



**T.C. İSTANBUL TİCARET
ÜNİVERSİTESİ**

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKILLI ŞEBEKE UYGULAMALARINDA ENERJİ HATLARI ÜZERİNDEN
HABERLEŞME TEKNOLOJİSİNİN KULLANIMI İÇİN GÜRÜLTÜ, EMPEDANS
VE ZAYIFLAMININ ALAN ÖLÇÜMLERİ**

Erhan BAYCAN

Danışman

Doç. Dr. Serhan YARKAN

Eş Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ali Rıza EKTİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İSTANBUL – 2019**

KABUL VE ONAY SAYFASI

Erhan BAYCAN tarafından hazırlanan "Akıllı Şebeke Uygulamalarında Enerji Hatları Üzerinden Haberleşme Teknolojisinin Kullanımı İçin Gürültü, Empedans Ve Zayıflamanın Alan Ölçümleri" adlı tez çalışması 26 /06 / 2019 Tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde başarı ile savunularak, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Doç. Dr. Serhan YARKAN
İstanbul Ticaret Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Ali BOYACI
İstanbul Ticaret Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Ali AYDIN
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa



Onay Tarihi: 09.07.2019



Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK
Enstitü Müdürü

AKADEMİK VE ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

Tarih: 26.06.2019

İmza

Erhan BAYCAN

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------|
| İÇİNDEKİLER | i |
| ÖZET | iii |
| ABSTRACT..... | iv |
| TEŞEKKÜR..... | v |
| ŞEKİLLER | vi |
| TABLolar | viii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR | ix |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1. Tezin Amacı | 2 |
| 1.2. Tezin Kapsamı..... | 3 |
| 2. LİTERATÜR ÖZETİ | 5 |
| 2.1. Akıllı Şebekeler | 5 |
| 2.2. Akıllı Şebeke Kapsamında Elde Edilen Kazanımlar | 7 |
| 2.3. Dünyada Akıllı Şebeke Uygulamaları..... | 8 |
| 2.4. Ülkelerin Gelecekte Akıllı Şebeke Haberleşme Altyapı Yatırım Planlamaları | 10 |
| 3. ENERJİ HATLARI ÜZERİNDEN HABERLEŞME..... | 12 |
| 3.1. Darband (Narrowband) PLC | 12 |
| 3.2. Genişband (Broadband) PLC | 13 |
| 3.3. PLC Avantajları – Dezavantajları | 13 |
| 3.4. PLC'nin Tarihsel Gelişimi | 14 |
| 3.5. PLC Data İletim Standartları | 15 |
| 3.6. PLC Uygulamaları | 17 |
| 4. ENERJİ HATTINDA HABERLEŞMEYE ETKİ EDEN FAKTÖRLER | 19 |
| 4.1. Gürültü | 19 |
| 4.1.1. Sürekli gürültüler | 23 |
| 4.1.1.1. Zamanla değişmeyen arka plan gürültüsü..... | 23 |
| 4.1.1.2. Belirli bir zamanla değişen gürültüler..... | 23 |
| 4.1.2. Darbe gürültüleri | 24 |
| 4.1.2.1. Periyodik olmayan darbe gürültüleri..... | 24 |
| 4.1.2.2. Periyodik ve şebeke salınımı ile anuyumlu gürültüler..... | 24 |
| 4.1.2.3. Periyodik ve şebeke salınımı ile eş zamansız gürültüler..... | 24 |
| 4.1.3. Yayılım kaynaklı gürültüler | 24 |
| 4.2. Hat Empedansı | 25 |
| 4.3. Zayıflama | 33 |
| 4.3.1. Sinyal/gürültü oranı..... | 37 |
| 5. SAHA ÖLÇÜM SONUÇLARI VE YORUMLANMASI | 38 |
| 5.1. Organize Sanayi Bölgesi Gibi Yüksek Gürültü Seviyesine Sahip Aşırı Yükteki Trafo Hattı (>%90)..... | 38 |
| 5.1.1. Gürültü seviyesi analiz çalışması | 40 |
| 5.1.1.1. Gürültü seviyesinin deneysel saha ölçüm sonuçları ile analizi ve yorumlanması | 42 |
| 5.1.2. Hat empedansı analiz çalışması..... | 43 |
| 5.1.2.1. Hat empedansının deneysel saha ölçüm sonuçları ile analizi ve yorumlanması | 45 |

| | |
|--|----|
| 5.1.3. Zayıflama analiz çalışması | 46 |
| 5.1.3.1. Zayıflamanın deneysel saha ölçüm sonuçları ile analizi ve yorumlanması | 47 |
| 5.2. 250-800m Arası Havai Hat Uzunluğuna Sahip Yoğun Kullanıcısı Olan Kırsal Bölgedeki Trafo Hattı | 49 |
| 5.2.1. Gürültü seviyesi analiz çalışması | 50 |
| 5.2.1.1. Gürültü seviyesinin deneysel saha ölçüm sonuçları ile analizi ve yorumlanması | 53 |
| 5.2.2. Hat empedansı analiz çalışması..... | 53 |
| 5.2.2.1. Hat empedansının deneysel saha ölçüm sonuçları ile analizi ve yorumlanması | 56 |
| 5.2.3. Zayıflama analiz çalışması | 57 |
| 5.2.3.1. Zayıflamanın deneysel saha ölçüm sonuçları ile analizi ve yorumlanması | 58 |
| 5.3. 150-300m Arası Havai Hat Uzunluğuna Sahip Az Kullanıcısı Olan Kırsal Bölgedeki Trafo Hattı..... | 59 |
| 5.3.1. Gürültü seviyesi analiz çalışması | 61 |
| 5.3.1.1. Gürültü seviyesinin deneysel saha ölçüm sonuçları ile analizi ve yorumlanması | 63 |
| 5.3.2. Hat empedansı analiz çalışması..... | 63 |
| 5.3.2.1. Hat empedansının deneysel saha ölçüm sonuçları ile analizi ve yorumlanması | 66 |
| 5.3.3. Zayıflama analiz çalışması | 66 |
| 5.3.3.1. Zayıflamanın deneysel saha ölçüm sonuçları ile analizi ve yorumlanması | 67 |
| 5.4. Evrensel Kullanıcıların Yoğun Olduğu Kentsel Bölgedeki Yer Altı Trafo Hattı..... | 68 |
| 5.4.1. Gürültü seviyesi analiz çalışması | 69 |
| 5.4.1.1. Gürültü seviyesinin deneysel saha ölçüm sonuçları ile analizi ve yorumlanması | 72 |
| 5.4.2. Hat empedansı analiz çalışması..... | 72 |
| 5.4.2.1. Hat empedansının deneysel saha ölçüm sonuçları ile analizi ve yorumlanması | 75 |
| 5.4.2. Zayıflama analiz çalışması | 75 |
| 5.4.2.1. Zayıflamanın deneysel saha ölçüm sonuçları ile analizi ve yorumlanması | 76 |
| 6. SONUÇ VE ÖNERİLER | 77 |
| 6.1. Sonuçlar..... | 77 |
| 6.2. Öneriler | 79 |
| KAYNAKLAR..... | 81 |
| EKLER..... | 83 |
| ÖZGEÇMİŞ | 88 |

