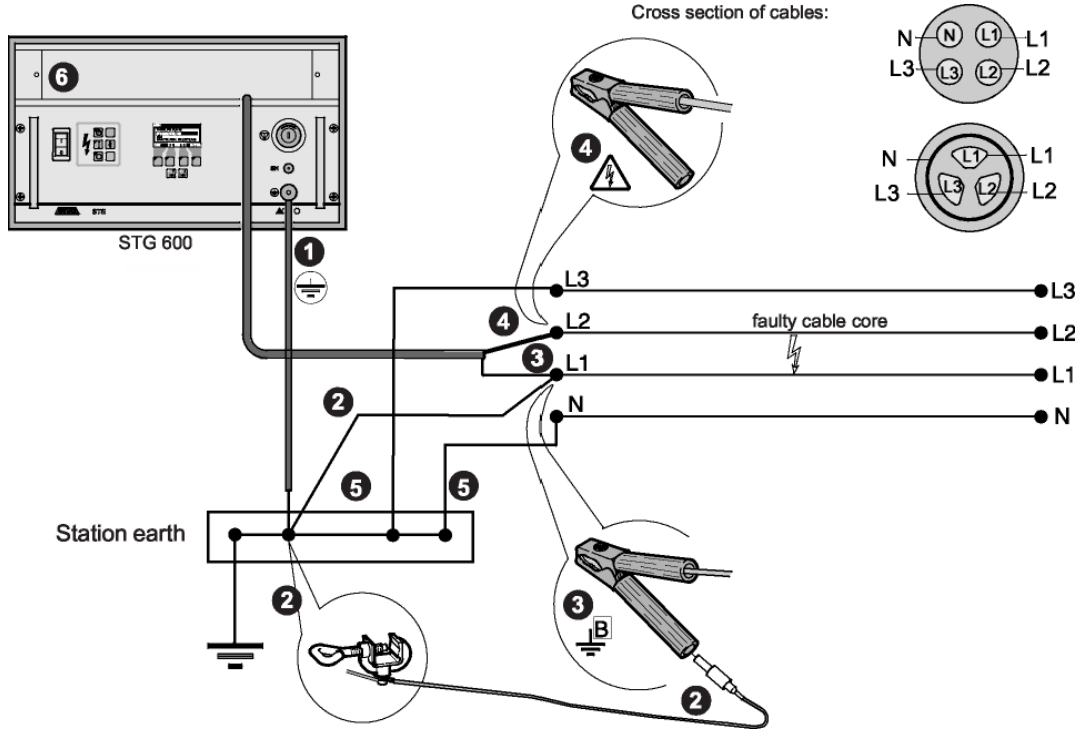


Şekil 2.32: STG 600 Cihazının Faz – Toprak Arızasında TDR Uygulaması İçin Kabloya Bağlantısı.

Tablo 2.4 te, Şekil 2.32’de gösterilen bağlantı ve ölçme prosedürü anlatılmaktadır.

Tablo 2.4: STG 600 Faz – Toprak Arızasında TDR Yöntemi ile Ölçme Prosedürü

Adım	Uygulama
1	Topraklama hattını (⏏) STG 600’ün topraklama ucuna bağlanır.
2	Topraklama hattının (⏏) ucundaki G-kancasını topraklama istasyonuna (⏏) irtibatlanır ve test kablosu üzerindeki timsaha ek topraklama kablosunu bağlanır. (⏏)
3	Topraklı timsah ucu (⏏) geri dönen nötr faza bağlanır (Nötr faz N).
4	YG bağlantı timsahı arızalı kablo fazına bağlanır (L1).
5	Kullanılmayan fazlar topraklanır.
6	STG 600’ü şebeke elektriğine bağlanır.



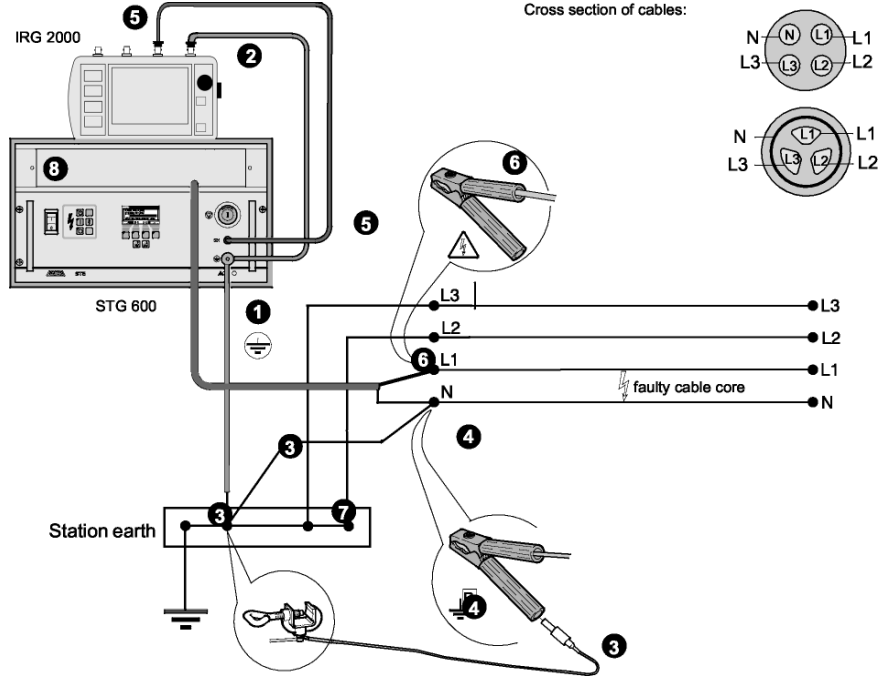
Şekil 2.33: STG 600 Cihazının Faz – Faz Arızasında TDR Uygulaması İçin Kabloya Bağlantısı.

Tablo 2.5 te, Şekil 2.33’te gösterilen bağlantı ve ölçme prosedürü anlatılmaktadır.

Tablo 2.5: STG 600 Faz – Faz Arızasında TDR Yöntemi ile Ölçme Prosedürü

Adım	Uygulama
1	Topraklama hattını  STG 600’ün topraklama ucuna bağlanır.
2	Topraklama hattının  ucundaki G-kancasını topraklama istasyonuna  irtibatlanır ve test kablosu üzerindeki timsaha ek topraklama kablosunu bağlanır. 
3	Topraklı timsah ucu  geri dönen nötr faza bağlanır (Nötr faz N).
4	YG bağlantı timsahı arızalı kablo fazına bağlanır (L2).
5	Kullanılmayan fazları topraklanır.
6	STG 600’ü şebeke elektriğine bağlanır.