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AKILLI ŞEBEKE UYGULAMALARINDA ENERJİ HATLARI ÜZERİNDEN HABERLEŞME TEKNOLOJİSİNİN KULLANIMI İÇİN GÜRÜLTÜ, EMPEDANS VE ZAYIFLAMANIN ALAN ÖLÇÜMLERİ

Erhan BAYCAN

İstanbul Ticaret Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Serhan YARKAN

Eş Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali Rıza EKTİ

2019, 88 Sayfa

Dünya genelinde sürekli artan enerji ihtiyaçları son yüzyılda dünyanın en önemli unsurlarından biri haline geldi. Birçok ülke enerji kaynaklarının düşük enerji verimliliğinde kullanması, enerji üretimi ve tüketiminin gerçek zamanlı arz-talep dengesinin izleyememesi, arz güvenliği ve kalitesinde yaşanan aksaklıklar nedeniyle piyasada yeni gereksinimler ortaya çıkarmıştır. Bu kapsamda yaşanan aksaklıkların çözüm yolları bulunması için yapılan araştırma ve çalışmaları sonucunda akıllı şebeke kavramı ortaya çıkmış ve yepyeni bir boyut kazanmıştır. Akıllı şebekeler, kendisine bağlı olan tüm enerji sektöründeki katılımcılarının arz-talep, tüketim ve üretim davranışlarını inceleyip sistem ile bütünleştiren bir enerji sistemidir. Ülkeler;

- Ülke kayıp-kaçak seviyelerinin düşürülmesi ile verimlilik artışının sağlanması,
- Şebeke dayanıklılığı sürdürülebilirliği,
- Gelişmiş ve gerçek zamana yakın ölçüm altyapılarının sahipliği,
- Eski tek yönlü statik şebekelerden, çift yönlü enerji ve bilgi akışı olan dinamik ve gerçek zamanlı olarak izlenebilen şebeke altyapılarına dönüşüm,

Gibi parametreleri devreye alarak akıllı şebeke mimarisi ve teknolojileri ile ekonomik anlamda diğer ülkeler ile rekabet edebilmeleri için güvenli bir gelecek olanağı ortaya çıkarmıştır. Akıllı şebeke sisteminin kullanımı, yüksek miktarda bir veri transferi içermektedir. Bu veriler hassas olmakla birlikte gizlidir. Akıllı şebekeleri etkin ve verimli biçimde yönetmek için, hızlı, tutarlı, esnek, güvenli ve ucuz bir veri iletişim ağına sahip olması akıllı şebeke açısından kaçınılmazdır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı şebeke, enerji hattı haberleşmesi, enerji, enerji hattı empedans ölçümü, enerji hattındaki sinyal zayıflaması, enerji hattı gürültü ölçümü, hat empedansı.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

AREA MEASUREMENTS OF NOISE, EMPEDANS AND WEAKNESS FOR THE USE OF COMMUNICATION TECHNOLOGIES ON ENERGY LINES IN SMART GRİD APPLICATIONS

Erhan BAYCAN

**İstanbul Commerce University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Electronics and Communication Engineering Department**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Serhan YARKAN

**Co-Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ali Rıza EKTİ
2019, 88 Pages**

The world's ever-growing energy needs have become one of the most important elements of the world in the last century. Many countries have introduced new requirements in the market due to the low energy efficiency of energy resources, the inability to monitor the real-time supply-demand balance of energy production and consumption, and the problems in supply security and quality. Smart grid concept emerged as a result of the research studies to find solutions to the problems in this context. Smart grids are an energy system that examines the supply-demand, consumption and production behaviors of all the energy sector participants and integrates them with the system. For countries;

- Achieving productivity increase by reducing technical and non-technical loss levels,
- Grid durability sustainability,
- Having advanced and real-time measurement infrastructures,
- Conversion from old one-way static networks to dynamic, real-time network infrastructures with bi-directional energy and information flow,

Commissioning such parameters, with the smart grid architecture and technologies, it is possible to compete with other countries in economic terms and thus a secure future opportunity has emerged. The use of the intelligent grid system involves a high amount of data transfer. In order to manage smart networks effectively and efficiently, it is inevitable for smart network to have a fast, consistent, flexible, secure and cheap data communication network.

Keywords: Energy, line empedance, measurement of power line empedance, measurement of power line noise, power line communication, signal attenuation on power line, smart grid.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Doç. Dr. Serhan YARKAN'a ve eş danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ali Rıza EKTİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmanın yürütülmesinde maddi ve manevi yardımlarını gördüğüm Dicle Elektrik Dağıtım A.Ő. kurumun değerli yöneticilerine ve tüm personeline teşekkür ederim.

Literatür araştırmalarımnda ve bilgi paylaşımnda yardımcı olan değerli dostum Elektrik ve Elektronik Mühendisi Levent KASIMAY'a ve deneysel saha ölçüm çalışmalarında yarımalarını esirgemeyen Sayın Zafer ÖRS'e teşekkür ederim.

Desteğini hep yanımda hissettiğim eşime ve aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım. Ayrıca emeği geçen herkese teşekkürü bir borç bilirim.

Erhan BAYCAN
İSTANBUL, 2019

ŞEKİLLER

| | |
|---|----|
| Şekil 2.1. Dünyada enerji türüne göre kullanım oranı | 6 |
| Şekil 2.2. Akıllı şebekeler bileşenleri iletişim yapısı | 9 |
| Şekil 2.3. Akıllı şebeke uygulama alanları | 10 |
| Şekil 3.1. CENELEC standartlarına göre band genişlikleri | 16 |
| Şekil 3.2. FCC standartlarına göre band genişlikleri | 17 |
| Şekil 3.3. PLC sisteminin uygulama alanları | 18 |
| Şekil 4.1. Enerji hatlarındaki gürültü sinyalinin gözlemlenmesi | 21 |
| Şekil 4.2. Darband PLC gürültü türleri | 22 |
| Şekil 4.3. Maksimum güç teoremi | 26 |
| Şekil 4.4. Nicholson ve Malack'ın 50-500kHz aralığındaki frekanslarda elde ettiği hat empedans grafiği | 27 |
| Şekil 4.5. Toplam Avrupa şebeke empedansı | 31 |
| Şekil 4.6. Batı Almanya şebeke empedansı | 31 |
| Şekil 4.7. Hollanda şebeke empedansı | 32 |
| Şekil 4.8. U.S. ve Avrupa şebeke empedanslarının karşılaştırılması | 32 |
| Şekil 4.9. Zayıflamanın frekansla değişimi | 36 |
| Şekil 5.1. Trafo ve ölçümü alınan lokasyonların konumları | 39 |
| Şekil 5.2. Trafo ve ölçümü alınan lokasyonların tek hat şeması | 39 |
| Şekil 5.3. Gürültü seviyesi ölçüm düzeneği | 40 |
| Şekil 5.4. Trafo (TR1), birinci nokta (P1), ikinci nokta (P2) gürültü seviyeleri | 41 |
| Şekil 5.5. Trafo (TR1), birinci nokta (P1), ikinci nokta da (P2) kullanılan frekans bandındaki toplam gürültü gücü | 42 |
| Şekil 5.6. Hat empedans ölçüm düzeneği | 44 |
| Şekil 5.7. Trafo merkezinin (TR1) hat empedans ölçümleri | 44 |
| Şekil 5.8. Birinci noktanın (P1) hat empedans ölçümleri | 45 |
| Şekil 5.9. İkinci noktanın (P2) hat empedans ölçümleri | 45 |
| Şekil 5.10. TR1 -> P1, P2 SNR Değeri | 48 |
| Şekil 5.11. P1, P2 -> TR1 SNR Değeri | 49 |
| Şekil 5.12. Trafo ve ölçümü alınan lokasyonların konumları | 50 |
| Şekil 5.13. Trafo ve ölçümü alınan lokasyonların tek hat şeması | 50 |
| Şekil 5.14. Gürültü seviyesi ölçüm düzeneği | 51 |
| Şekil 5.15. Trafo (TR), birinci nokta (P1), ikinci nokta (P2), üçüncü nokta (P3) gürültü seviyeleri | 52 |
| Şekil 5.16. Trafo (TR1), birinci nokta (P1), ikinci nokta (P2), üçüncü nokta (P3) kullanılan frekans bandındaki toplam gürültü gücü | 52 |
| Şekil 5.17. Hat empedans ölçüm düzeneği | 54 |
| Şekil 5.18. Trafo merkezinin (TR1) hat empedans Ölçümleri | 55 |
| Şekil 5.19. Birinci noktanın (P1) hat empedans ölçümleri | 55 |
| Şekil 5.20. İkinci noktanın (P2) hat empedans ölçümleri | 56 |
| Şekil 5.21. Üçüncü noktanın (P3) hat empedans ölçümleri | 56 |
| Şekil 5.22. TR1-> P1, P2, P3 SNR Değeri | 58 |
| Şekil 5.23. P1-> TR1 SNR Değeri | 59 |
| Şekil 5.24. Trafo ve ölçümü alınan lokasyonların konumları | 60 |
| Şekil 5.25. Trafo ve ölçümü alınan lokasyonlar tek hat şemaları | 60 |
| Şekil 5.26. Gürültü seviyesi ölçüm düzeneği | 61 |

| | |
|--|----|
| Şekil 5.27. Trafo (TR1), birinci nokta (P1), ikinci nokta (P2) gürültü seviyeleri | 62 |
| Şekil 5.28. Trafo (TR1), birinci nokta (P1), ikinci nokta (P2) kullanılan frekans bandındaki toplam gürültü gücü | 62 |
| Şekil 5.29. Hat empedans ölçüm düzeneği | 64 |
| Şekil 5.30. Trafo merkezinin (TR1) hat empedans ölçümleri..... | 65 |
| Şekil 5.31. Birinci (P1) ve ikinci (P2) noktalarının hat empedans ölçümleri | 65 |
| Şekil 5.32. TR1-> P1, P2 SNR Değeri..... | 67 |
| Şekil 5.33. P1-> R1 SNR Değeri..... | 68 |
| Şekil 5.34. Trafo ve ölçümü alınan lokasyonların konumları | 69 |
| Şekil 5.35. Trafo ve ölçümü alınan lokasyonlar tek hat şemaları | 69 |
| Şekil 5.36. Gürültü seviyesi ölçüm düzeneği..... | 70 |
| Şekil 5.37. Trafo (TR1), birinci nokta (P1) gürültü seviyeleri | 71 |
| Şekil 5.38. Trafo (TR1), birinci nokta (P1) kullanılan frekans bandındaki toplam gürültü gücü | 71 |
| Şekil 5.39. Hat empedans ölçüm düzeneği | 73 |
| Şekil 5.40. Trafo merkezinin (TR1) hat empedans ölçümleri..... | 74 |
| Şekil 5.41. Birinci noktanın (P1) hat empedans ölçümleri..... | 74 |
| Şekil 5.42. TR1-> P1 SNR Değeri..... | 76 |

TABLULAR

| | |
|---|----|
| Tablo 2.2. Akıllı sayaçlar ile ilgili AB ülkelerinde kullanılan haberleşme teknolojileri----- | 11 |
| Tablo 4.1. Altı ticari ülkede yapılan ölçümlerin dağılımı ----- | 28 |
| Tablo 4.2. Toplam Avrupa şebeke empedansının deneysel ölçümleri ----- | 29 |
| Tablo 4.3. Toplam Avrupa ülkelerinin kompleks şebeke empedansı----- | 30 |
| Tablo 5.1. Ölçümü alınan trafonun değerleri----- | 38 |
| Tablo 5.2. Noktalar arası sinyal gürültü oranı (SNR) ve loss analizleri ----- | 47 |
| Tablo 5.3. Ölçümü alınan trafonun değerleri----- | 49 |
| Tablo 5.4. Noktalar arası sinyal gürültü oranı (SNR) ve loss analizleri ----- | 57 |
| Tablo 5.5. Ölçümü alınan trafonun değerleri----- | 59 |
| Tablo 5.6. Noktalar arası sinyal gürültü oranı (SNR) ve loss analizleri ----- | 66 |
| Tablo 5.7. Ölçümü alınan trafonun değerleri----- | 68 |
| Tablo 5.8. Noktalar arası sinyal gürültü oranı (SNR) ve loss analizleri ----- | 75 |