b- STG 600 Cihazının SIM Uygulaması İçin IRG 2000 ve Kabloya Bağlantısı



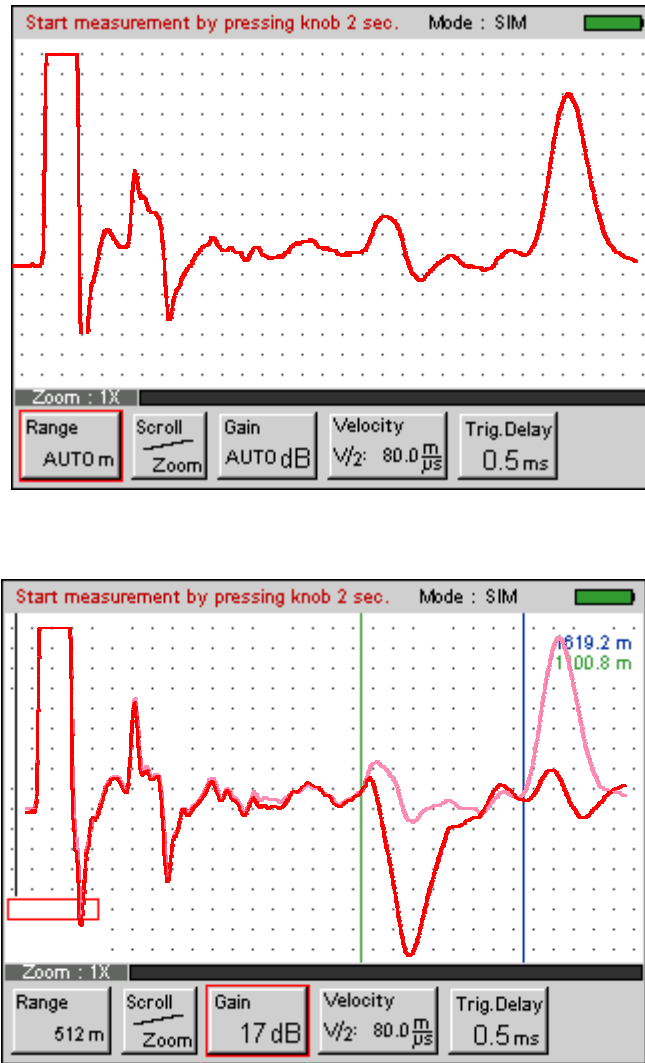
Şekil 2.34: STG 600 Cihazının SIM Uygulaması İçin IRG 2000 ve Kablo Bağlantısı

Tablo 2.6 da, Şekil 2.34’te gösterilen bağlantı ve ölçme prosedürü anlatılmaktadır.

Tablo 2.6: STG 600 Cihazının SIM Uygulaması İçin IRG 2000 ve Kablo Bağlantısı Prosedürü

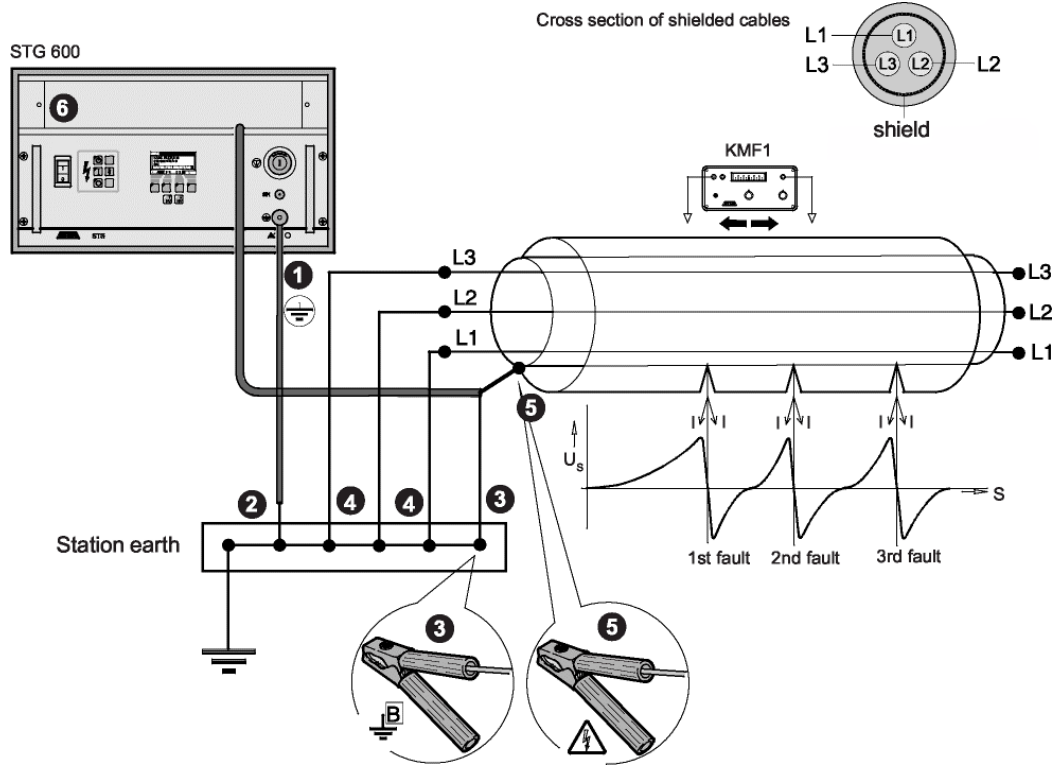
Adım	Uygulama
1	Topraklama hattını  STG 600’ün topraklama ucuna bağlanır.
2	BNC topraklama hattını IRG 2000 TRIG soketine bağlanır.
3	Topraklama hattının  ucundaki G-kancasını topraklama istasyonuna  irtibatlanır ve test kablosu üzerindeki timsaha ek topraklama kablosunu bağlanır. 
4	Topraklı timsah ucu  geri dönen nötr faza bağlanır (Nötr faz).
5	Ekometre IRG 2000’i STH üzerindeki SIM soketine bağlanır.
6	YG bağlantı timsahı arızalı kablo fazına bağlanır (L1).
7	Kullanılmayan fazlar topraklanır.
8	STG 600’ü şebeke elektriğine bağlanır.

Ekometrenin STG'ye akuple olması ile birlikte arıza noktasında yaratılan ark'ın grafiği IRG 2000 üzerinden izlenebilir. SIM ancak yüksek dirençli arıza çeşitlerinde kullanılabilir. İlk ölçüm ile kablo sonu pozitif yansıma ile ekranda gözükür. IRG 2000 STG'den gelecek YG darbesini bekler ve hemen ardından kendi sinyalini tetikler. Tetikleme ile kabloya gönderilen ikincil darbe ekrana negatif bir yansıma getirecektir. Her iki grafiğin üst üste konması ile kablo arıza noktası metre olarak IRG 2000 üzerinden izlenebilir (Şekil 2.35).



Şekil 2.35: STG 600 Cihazı ile SIM Uygulaması Görüntüsü.

c- STG 600 Cihazının Kablo Kılıf Arızası Tespiti İçin Kabloya Bağlantısı



Şekil 2.36: STG 600'ün Kablo Kılıf Arızası Tespiti İçin Kabloya Bağlantısı.

Tablo 2.7 de, Şekil 2.36'da gösterilen bağlantı ve ölçme prosedürü anlatılmaktadır.

Tablo 2.7: STG 600'ün Kablo Kılıf Arızası Tespiti İçin Kabloya Bağlantı Prosedürü

Adım	Uygulama
1	Topraklama hattını  STG 600'ün topraklama ucuna bağlanır.
2	Topraklama hattının  ucundaki G-kancasını topraklama istasyonuna  irtibatlanır.
3	Test timsahını topraklama terminali  ile irtibatlanır. 
4	Kullanılmayan fazlar topraklanır.
5	YG timsahı arızalı kılıfa bağlanır (metal kılıf). Kablonun kılıfı her iki ucundan da topraktan çekilir.  .
6	STG 600'ü şebeke elektriğine bağlanır.