SİMGELER VE KISALTMALAR

| | |
|----------|---|
| AG | Alçak Gerilim |
| BPL | Güç Hatları Üzerinden Geniş band |
| Db | Desibel |
| dBuV | Desibel mikro volt |
| DSL | Dijital Abone Hattı |
| FCC | Uluslararası İletişim Komisyonu |
| F | Frekans |
| GSM | Mobil İletişim İçin Küresel Sistem |
| GPRS | Genel Paket Radyo Servisi |
| Hz | Hertz |
| IP | İnternet Protokol |
| k | Kilo |
| KHz | Kilo Hert |
| Kbps | Saniye Başına Kilobit |
| Km | Kilometre |
| m | Metre |
| MHz | Mega Hertz |
| Mbps | Saniye Başına Megabit |
| OG | Orta Gerilim |
| PLC | Güç Hattı Haberleşmesi |
| PSD | Güç Spektral Yoğunluğu |
| RF | Radyo Frekansı |
| SNR | İşaret Gürültü Oranı |
| S/N | İşaret Gürültü Oranı |
| SMPS | Anahtarlama Mod Güç Kaynakları |
| UMTS | Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi |
| YG | Yüksek Gerilim |
| WAN | Geniş Alan Ağları |
| Ω | Ohm |

1. GİRİŞ

Enerjinin, son yıllarda dünyanın kalbinde yer almasıyla birlikte dünya genelinde birçok ülke enerji kaynaklarını daha verimli kullanmanın bir yolunu bulmak için araştırmalara başladı. Bu çalışmalar ile birlikte elektrik şebekesinde ciddi oranda hızlı değişiklikler meydana geldi. Örneğin elektrik şebekesine normalde bağlı olan tek enerji kaynağı yerine birkaç farklı enerji kaynağı bağlanarak şebekenin beslendiği ve karmaşık bir yapı olduğu zaman sistemin daha verimli hale geldiği görüldü. Bu kapsam ile birlikte artık elektrik şebekesinin beslenme senaryosu değişmiş oldu. Elektrik şebekesinin beslenme yolları değişmesi ve karmaşık elektrik şebekesinin gelmesiyle birlikte elektrik sisteminin gereksinimlerinde hızlı artışlar meydana geldi.

Dünya genelinde hızla artan enerji ihtiyaçları kontrol altına alınabilmesi için akıllı şebekeler trendi başladı. Bu eğilim ile birlikte ülkeler artık enerji şebekesinin arz ve talep dengesi, talep tarafı yönetimi, talep tahmini, uzaktan izleme ve yönetim, cihaz yönetimi, kayıp ve kaçak kontrolü, enerji verimliliği, uyum yenilenebilir kaynakları yönetme gibi özellikleri kontrol altına almaya başladılar. Fakat akıllı şebekenin erişilebilir, güvenilir ve esnek bir yapıya sahip olmaması nedeniyle birçok ülke bu kapsamda yeni yatırımlara ve faaliyetlere yönelmiştir. Türkiye’de bu kapsamda akıllı şebeke teknolojilerini ve şebeke mimarisini güçlü, güvenilir hale getirmek için yatırımlarını hızlandırılmıştır.

Türkiye’nin akıllı şebekeler haberleşme altyapısı büyük oranda GSM (Mobil İletişim için Küresel Sistem) teknolojisi ile yönetilmekte ve kontrol edilmektedir. Bu yapı hem maliyet olarak hem de dışa bağımlılık bakımından ileriki yıllarda karşımıza ciddi problemler çıkarabilir.

Bu kapsamda geniş kapsama alanı olan, ekonomiye ve çevreye somut ölçülebilir bir fayda sağlayabilecek bir iletişim teknolojisi kullanmak gerekir. PLC teknolojisinin ulaşılabilirliği bakımından ideal bir çözüm olarak görülmektedir.

Bu çalışma Dicle bölgesi akıllı şebeke haberleşme alt yapısı için kullanılacak PLC teknolojisinin kanal özellikleri hakkında fikir vereye katkıda bulunacaktır. Bölüm 5 de çalışmanın ana konusu olan deneysel saha ölçümlerini, ölçüm yöntemlerini ve ölçüm sonuçları ile birlikte deneysel saha ölçüm sonuçlarının analizi ve yorumlanması yer almaktadır.

1.1. Tezin Amacı

Dünya genelinde enerji ihtiyaçları sürekli artmasına rağmen, toplam enerji üretimi ve tüketimi tam anlamıyla gerçek zamanlı olarak izlenememektedir. Bu problem ve bilinmezlik kavramı, enerji üretim şirketleri açısından sürekli ihtiyaca yetebilecek kadar enerji stokunu garantilemek adına her zaman üretim kapasitenin üzerinde üretim yapmaya zorlamaktadır. Henüz enerji depolama alanında yeterli seviyede ilerlemeler kaydedilmediği için fazladan üretilen elektrik boşa gitmektedir. Geleceği şekillendirmek için sürekli artan ve artmaya devam eden enerji talebine karşın mevcut enerji kaynaklarını verimli kullanımı sağlanmalıdır.

Akıllı şebekeler kavramı ile herhangi bir haberleşme altyapısı yardımı ile belirlenen bir bölgeden verilerin toplanması ve bu verilerin gereksinimler kapsamında analiz edilmesi gerekir. Analiz edilen bu veriler sonucunda enerji verimliliğinin artırılması, kayıp/kaçak oranlarının düşürülmesi, kesintisiz elektrik enerjisinin sağlanması, ihtiyaçlar doğrultusunda enerji üretim kaynaklarının daha verimli kullanılması gibi işlemler hayata geçirilebilmektedir (Anonim, 2018).

Akıllı şebekelerde şebeke altyapısının verilerinin analiz edilmesi için yüksek kararlılığı olan, yüksek gürültü bağımsızlığına sahip, düşük iletim gecikmeli, bakımı ve işletimi kolay, işletme maliyetlerinin düşük olduğu, geniş kapsama alanı olan, ekonomiye ve çevreye somut ölçülebilir bir fayda sağlayabilecek bir iletişim teknolojisi kullanmak gerekir. Bu kapsamda PLC teknolojisi, akıllı şebekenin haberleşme altyapı ihtiyaçlarını karşılayabilen en ekonomik ve güvenilir çözümlerden biridir. Fakat PLC teknolojisi gürültü, zayıflama, hat empedans uyumsuzluğu gibi haberleşme ortamına etki eden baş ağrıtıcı pek çok unsuru içeren bir haberleşme ortamıdır.

Farklı ülkelerin gelecekte akıllı şebeke kapsamında haberleşme altyapılarına uygulamak istedikleri ve planladıkları haberleşme teknolojilerini incelediğimizde PLC teknolojisi önemli bir yer tutmaktadır.

Türkiye'deki eski ve çeşitli şekillerle yapılandırılmış iletim, dağıtım güç hatlarında, yüksek kaçak oranlarının söz konusu olduğu ve iletişim altyapısının yetersiz olduğu bölgelerde, enerji hatları üzerinden düzgün ve verimli şekilde veri iletişimi sağlamak için öncelikle enerji şebekesinin yeterli iletişim altyapısına uygun olup olmadığını ortaya koymak gerekir. Böylece PLC teknolojisini gelecekte tam ölçekli olarak yaygınlaştırmaya gitmeden önce bu çalışma ile elde edilen analizler ve tecrübeler dağıtım şirketlerinin PLC teknolojisini yaygınlaştırmaları için daha iyi bir hazırlık yapmasına olanak sağlayacaktır.

Bu tezin amacı akıllı şebekeler kapsamında PLC teknolojisini kullanılabilirliği için enerji şebekesinde haberleşmeye etki eden gürültü, zayıflama, empedans uyumsuzluğu gibi etkenleri saha da yapılan deneysel saha ölçümleri ile analiz edip haberleşme anlamında çalışabilirlik modelini ortaya koyup geleceğe dönük PLC projelerinin değerlendirmeye alınıp alınmaması sonuçlarının ortaya çıkarılmasıdır.

1.2. Tezin Kapsamı

Dicle bölgesinde akıllı şebekeler kapsamında PLC teknolojisini kullanılabilirliği ortaya çıkartmak için gerekli alt yapı oluşturulması gerekiyor. Bunun için Dicle EDAŞ bölgesinin şebeke altyapısında aşağıda belirlenen lokasyonlarda (Trafo merkezleri ve müşteri panoları) deneysel saha ölçüm çalışmaları yapılmıştır.

1. Organize sanayi bölgesi gibi yüksek seviyesine miktarına sahip aşırı yükteki trafo hattı (>%90)
2. 250-800m arası havai hat uzunluğuna sahip yoğun kullanıcısı olan kırsal bölgedeki trafo hattı
3. 150-300m arası havai hat uzunluğuna sahip az kullanıcısı olan kırsal bölgedeki trafo hattı

4. Evrensel kullanıcıların yoğun olduğu kentsel bölgedeki yer altı trafo hattı

Yukarıdaki lokasyonların PLC haberleşme anlamında uygunluğunu ortaya çıkartmak için de Spektrum Analizör ile aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır.

1. Gürültü seviyesinin ortaya çıkarılması,
2. Trafoya ve müşteri panosundaki hat empedanslarının (faz ile nötr arasındaki empedans) ölçümünün yapılması,
3. Hattaki zayıflamanın ortaya çıkarılması

Bu çalışmalar kapsamında enerji hattı iletişim sisteminde haberleşmeye etki eden gürültü, zayıflama, empedans uyumsuzluğu ölçümleri ile Türkiye'deki enerji hatları durumu hakkında gerekli yeni veriler sunulacaktır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

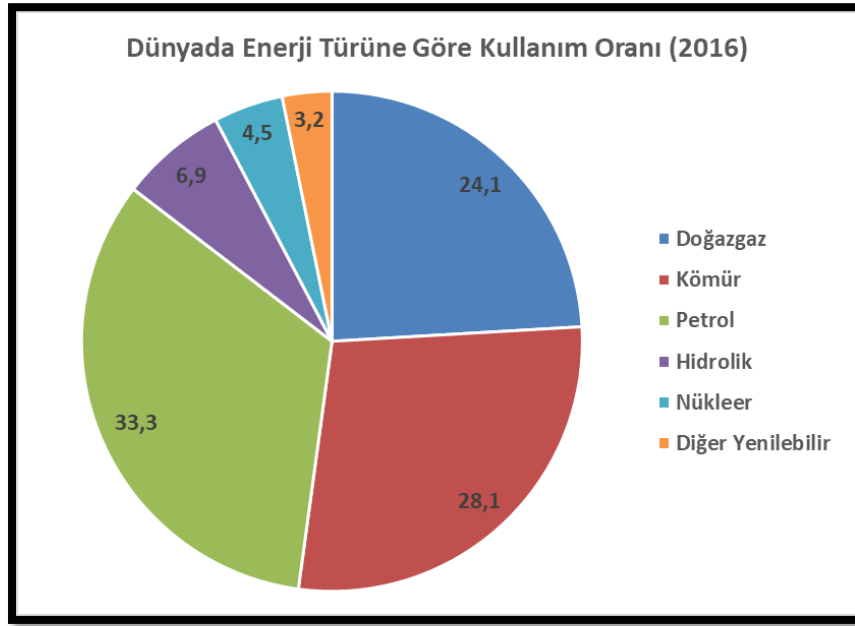
Akıllı şebekeler için PLC sistemi, ülkelerin elektrik altyapı şebekesinin farklılığı, gürültü, zayıflama, yansıma, lineer olmayan yükler, aşırı tüketim, tüketim dengesizliği gibi pek çok problem ile karşı karşıyadır. Bu problemlerin çözümü için dünya genelinde ciddi anlamda çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların diğer ülkelerdeki araştırmacılar tarafından anlaşılması ve geliştirilmesi için saha deneysel ölçüm çalışmaları yapılıp ve bununla birlikte farklı modeller geliştirilmektedir. Deneysel saha ölçüm sonuçlarında haberleşme sistemlerinin zaman, frekans ve uzaklık ölçütlerini karşılayacak kapsamda çalışmalar yapılmaktadır.

PLC kanalının zamanla değişen özelliği nedeni ile deneysel saha ölçümleri sonucu ile elde edilen veriler giderek önem kazanmıştır. Dünya genelinde yapılan çalışmaların sonucunda elde edilen veriler ile yeni modeller oluşturulmasının yanı sıra farklı istatistiksel yöntemlerin ve metotları birleştirilmesi yani karma bir modelin oluşturulması da giderek önem kazanmıştır.