2.8 Genel Uyarılar

- Yeraltı kabloları deneyleri son 20 – 30 yıldır doğru gerilim uygulanarak yapılmıştır. Yılda 1–2 kez düzenli olarak yapılan bu deneyler beklenmeyen arıza oranını %60-70 düşürebilmektedir.
- Yağ yalıtımlı cihazlar taşındıktan sonra hemen çalıştırılmamalı, bir süre yağ içindeki kabarcıkların geçmesi beklenmelidir.
- Toprak bağlantıları cihazların çalışması için çok önemli olduğundan en az 4 mm² kesitli kablo ile bağlantı yapılmalı ve mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır.
- Arıza bulurken, arıza ve tipinden çok fiziksel değişimlere bakmak daha iyi sonuç verir. Arızanın tanımı tespit işleminin ilk unsurudur.
- Deneye başlamadan önce güvenlik önlemleri alınmış olmalıdır. Görünür yerde asılı uyarı levhaları, test yapılacak yerde çalışılmayacak hücrelerin devre dışı bırakılması, sağlam bir topraklamanın yapılması, topraklama çubuğunun hazırlanması, YG eldivenleri ve kauçuk halı bulundurulması, kabloların ve fazların işaretlenmesi gerekir.
- Daha önceden yapılmış YG test raporlarının da karşılaştırma ve arıza tipini tespit açısından çok yararı olacaktır.
- İlk ölçüm işlemi kablonun her iki tarafından da yapılabilir. Bu doğruluğu artıracaktır.
- Doğru bir akım değeri bulabilmek için sağlıklı damar ölçülerek sabit akımı, arızalı damar ile karşılaştırılabilir.
- Deneyde kullanılan kabloların yalıtım direnci yüksek olmalıdır. Aksi halde ölçülecek olan kablo değil deney kablosunun yalıtımından akan akım okunur.
- Deney sırasında kullanılmayan damarların topraklaması doğru sonuç almak açısından çok önemlidir. Çünkü deney sırasında bu damarlarda gerilim endüklenebilir ve deney damarına ilerleyebilir. Bu da deney sonucunun bozulmasına neden olur.

- Deney üretici YG çıkışı sabit gerilim verebilmeli, aksi halde yalıtım akımı %1-2 gerilim değişimi için % 70-80 değişme gösterecektir. Bunun içinse deney üreticinin kapasitesinin küçük, toprağa karşı yalıtımının da çok iyi olması gerekir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Şekil 3.2’de görülen araç Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş. Sarıyer İşletme Müdürlüğü tarafından AG – OG yer altı kablolarında arıza yeri tespitinde kullanılan araçtır. Aracın arka kısmında yer alan ve ölçüm yapılacak kabloyla bağlantı yapmaya yarayan kablo makarasında yer alan kablo 3 x 16 mm² kesitinde, XLPE yalıtkanlı ve 60–75 metre uzunluğunda olabilmektedir. Bu araç için kablonun uzunluğu 69 metredir. 35 kV OG kablolarındaki arıza tespiti için aracın yüksek gerilim üreticinin uygulayacağı maksimum gerilim 70 kV’tur.

Bu araç ile teorik olarak 0 metre ile 10 km arasındaki arızalar bulunabilmektedir. Ancak yıllardır yapılan ölçümlerle elde edilen deneyimler şunu göstermiştir ki, araç ile kısa mesafedeki arızalar üzerinde yapılan ölçümlerde genellikle başarıya ulaşamamaktadır. Genellikle 200-250 metre mesafedeki arızalardan itibaren doğru sonuçlar alınabilmektedir. Ancak buna ters olarak ise 10 kV kablo şebekesinde 12 km mesafelerde bile ölçülen kablo arızaları olmuştur.

İkincil Darbe Yöntemiyle arıza yeri tespiti yapılan bu deneyde 193 metre uzunluğunda 1 kV, 4 x 16 mm², NYFGbY kablo kullanılmıştır. Deneyler 26 °C hava sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Kablonun sonunda kablo uçları su içine sokularak yapay olarak kablo sonu arızası oluşturulmuştur. Kablo arızasının oluşturulduğu suyun iletkenliği iletkenlik ölçer (conductivity meter) cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 3.1). Özdirenç, iletkenliğin tersi olduğu bilindiğinden;

$$R = \frac{1}{G}$$

(3.1)

Buradan deneyde ilk olarak kullanılacak olan saf suyun ve saf suyun içerisine değişik oranlarda şebeke suyunun karıştırılmasıyla oluşacak değişik iletkenlik değerlerindeki suyun direnci hesaplanır.



Şekil 3.1: Sıvılar İçin İletkenlik Ölçü (Conductivity Meter) Cihazı.

DENEY 1

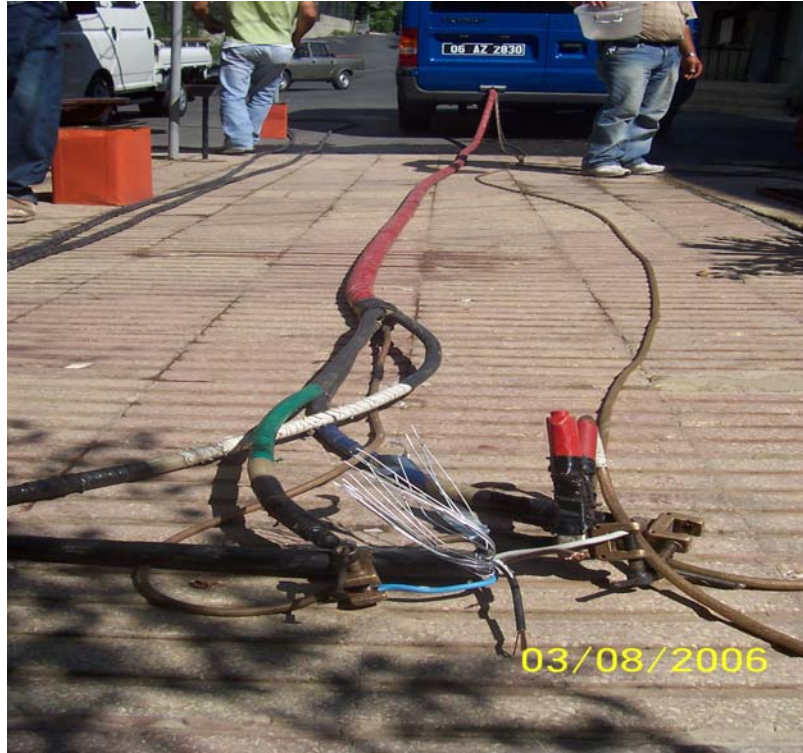
Bir kabın içine tamamen saf su konularak iletkenlik ölçü cihazı ile bu kaptaki saf suyun öziletkenliği 3,9 mikrosiemens, sıcaklığı ise 26 °C olarak ölçülmüştür. Buradan saf suyun özdirenci;

$$R_1 = \frac{1}{G_1} \rightarrow R_1 = \frac{1}{3,9 \times 10^{-6}} = 256 K\Omega$$

olarak bulunur. Şekil 3.2’de görülen ölçü aracı hazırlandıktan sonra ve deneyde kullanılacak olan kablo ile bağlantılar Şekil 3.3’teki gibi yapıldıktan sonra arıza oluşması istenen kablo uçları daha önce hazırlanan 3,9 mikrosiemens iletkenliğindeki saf suyun bulunduğu kaba daldırılmıştır.