Bu çalışmada frekans düşümlü olarak gürültü, hat empedansı, zayıflama, kayıp ve sinyal/gürültü etkileşimi deneysel saha ölçüm sonuçları ile birlikte analiz edip yorumlanmıştır.

2.1. Akıllı Şebekeler

Dünyada enerji türüne göre kullanım oranı incelendiğinde enerji ihtiyacının %80'inden fazlası fosil yakıtlardan karşılandığı görülmektedir (Şekil 2.1). Bu yakıtlar 300 milyon yıl önce oluşmuş, tekrar yerine koymak kısa vadede mümkün olmayan yakıtlardır. Enerji kullanımı ve kaynaklarının durumunun gelecekteki durumlarını incelendiğinde ise tüm dünyadaki mevcut rezervler ve yıllık üretim-tüketim miktarları temel alındığında, petrolün 40-45, doğal gazın 60-65, kömürün ise 300-350 yıl daha yetebileceği açıklanmaktadır (Anonim, 2017).



Şekil 2.1. Dünyada enerji türüne göre kullanım oranı (BP, 2016)

Bu kapsamda insanlığın yarınlarının olabilmesi için mevcut enerji kaynaklarını verimli ve tutumlu kullanmalıyız ve yeni enerji kaynakları yaratmalıyız. Fakat günümüzdeki enerji alanındaki en büyük ve en önemli problemlerin başında var olan enerji kaynaklarının istenilen oranda verimli kullanılmaması gelmektedir. Bunun başlıca nedeni artan enerji ihtiyaçlarının arz/talep dengesinin yeterli kadar gerçek zamanlı olarak kontrol edilememesi ve talep doğrultusunda üretilen fazla enerjinin depolanması için gerekli teknolojilerin henüz tam olarak gelişmemesidir. Dünya genelinde bu problemin üstesinden gelinebilmesi için geleneksel tek yönlü üreticiden tüketiciye doğru olan enerji şebekesinde yeni geliştirmeler ve dönüşümler yapmak gerekir. Bu dönüşümü enerji kullanımında verimi yükseltmek, alternatif enerji kaynaklarını şebekeye ekleyebilmek, herhangi bir bölgenin enerji ihtiyacını toplanan veriler ile analiz edebilip kullanıcı davranışlarının bilinmesini sağlamak için ancak üretimden tüketime doğru çift yönlü enerji ve bilgi akışı ile sağlayabiliriz. Bu ihtiyaçlar çerçevesinde akıllı şebeke (smart grid) kavramı doğmuştur.

Akıllı Şebeke: Üretimden tüketime, uçtan uca çift yönlü enerji ve bilgi akışının sağlanmasıdır.

Akıllı Şebekede Amaç;

- Şebekenin güvenilirliğini ve kalitesini artırmak,
- Oluşan arızalara hızlı ve etkin biçimde müdahale edebilmek,
- Kayıpları azaltarak kapasiteyi artırmak,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının değişken yapısını dengeleyip sistemle bütünleştirmek,
- Dağıtık enerji üretimini sistemle bütünleştirmek,
- Müşteri farkındalığını ve seçeneklerini artırmak ve talebi dengelemek,
- Çevreyle dost enerji üretimini artırarak zararlı gaz salınımını azaltmaktır.

2.2. Akıllı Şebeke Kapsamında Elde Edilen Kazanımlar

Akıllı şebeke teknolojilerini yapısına bütünleşmiş eden elektrik şirketleri ve diğer şirketler; azalan işletim maliyetleri, artan güç kalitesi, artan tüketici memnuniyeti ve olumlu çevresel etkiler kendi kendini yönetebilme, gibi önemi faydalar elde etmiş olur. Akıllı şebeke vizyonu ile elektrik şirketlerine ve diğer şirketlere, tüketicilere, ekonomiye ve çevreye ölçülebilir ve sürdürülebilir faydalar sağlayan bütünleşmiş çözümler ortaya çıkar. Akıllı şebeke çözümlerinin uygulanmasının somut, ölçülebilir belli başlı önemli sonuçlarını şu şekilde belirtebiliriz.

❖ Merkezileştirme ve Operasyonel Verimlilik,

- Şebekedeki sorunların kısa zamanda tespiti ve giderilmesi,
- Saha operasyonlarının en aza indirilmesi,
- Planlı ve plansız elektrik kesintilerinin analizi ve daha iyi yönetimi,
- Operasyonel maliyetlerde azalma,

❖ Gelir Kaybının Engellenmesi ve Müşteri Memnuniyeti,

- Problemlerin ve ihtiyaçların önceden tespiti ile kesintilerin minimize edilmesi,
- Müşteri memnuniyetinin artırılması ve gelir kaybının engellenmesi,
- Tüketicilerin kendi tüketimlerini izleyebilmeleri,
- Optimum şebeke planlama ve yatırımı,
- Şirketlerin dengeli kaynak kullanımı sayesinde müşterilere adil tüketim bedellerinin yansıtılması ve dinamik fiyatlamanın devreye girmesi,
- Etkin enerji üretimi ile enerji kaynaklarını ihtiyaca göre yönetip ve ihtiyaca göre daha iyi yönlendirmektir.

❖ Enerji Verimliliği Sağlanması,

- Yenilebilir enerji entegrasyonunun optimize edilmesi ve daha büyük oranla yaygınlaştırmaya olanak sağlanması,
- Enerji Verimliliğinde artış ve karbon emisyonunda azalış elde edilmesi,
- Elektrik şirketlerinin güç arz/talep güvenilirliği, işletim performansı ve genel üretkenliğinin artırılması,

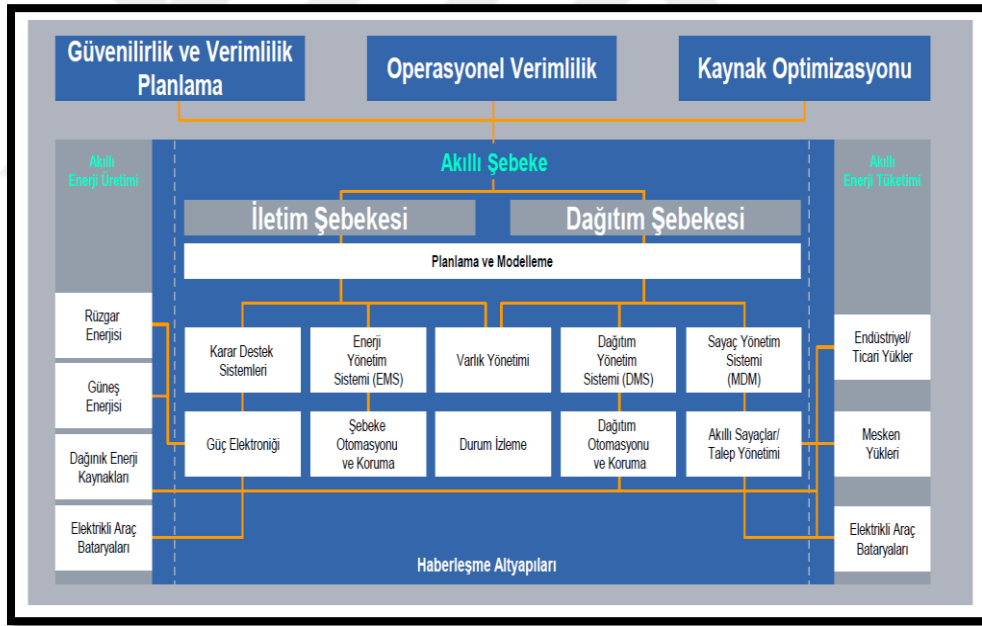
❖ Güvenilir ve esneklik,

- Arıza ve kesinti durumlarında sisteme en hızlı tepkiyi verip enerjiyi yönlendirme,
- Doğal afet durumlarında altyapı dayanıklılığı.

2.3. Dünyada Akıllı Şebeke Uygulamaları

Dünya genelinde teknolojinin gelişmesine paralel olarak hayatımızın önemli bir parçası haline gelen akıllı şebekeler ülkeleri yeni yatırımlarına yöneltmiştir. Birçok

ülke akıllı şebeke ile ilgili hedefler belirleyerek, uygulama çalışmalarına başlamıştı (Kırmızıoğlu, 2016). Dünyada uygulanan akıllı şebeke yatırımlarının ana hedefi; kayıp ve kaçak oranını azaltarak enerji verimliliği sağlamak olmuştur (Şekil 2.2). Bunun yanında diğer ana hedefler olarak; rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir kaynaklardan enerji üretmek, karbon emisyonunu azaltmak, elektrik hatlarını iyileştirmek, ileri ölçüm altyapısı kurmak, elektrikli araçları ve akıllı binaları sisteme bütünleşmiş etmek, akıllı yönetim sistemleri kurmaktır (Kırmızıoğlu, 2016). Bunun ile birlikte ülkelerin elektrik şebekesini modernleştirmeye yönlendiren diğer ve can alıcı konu, ekonomik anlamda diğer ülkeler ile rekabet edebilme, enerji güvenirliliği ve güvenliğidir. Akıllı şebekeler ülkeler için yüksek maliyetlere mal olması gerekse bile elde edilen sonuçlar ile yapılan tasarruf ve edinilen faydalar ülke ekonomisine büyük oranda yarar sağlamaktadır. Şekil 2.2’de akıllı şebekenin bileşen altyapısı, Şekil 2.3’de ise dünya genelinde akıllı şebekenin uygulama alanları yer almaktadır.



Şekil 2.2. Akıllı şebekeler bileşenleri iletişim yapısı (Şahin, 2018)



Şekil 2.3. Akıllı şebeke uygulama alanları (Anonim, 2017)

2.4. Ülkelerin Gelecekte Akıllı Şebeke Haberleşme Altyapı Yatırım Planlamaları

Ülkelerin gelecekte akıllı şebeke için otomatik sayaç okuma kapsamında haberleşme altyapılarına yatırım planladıkları ve uygulamak istedikleri haberleşme teknolojileri Tablo 2.2’de yer almaktadır.

Tablo 2.1. Akıllı sayaçlar ile ilgili AB ülkelerinde kullanılan haberleşme teknolojileri

| Ülke | Haberleşme Teknolojisi |
|-----------------|--|
| Almanya | GPRS/UMTS/LTE – 70% PLC/BPL – 20 % DSL – 5 % Fiber-Optik – 5 % |
| Avusturya | Akıllı sayaçtan data konsantratörüne - % 70 PLC ve % 30 GPRS Data konsantratörden merkezi birime - %100 Fiber Optik |
| Belçika | Akıllı sayaçtan data konsantratörüne - % 80 PLC ve % 20 MUC/Multi-Utility Gateway (%60 Kablo + %40 GPRS) Data konsantratörden merkezi birime – Kablolu+GPRS |
| Çek Cumhuriyeti | Akıllı sayaçtan data konsantratörüne - PLC ve GPRS Data konsantratörden merkezi birime - GPRS + Fiber Optik |
| Danimarka | PLC, GPRS/GSM, WiFi ve RF |
| Estonya | PLC – 90%, GPRS – 10% |
| Finlandiya | PLC – 30 %, GPRS – 60 %, RF – 10 % |
| Fransa | PLC |
| Hollanda | PLC, GPRS |
| İngiltere | PLC/Genişband |
| İrlanda | PLC/RF |
| İspanya | PLC |
| İsveç | Akıllı sayaçtan data konsantratörüne - GPRS, PLC ve/veya Radio (46%) + PLC (37%) + RF (17%) + GPRS (1%) Data konsantratörden merkezi birime - GPRS (66%) IP (fiber, etc.) – 34% Other (17%) + Radio (9%) + PLC (8%) |
| İtalya | PLC ,GSM/GPRS |
| Letonya | Akıllı sayaçtan data konsantratörüne - PLC Data konsantratörden merkezi birime – GSM |
| Litvanya | Akıllı sayaçtan data konsantratörüne - PLC +GPRS Data konsantratörden merkezi birime - GPRS |
| Lüksemburg | PLC, GPRS |
| Malta | PLC, GPRS |
| Polonya | PLC |
| Portekiz | 85% PLC ve 15% GPRS |
| Romanya | Akıllı sayaçtan data konsantratörüne - PLC Data konsantratörden merkezi birime - GSM/GPRS, WiFi/WiMAX and Fiber Optik |
| Slovakya | Sayaçtan merkezi birime olan direk haberleşmede - GSM/GPRS/ETHN Sayaçtan merkezi birime aracı yazılımlarla olan haberleşmede - PLC, RF, and/or WAN |
| Slovenya | PLC ve GSM |
| Yunanistan | PLC |

3. ENERJİ HATLARI ÜZERİNDEN HABERLEŞME

Enerji hattı haberleşmesi (Powerline Communication), verinin mevcut enerji dağıtım şebekesi üzerinden taşınması tekniğidir (Bayram, 2010).