Şekil 3.2: Deneyde Kullanılan Ölçü Aracı.



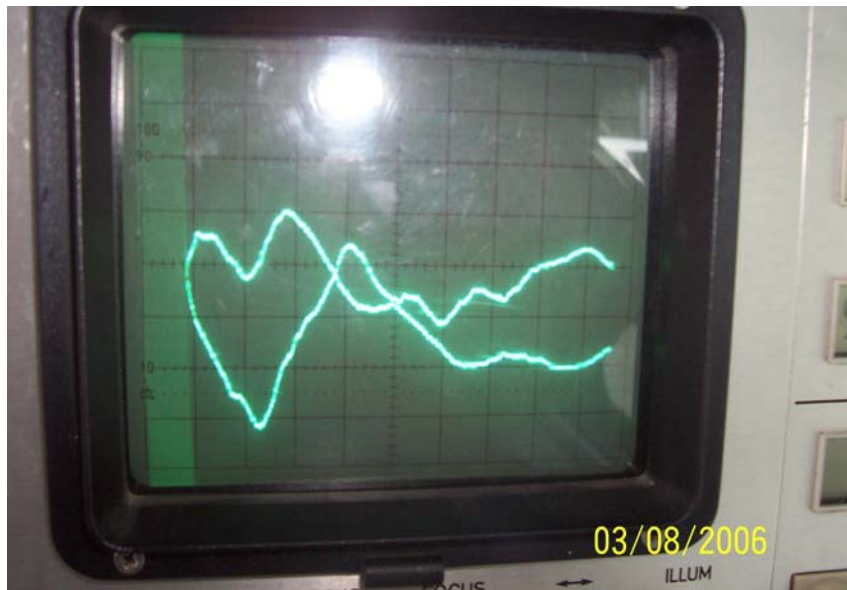
Şekil 3.3: Deneyin Uygulandığı Kablo ve Bağlantılarının Yapılması.

Yapılan ilk ölçümde, kabloya gönderilen 75 m/ μ s hızındaki darbenin pozitif yansıması ile kablo sonu bulunmuştur (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: Kablonun Sağlam Damarının Yansıyan Dalga Görüntüsü.

Daha sonra ölçü aracında yer alan yüksek gerilim üreticinden kabloya 3,5 kV'luk bir tetikleyici darbe verilerek ekometre ekranında pozitif ve negatif yansımalar görülmüştür. Şekil 3.5'te kablunun sağlam ve arızalı damarının görüntüsü Teleflex cihazının ekranında görülmektedir.



Şekil 3.5: 1. Deneyde Sağlam ve Arızalı Damarların Teleflex Cihazında Görüntüsü.

Ekometre kursörü, iki sinyalin farklılaşmaya başladığı noktaya getirildiğinde, teleflex cihazı Şekil 3.6'da görüldüğü gibi arıza mesafesinin 190 metre olduğunu göstermiştir. Kablonun gerçek uzunluğunun 193 metre olduğu ve oluşturulan yapay arızanın da kablounun sonunda yani 193. metrede olduğu göz önüne alındığında gerçeğe oldukça yakın bir değer elde edilmiştir.

Bu durumda yapılan ölçüme göre hesaplanan bağıl hata;

$$BağılHata = \frac{|Gerçek Değer - Ölçülen Değer|}{Gerçek Değer} \times 100 \quad (3.2)$$

$$BağılHata = \frac{|193 - 190|}{193} \times 100 = \frac{3}{193} \times 100 = \pm \%1,55$$

olarak bulunur.



Şekil 3.6: 1. Deneyde Arıza Noktası ve Mesafesinin Teleflex Cihazında Görüntüsü.

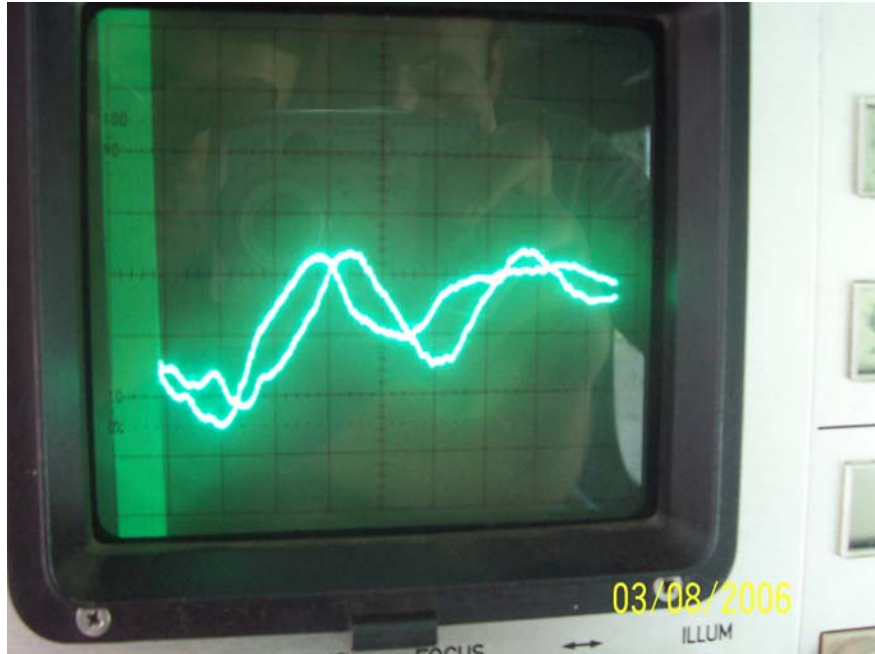
DENEY 2

İlk deneyde kullanılan 3,9 mikrosiemens iletkenliğindeki saf suyun içine bir miktar şebeke suyunun eklenmesiyle iletkenliği daha yüksek, dolayısıyla da direnci daha düşük bir sıvı elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu karışımın iletkenliği iletkenlik ölçüm

cihazı ile ölçülerek 170 mikrosiemens bulunmuştur. Karışımın sıcaklığı ise 26 °C olana dek bir süre güneşli ortamda bekletilmiştir. Buradan karışımının direnci;

$$R_2 = \frac{1}{G_2} \rightarrow R_2 = \frac{1}{170 \times 10^{-6}} = 5,88 K\Omega$$

olarak bulunur. Ölçü aracı hazırlandıktan sonra ve deneyde kullanılacak olan kablo ile bağlantılar hazırlandıktan sonra kablo uçları daha önce hazırlanan 170 mikrosiemens iletkenliğindeki sıvının bulunduğu kaba daldırılmıştır. Daha sonra ölçü aracında yer alan yüksek gerilim üreticiden kabloya 3,5 kV'luk bir tetikleyici darbe verilerek ekometre ekranında pozitif ve negatif yansımalar görülmüştür. Şekil 3.7'de kablonun sağlam ve arızalı damarının görüntüsü Teleflex cihazının ekranında görülmektedir.



Şekil 3.7: 2. Deneyde Sağlam ve Arızalı Damarların Teleflex Cihazında Görüntüsü.

Ekometre kursörü, iki sinyalin farklılaşmaya başladığı noktaya getirildiğinde teleflex cihazı Şekil 3.8 de görüldüğü gibi arıza mesafesinin 195 metre olduğunu göstermiştir. Kablonun gerçek uzunluğunun 193 metre olduğu ve oluşturulan yapay arızanın da kablounun sonunda yani 193. metrede olduğu göz önüne alındığında gerçeğe oldukça yakın bir değer elde edilmiştir.

Bu durumda yapılan ölçüme göre hesaplanan bağıl hata;

$$BađýlHata = \frac{|193-195|}{193} \times 100 = \frac{2}{193} \times 100 = \pm \%1,04$$

olarak bulunur.



Şekil 3.8: 2. Deneyde Arıza Noktası ve Mesafesinin Teleflex Cihazında Görüntüsü.

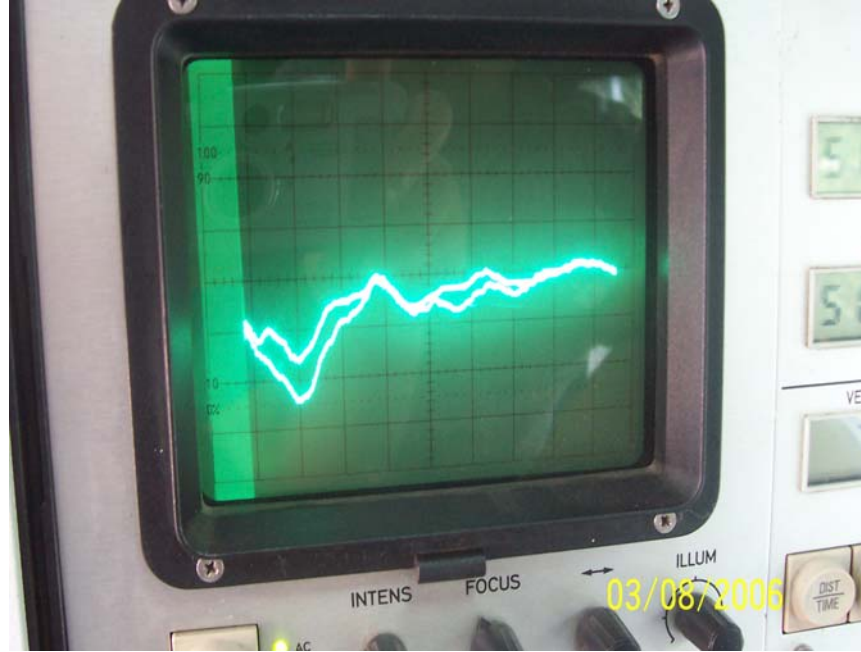
DENEY 3

İkinci deneyde kullanılan 3,9 mikrosiemens iletkenliğindeki saf suyun içine bir miktar daha şebeke suyunun eklenmesiyle iletkenliği daha da yüksek, dolayısıyla direnci daha da düşük bir sıvı elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu karışımın iletkenliği iletkenlik ölçüm cihazı ile ölçülerek 900 mikrosiemens bulunmuştur. Karışımın sıcaklığı ise 26 °C olana dek bir süre güneşli ortamda bekletilmiştir. Buradan karışımının direnci;

$$R_3 = \frac{1}{G_3} \rightarrow R_3 = \frac{1}{900 \times 10^{-6}} = 1,1 K\Omega$$

olarak bulunur. Ölçü aracı hazırlandıktan sonra ve deneyde kullanılacak olan kablo ile bağlantılar hazırlandıktan sonra kablo uçları daha önce hazırlanan 900 mikrosiemens iletkenliğindeki sıvının bulunduğu kaba daldırılmıştır.

Daha sonra ölçü aracında yer alan yüksek gerilim üreticiden kabloya 3,5 kV’luk bir tetikleyici darbe verilerek ekometre ekranında pozitif ve negatif yansımalar görülmüştür. Şekil 3.9’da kablonun sağlam ve arızalı damarının görüntüsü Teleflex cihazının ekranında görülmektedir.



Şekil 3.9: 3. Deneyde Sağlam ve Arızalı Damarların Teleflex Cihazında Görüntüsü.

Ekometre kursörü, iki sinyalin farklılaşmaya başladığı noktaya getirildiğinde teleflex cihazı Şekil 3.10’da görüldüğü gibi arıza mesafesinin 200 metre olduğunu göstermiştir. Kablonun gerçek uzunluğunun 193 metre olduğu ve oluşturulan yapay arızanın da kablounun sonunda yani 193. metrede olduğu göz önüne alındığında gerçeğe yakın bir değer elde edilmiş olmakla birlikte arıza direncinin düşmesi arıza noktasının tespitindeki doğruluğu azalttığı ve sonucun gerçek değerden biraz uzaklaştığı görülmektedir. Bu durumda yapılan ölçüme göre hesaplanan bağıl hata;

$$BağılHata = \frac{|193 - 200|}{193} \times 100 = \frac{7}{193} \times 100 = \pm \%3,63$$

olarak bulunur.



Şekil 3.10: 3. Deneyde Arıza Noktası ve Mesafesinin Teleflex Cihazında Görüntüsü.

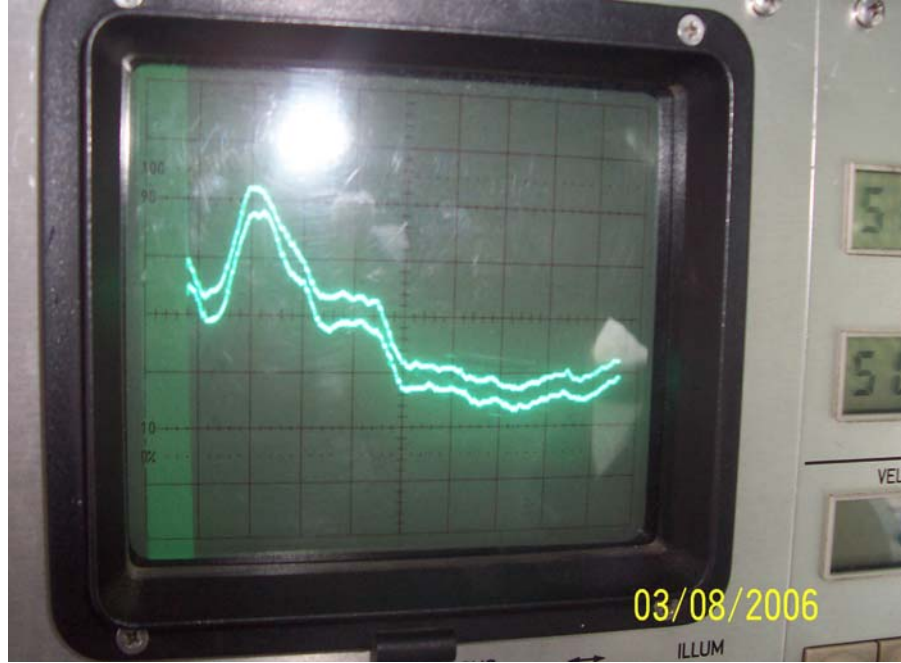
DENEY 4

Üçüncü deneyde kullanılan 900 mikrosiemens iletkenliğindeki saf suyun içine bir miktar daha şebeke suyunun eklenmesiyle iletkenliği oldukça yüksek, dolayısıyla direnci oldukça düşük bir sıvı elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu karışımın iletkenliği iletkenlik ölçüm cihazı ile ölçülerek 1550 mikrosiemens bulunmuştur. Karışımın sıcaklığı ise 26 °C olana dek bir süre güneşli ortamda bekletilmiştir. Buradan karışımının direnci;

$$R_4 = \frac{1}{G_4} \rightarrow R_4 = \frac{1}{1550 \times 10^{-6}} = 0,65 \text{ K}\Omega$$

olarak bulunur. Ölçü aracı hazırlandıktan sonra ve deneyde kullanılacak olan kablo ile bağlantılar hazırlandıktan sonra kablo uçları daha önce hazırlanan 900 mikrosiemens iletkenliğindeki sıvının bulunduğu kaba daldırılmıştır. Daha sonra ölçü aracında yer alan yüksek gerilim üreticiden kabloya 3,5 kV'luk bir tetikleyici darbe verilerek ekometre ekranında pozitif ve negatif yansımalar görüntülenmeye çalışılmıştır. Ancak ekranda birkaç deneme yapılmasına rağmen arıza algılanamamıştır. İkinci bir deneme yapılarak bu sefer kabloya 3 kV'luk bir

tetikleyici darbe verilmiş ve yine arıza algılanamamıştır. Son olarak kabloya 4 kV'luk bir tetikleyici darbe verilmiş ancak Şekil 3.11'de görüldüğü gibi ekranda görünen yansımalarla arızanın algılanması mümkün olmamıştır.



Şekil 3.11: 4. Deneyde Yansıma Görüntüsü.

Tablo 3.1: Yapılan Deneylere Ait Ölçüm Değerleri

Arıza Direnci (k Ω)	Darbe Yayılma Hızı (m/ μ s)	Darbe Gerilimi (kV)	Gerçek Arıza Mesafesi (m)	Ölçülen Arıza Mesafesi (m)
256	75	3,5	193	190
5,88	75	3,5	193	195
1,1	75	3,5	193	200
0,65	75	3,5	193	Ölçülemedi
0,65	75	3	193	Ölçülemedi
0,65	75	4	193	Ölçülemedi

Deneyler 193 metre uzunluğunda 1 kV, 4x16 mm² NYFGbY kablo kullanılarak yapılmıştır. Deneylere başlamadan önceki hedef 1 makara kablo, yani 1000 m uzunluğundaki bir kablo üzerinde deneylerin yapılması amaçlanmıştır. Ancak kullanılmak istenen kablo uçlarının makaranın iç tarafında gömülü olması nedeniyle

makara açılammış ve deneyler 193 metre uzunluğundaki kablo ile yapılmak zorunda kalınmıştır.

Yapılan deneylerde elde edilen ölçüm sonuçlarına göre, yüksek direnç değerlerine sahip kısa devre arızalarında, gerçeğe çok yakın sonuçlar elde edildiği söylenebilir. Hatta 256 k Ω ile 1,1 k Ω arasında direnç değerine sahip kısa devre arızalarında ölçü cihazının kataloğunda belirtilen bağıl hata değeri olan %1'e yakın bağıl hata değerlerinde ölçümler yapılmıştır. Ancak 0,65 k Ω direnç değerine sahip kısa devre arızasında 3 kV – 3,5 kV – 4 kV darbe gerilimlerinde birçok defa ölçümler yapılmasına rağmen teleflex ekranında herhangi bir arıza algılanamamıştır. Bunun nedeni ise daha öncede söz edildiği gibi arazide yapılan ölçümlerde sıkça karşılaşıldığı gibi, 200–250 metreye kadar olan arızalar bazı durumlarda tespit edilememektedir.

Tablo 2.2 deki seri arızalarda hata direncinin değişimine göre yansıma faktörleri değerlerini hatırladığımızda; 5 M Ω direnç değerindeki kısa devre arızalarında yansıma faktörü %99,99 iken 100 Ω civarı direnç değerlerindeki kısa devre arızalarında yansıma faktörünün % 50'lere kadar indiğini görüyoruz. Kablo üzerinde 200-250 metreye kadar olan kısa mesafelerdeki arızaların tespit edilme zorluğu ile birlikte, düşük kısa devre arıza dirençlerine sahip arızalarda gördüğümüz düşük yansıma faktörünü de göz önüne aldığımızda, 4. deneyde 0,65 k Ω değerindeki arızayı tespit edememiş olmamızın nedeni anlaşılmaktadır. Ancak gerçekte 193. metredeki bir kısa devre arızasının 256 k Ω , 5,88 k Ω ve 1,1 k Ω arıza direncine sahip kısa devre arızalarında gerçeğe çok yakın olarak tespit edilebildiğini göz önüne aldığımızda, darbe yansıma faktörünün nispeten yüksek olduğu durumlarda arızanın tespit edilebildiğini görüyoruz. Buradan da anlaşıldığı üzere yansıma faktörünün yüksek olmasının arızayı tespit edebilme açısından çok önemli olduğunu söyleyebiliriz.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Sonuç olarak, yeraltı kablolarının üretiminde oluşabilecek hatalar, kabloların döşeme ve montaj hataları ile işletme hataları ortadan kaldırılmış olsa bile engellenmesi mümkün olmayan dış elektrik ve mekanik darbelerden dolayı yeraltı kabloları her an arızalara açıktır. Önemli olan bu arızaların çok kısa süre içinde tespit edilerek arıza yerlerinin hızlı bir şekilde bulunması, arızaya müdahale edilmesi ve sistemdeki arızanın hızlı bir şekilde giderilmesidir.

Enerji dağıtım şirketleri yeraltı kablo şebekelerinde oluşacak bir arızayı çabuk ve kesin bir şekilde tespit edebilecek yöntemlere ve cihazlara ihtiyaç duymaktadırlar. Artık günümüzde enerji arzının güvenliği, enerji arzının kalitesi ve sürekliliği, bakım-onarım ve işletme masraflarının minimuma indirgenerek rekabete dayalı ilerlemelerin devam ettirilebilmesi; enerji dağıtım şirketlerinin anahtar kelimeleridir [18]. Türk ve Dünya piyasalarının her alanda artık ortak pazara ve dolayısıyla da rekabete açılmış olmalarından dolayı bu anahtar kelimelerin önemi daha da artmaktadır. Piyasa şartlarının getirmiş olduğu baskılardan ve zorunluluklardan dolayı, bu yıl ve önümüzdeki birkaç yıl içinde Türkiye Elektrik Dağıtım Şirketlerinin tamamının özelleşmesi ve devletin bu piyasadan çekilmesi zorunluluğu doğmuştur. Enerji üretim sektöründe olduğu gibi, 2007 yılından itibaren enerji dağıtım sektörüne de yerli ve yabancı birçok firmanın gireceği şimdiden görülmektedir.

Dikkate alınması gereken diğer bir konu ise, elektrik dağıtım piyasasının özelleştirilmesiyle birlikte sektörün düzenleyici kurumu olan Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) kararları olacaktır. EPDK sektörün düzenleyici ve denetleyici bağımsız kurumu olarak, elektrik piyasasında faaliyette bulunan tüzel kişilerin her türlü faaliyetlerinin, uygulamalarının, işlem, hesap ve mali tablolarının ilgili mevzuat hükümlerine ve genel kabul görmüş muhasebe ilkelerine uygunluğunun Kurul tarafından incelenerek; muhtemel hata, noksanlık, usulsüzlük ve suistimallerin saptanması ve Kanunda öngörülen gerekli yaptırımların uygulanması suretiyle; elektriğin yeterli, kaliteli, sürekli, düşük maliyetli ve rekabete

dayalı esaslar çerçevesinde çevreye zarar vermeyecek şekilde tüketicilerin kullanımına sunulmasını sağlamak ve mali açıdan güçlü, istikrarlı ve şeffaf bir elektrik piyasası oluşturmak amacıyla 4628 ve 4646 sayılı yasalar ile oluşturulmuş bir kuruldur. EPDK kararlarıyla artık dağıtım şirketleri, programlı kesintiler dışında, herhangi bir arıza nedeniyle de olsa belli bir sürenin üzerinde tüketicileri enerjisiz bırakamayacaklardır. Kurumun çıkardığı Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği'nde şu ibare yer almaktadır. “Dağıtım lisansı sahibi tüzel kişi, Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliğinin 51 inci maddesinde tanımlanan mücbir sebepler veya lisansında yer alan özel mücbir sebepler ya da programlı kesintiler dışında dağıtım sistemini, kendisinden hizmet alanlara kaliteli ve sürekli elektrik enerjisi sağlayacak durumda tutmakla yükümlüdür. Müşteriler, programlı kesintiler hakkında dağıtım lisansı sahibi tüzel kişi tarafından, kesintiden en az kırk sekiz saat önce yazılı, işitsel veya görsel basın yayın kuruluşları aracılığıyla bilgilendirilir”.

Ayrıca 12.09.2006 tarih ve 26287 sayılı Elektrik Piyasasında Dağıtım Sisteminde Sunulan Elektrik Enerjisinin Tedarik Sürekliliği, Ticari Ve Teknik Kalitesi Hakkında Yönetmeliğin 4. maddesinde “Dağıtım şirketi, dağıtım lisansında belirlenen bölgede bulunan kullanıcılara sunduğu hizmetin kalitesinden sorumludur.” ve 7. maddesinde “Tedarik sürekliliği kalitesi, dağıtım sisteminin kullanıcıların elektrik enerjisi talebini ekonomik olarak kabul edilebilir maliyetlerde ve mümkün olan asgari kesinti süresi ve sıklığı ile karşılayabilme kapasitesidir” maddeleri yer almaktadır.

Yine bu yönetmeliğe eklenen Geçici 1. maddede 01.01.2007 tarihinden itibaren başlayıp, 31.12.2010 tarihinde sona ermek üzere Türkiye genelinde elektrik dağıtım bölgelerinde, gerilim seviyelerine göre, tek bir kullanıcı için geçerli olmak üzere bildirimsiz uzun kesintiler için Yönetmelikte yer alan tablolardaki (Tablo 4.1 ve Tablo 4.2) yıllık maksimum kesinti süresi hedeflerinin ve yıllık maksimum kesinti sıklığı hedeflerinin uygulamaya konulacağı ve yıllık maksimum kesinti süresine ilişkin tablolarda yer alan hedeflerin aşılması durumunda dağıtım şirketlerinin ödemekle yükümlü oldukları tazminat miktarından söz edilmektedir.

Tablo 4.1: Kullanıcı Başına Yıllık Maksimum Kesinti Süresi Hedefleri

	2007	2008	2009	2010
İmar Alanı İçi-OG	8 Saat	7 Saat	6 Saat	5 Saat
İmar Alanı İçi-AG	14 Saat	13 Saat	12 Saat	11 Saat
İmar Alanı Dışı	20 Saat	18 Saat	16 Saat	15 Saat

Tablo 4.2: Kullanıcı Başına Yıllık Maksimum Kesinti Sayısı Hedefleri

	2007	2008	2009	2010
İmar Alanı İçi	6 saati aşan 4 kesinti	6 saati aşan 4 kesinti	5 saati aşan 3 kesinti	5 saati aşan 3 kesinti
İmar Alanı Dışı	9 saati aşan 6 kesinti	9 saati aşan 6 kesinti	8 saati aşan 5 kesinti	5 saati aşan 3 kesinti

Görüldüğü üzere enerji arzının sürekliliğinin ve kalitesinin sağlanması dağıtım şirketleri için artık bir hedef değil yasal bir zorunluluktur. Bununla birlikte yine aynı yönetmelikte “Elektrik enerjisi hizmeti alan müşterilerin hakları ve zararlarının tazmini konusunda, Kanunun 11 inci maddesi ve 4077 sayılı Tüketicinin Korunması Hakkında Kanun hükümleri ile buna ilişkin diğer mevzuat hükümleri uygulanır” hükmü çerçevesinde herhangi bir arızadan dolayı tüketicilerin yaşayabileceği maddi ve manevi kayıplardan da dağıtım şirketleri sorumlu tutulacaklardır.

Konunun yukarıda anlatılan yasal boyutları ve ekonomik gerçeklerde göz önüne alındığında, artık büyük bir arıza ile karşılaşılrsa bile uzun süreli elektrik kesintilerine tahammül gösterilmesi mümkün değildir. Karşılaşılan bir arızanın bir an önce doğru ve kesin olarak saptanması, saptanan arızaya hemen müdahale edilerek arızanın giderilmesi ve enerjinin bir an önce geri verilmesi çok önemlidir. Kabloların ilk kullanılmaya başlanıldığı yıllarda arıza yeri tespiti Klasik Ölçme Yöntemleri olarak adlandırılan DC Köprü Ölçme Teknikleri ile yapılmıştır. 1940 yıllardan itibaren ise Darbe Yansıma Yönteminin (Time Domain Reflectometry/TDR) kullanılmaya başlamasıyla birlikte artık klasik köprü ölçme yöntemleri önemini yitirmeye başlamışlardır. Teknolojinin de gelişmesiyle birlikte en çok kullanılan yöntem olan Darbe Yansıma Yönteminin daha etkili ve gelişmiş uygulamaları kullanılmaktadır. İkincil Darbe Yöntemi (Secondary Impuls Method), Karşılaştırma Yöntemi, Fark Yöntemi, Darbe Akımı Yöntemi (Impulse Current Method) gibi teorik olarak

birbirine benzeyen yöntemler bugün yaygın olarak kullanılmaktadır [19]. Piyasada bu tip cihazlarla donatılmış olan arıza yerine hızlı bir şekilde ulaşılabilecek ve arıza noktasına müdahaleyi daha da kolaylaştıracak ölçü araçları da yaygın şekilde kullanılmaktadır. Darbe Yansıma Yönteminde kabloya gönderilen darbe, kablonun yapısındaki değişiklik gösteren her nokta, endüktans ve kapasitenin ve dolayısı ile dalga direncinin değişmesine sebep olur [20]. Kablo üzerindeki farklı direnç değerlerinden dolayı gönderilen darbeler bu değişiklik gösteren her noktadan bir yansıma uğrar. Yansımalar iki değişik kablonun bağlantı yerlerinde, faz değişimlerinde, ezilmelerde, muflarda, branşmanlarda ve benzeri yerlerde oluşur. Bu nedenlerle doğan dalga direnci değişikliği sonucunda gelen darbe tekrar geliş yönü istikametinde yansır. Buna karşın kablonun dalga direncine eşdeğerdeki arıza noktalarında, gönderilen darbe tamamen emilir, yansıma olmaz. Gerçekte var olan AG kablo şebekelerinin üzerinde birçok ek noktasının ve branşman noktalarının var olduğunu düşündüğümüzde, kabloya gönderilen darbe yansımasının çok karmaşık bir şekil alacağını daha önce görmüştük. Böyle karışık bir darbe yansıma görüntüsü içinde arıza noktası ancak çok tecrübeli bir teknisyen tarafından ayırt edilebilir.

Daha önce yapılan arıza ölçümlerinde elde edilen tecrübelerle dayanılarak, kablolarda 200–250 metreden itibaren oluşacak arızaların tespitinin daha kolay olduğu söylenebilir. 200–250 metreden daha kısa mesafelerde oluşabilecek arızalarda uygun bir arıza direncide yoksa çoğu zaman sonuç elde edilememektedir. İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü’nden değerli hocalarım Prof. Dr. Kevork Mardikyan ve Doç. Dr. Özcan Kalenderli ile birlikte İstanbul’un Sarıyer İlçesi İstinye Semtinde yapımı devam eden İstinye Park inşaatında oluşan bir arızada yaptığımız ölçümlerde, 400 metre civarında uzunluktaki bir AG kablonun her iki ucundan yapmış olduğumuz ölçümlere rağmen arıza noktası tespit edilememiştir. Yaptığımız deneylerden elde edilen sonuçları da göz önüne aldığımızda 400 metre civarında uzunlukta olan bu kabloda arıza yeri muhtemelen kablonun orta noktalarında olup arıza direncinin uygun bir değerde olmamasından dolayı iyi bir yansıma faktörü oluşamamış ve arıza tespit edilememiştir.

Yapmış olduğumuz deneylerden elde edilen bilgi, deneyim ve veriler ışığında; arıza noktasının kablo üzerinde kısa bir mesafede olmasına rağmen, yüksek kısa devre direncindeki arızalarda iyi bir darbe yansıma faktörü oluşacağından arızaların tespit

edilebilir olduğunu ortaya koyabilmekteyiz. Nitekim aynı arıza noktası olmasına rağmen 256 k Ω , 5,88 k Ω ve 1,1 k Ω kısa devre arıza dirençlerine sahip arızalarda darbe yansıma faktörü daha yüksek olmasından dolayı yapılabilen doğru ölçümlerin, 0,65 k Ω kısa devre arıza direncine sahip bir arızada darbe yansıma faktörünün daha düşük olmasından dolayı birçok denemeye rağmen ölçüm yapılamamış olması bunu göstermektedir.

Arızaların ölçüm noktasına yakın olduğu durumlarda daha kesin bir sonuç elde edebilmek için, ölçüm yapılacak olan kabloya yeterli uzunlukta kablonun eklenmesi bir çözüm olabilir. Ayrıca daha önce ortaya çıkan arızalara ait yansıyan darbe şekillerinin kayıtlarının tutulması, daha sonra ortaya çıkabilecek bir arızada yapılacak ölçümlerde kablo empedansının değiştiği ek ve branşman noktalarının görülerek karmaşık şekildeki darbe yansımasının daha iyi analiz edilmesine yardımcı olacaktır. Yine enerji sisteminin birebir modellenmesi ve daha önce ortaya çıkan arıza bilgilerinden faydalanılarak Yapay Sinir Ağlarıyla darbe yansıma şekillerinin analizinin yapılması ve karmaşık dalga şekli filtrelenerek arıza noktasının tam tespiti yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Beyer, M., Kamm, W., Fesser, K.**, 1982. A New Method for Detection and Location of Distributed Partial (Cable Fault) in High Voltage Cable Under External Interference, *IEEE Transactions on Power Apparatus and System*, Vol. PAS-101, No. 9, Sep. 1982, pp. 3431-3438.
- [2] **Weeks, W. L., Steiner, J. P.**, 1982. Instrumentation for the Detection and Location of Incipient Fault on Power Cable, *IEEE Transactions on Power Apparatus and System*, Vol. PAS-101, No. 7, July 1982, pp. 2328-2335.
- [3] **Clegg, B.**, 1993. Underground Cable Fault Location, McGraw – Hill, New York.
- [4] **Kawashiwa, M., Shinagawa, J.**, 1991. Development of a Current Detection Type Cable Fault Locator, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 6, No. 2, April 1991, pp. 541-545.
- [5] **Potivejkul, S., Kerdonfag, P., Jamnian, S. and Kinnares, V.**, 2000. Design of Low Voltage Cable Fault Detector, *IEEE Power Engineering Society Winter Meeting*, Vol. 1, Jan. 2000, pp. 265-271.
- [6] **Wang, M., Hou, Y.**, 2004. Modelling of Cable Fault System, *Proceedings of the Third International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Vol. 5, 26-29 Aug. 2004, pp. 3283-3286.
- [7] **Wang, M., Hou, Y.**, 2005. Neural Network Model Based on Anti-Error Data Fusion, *Proceedings of the Fourth International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Vol. 7, 18-21 Aug. 2005, pp. 4163-4166.
- [8] **Li, M.H., Zhou, M. G., Qu, Y. M., Yan, Z., Gong, S. Y.**, 2005. Research on Surge Arc Prolongation Device For Power Cable Fault Location, *Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing Expo*, 23-26 Oct. 2005, pp. 38-41.
- [9] **Saner, Y.**, 1998. Güç (Enerji) Dağıtımı. Birsen Yayınevi, İstanbul.

- [10] **Powers, W. F.**, 1994. The Basics of Power Cable, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 30, No. 3, May/June 1994, pp. 506-509.
- [11] **Gürelli, D.**, 1979. Kablo Testi, Kablo Arızalarında Modern Tespit Yöntemleri, Yağ İzolasyon Testi, Nurettin Uycan Basımevi, İstanbul.
- [12] **Bungay, E., Macllister, D.**, 1990. Electric Cable Handbook, BSP Professional Books.
- [13] **Gale, P. F., McPherson, F.**, 1975. Cable Fault Location by Impulse Current Method, *Proc. IEE*, Vol. 122, No. 4, April 1975, pp. 403-408.
- [14] **Xu, B. Y., Li, S. X., Chen, Z. J.**, 1999. Fault Location Techniques for Power Cables, Machine – Building Industry Press.
- [15] **Gooding, H. T.**, 1966. Cable Fault Location on Power Systems, *Proc. IEE*, Vol. 113, No. 1, Jan. 1966, pp. 111-120.
- [16] **Torun, B.**, 2003. Kabloların Kısa Devre Koşullarındaki Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] http://www.baur.at/en_baur/_products/cable.htm
- [18] **Soraghan, J. J., Siew, H., Gale, P. F., McPherson, F.**, 2001. Automatic Fault Location for Underground Low Voltage Distribution Networks, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 16, No. 2, Sep. 2001, pp. 346-351.
- [19] **Thue, W. A.**, 1999. Electrical Power Cable Engineering, Marcel Dekker, Inc., New York.
- [20] **Heinhold, L.**, 1990. Power Cables and Their Applications, Siemens Aktiengesellschaft, Berlin and Munich.

ÖZGEÇMİŞ

Murat TEKİN, 1979 Eskişehir doğumludur. İlköğrenimini Kocaeli’de tamamlamıştır. 1998 yılında Gebze Anadolu Lisesi’nden mezun olmuş, aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümünde lisans eğitime başlamıştır. 2002 yılında lisans öğrenimini tamamlayarak, aynı yıl içinde İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Elektrik Mühendisliği Programı’nda yüksek lisans eğitime başlamıştır.

Murat TEKİN halen İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Elektrik Mühendisliği Programı’nda yüksek lisans eğitime devam etmektedir.