Modüle edilmiş bir taşıyıcı sinyali elektrik hatları üzerinde ileterek çalışır. Bu modülasyonun ve demodülasyonun yapılması elektrik beslemesine bağlanan terminal aygıtları aracılığı ile yapılıp veri transferi ve genişband haberleşme imkânı sunmaktadır. Alternatif elektrik akımı ve radyo dalgaları farklı frekanslarda olduğu için elektrik akımı ve veri birbirine karışmadan iletilebilir (Işık, 2010).

Elektrik hattı üzerinden haberleşme için ayrı kablo kullanılmaması, enerji dağıtım hatları üzerinden mevcut sistemin güç gereksiniminin sağlanabilmesi, elektrik dağıtımının yapıldığı her noktaya ulaşabilme imkanı ve kablosuz haberleşme cihazlarından yayılan elektromanyetik dalgalardan korunma isteği gibi sebeplerden dolayı PLC'nin önümüzdeki yıllarda yüksek oranda tercih edilen bir haberleşme teknolojisi olma yolunda ilerlemektedir (Anonim, 2018).

PLC teknolojisi genel anlamda darband ve genişband PLC olarak iki temel bölüme ayrılır.

3.1. Darband (Narrowband) PLC

Dar band PLC sistemleri, 3 ile 500 kHz frekans bandı aralığında çalışmakta olup, bu frekans bandı bölgesel olarak farklı alt bandlara bölünmüştür. Bölgesel haberleşme bandlarını belirleyen kuruluşlar ve haberleşme bandları Enerji Hattı Data İletim Standartları başlığı altında anlatılmaktadır. Darband PLC teknolojileri veri hızları göz önüne alındığında bir kaç 100 kbps veri hızına sahip sistemlerdir. Haberleşme menzili yüksektir olması sebebiyle tercih edilebilmektedir (birkaç km). Dar band PLC bandı içerisinde yer alan Ultra Darband (Ultra Narrowband) PLC teknolojisi oldukça düşük haberleşme hızlarına sahiptir. Ultra darband, tek yönlü ve merkezi kontrolsüz otomatik sayaç okuma sistemlerinde uzun haberleşme mesafelerine ulaşabilmeleri

ve haberleşme sinyallerinin düşük gerilim/orta gerilim trafolarından geçebilmesi sebebi ile tercih edilir. Fakat çok düşük veri iletim hızlarına sahip olmaları nedeniyle günümüzde tercih edilmemektedir. Bu sistemlerin bir diğer dezavantajı da genellikle çift yönlü iletişimi desteklememeleridir (Berger vd. 2014).

3.2. Genişband (Broadband) PLC

Geniş band PLC teknolojileri 1.8 ile 250 MHz frekans bandı arasında çalışmakta olup, veri iletim hızları bir kaç Mbit/s'dan bir kaç yüz Mbit/s'a kadar çıkabilmektedir. Genellikle enerji hattı üzerinden ses, görüntü taşıma ve internet dağıtımı, ev içi ağlar gibi işlemlerde tercih edilmektedir (Berger vd. 2014).

3.3. PLC Avantajları – Dezavantajları

Avantajları;

- Hazır ve kurulu bir alt yapıya sahip olması nedeniyle ek bir kablolama gereksiniminin olmamayışı ve maliyet avantajı,
- Kablolu bir teknolojisi olduğu için ek olarak herhangi bir frekans tahsisine ve frekans tahsis ücretine sahip olmamayışı,
- Uyum derecesinin yüksek olması nedeniyle AG, OG, ve YG güç ağlarına kolaylıkla adapte olabilme özelliği,
- Yüksek band genişliği sayesinde iletim sinyalini uzak mesafelere kadar taşıyabilme özelliği (teorik olarak 20 Mbit/s'e kadar).

Dezavantajları;

- Yüksek teknik donanım gerektirmesi ile bazı durumlarda yüksek maliyetler,
- Gelişmekte olan bir teknoloji olmasından dolayı henüz belirli bir standarda sahip olmaması ve düzenleme ve standardizasyon çalışmaları halen devam etmesi,

- Güç hatlarının değişken yapıya sahip olması nedeniyle iletişim katmanında sinyalin zayıflama seviyesi yansıma derecesi ve gürültünün seviyesi zaman, frekans coğrafik konum, coğrafi yapı ve tüketim alışkanlıkları ile birlikte değişkenlik göstermektedir.
- Dünya genelinde PLC Frekansların bölgeler bazlı düzenlenmelerin tam olarak hayata geçememesi,
- Haberleşme ortamının paylaşımlı bir eksene sahip olması nedeniyle sisteme bağlı ve aktif durumdaki nokta sayısının artması ile birlikte erişebilirlik durumlarının düşmesidir.

3.4. PLC'nin Tarihsel Gelişimi

Mevcut enerji dağıtım hatlarını kullanarak iletişim veya veri aktarım yöntemi için geliştirilen iletişim protokolü 1838 yılında ilk uzaktan elektrik ölçüm çalışması yapılmış ve 1897 yılında güç hattı sinyalizasyonuna ait ilk patent İngiltere'de yayımlanması ile devam etmiş (Bayram, 2010).

1920 yılında American Telephone and Telegraph Company, Güç Hattı Taşıyıcı Devresi için iki patent aldı. Enerji hattı üzerinden iletişim çalışmaları yeni bir fikir olmamasına rağmen ve uzun zaman önce başlasa bile dünya çapında yaygın olarak kullanılan bir sistem değildi (Bayram, 2010).

Enerji hattı haberleşmesi üzerinden yapılan ilk çalışmalarda tek yönlü iletişim ve veri aktarım teknikleri üzerinde durulmuştur. 1950'li yılların başlarında ilk terimler ortaya çıkmaya başlamış ancak o günün şartlarında düşük veri iletim hızı ve yüksek tasarım maliyetleri sebebiyle bir haberleşme teknolojisi olarak görülmemiştir. Fakat zaman içerisinde gelişen modülasyon teknikleri ile artık verinin aktarında kullanılabilir bir teknoloji haline gelebilmiştir (Bayram, 2010).

Demo sayılabilecek ilk uygulamalar, 1970'li yıllarda, aydınlatma otomasyonu amaçlı olarak ortaya çıkan X10 gibi protokollerle gerçek uygulama alanı bulmuş ve hızla yaygınlaşmaya başlamıştır (Anonim, 2018). Hızla gelişen teknolojiler sayesinde

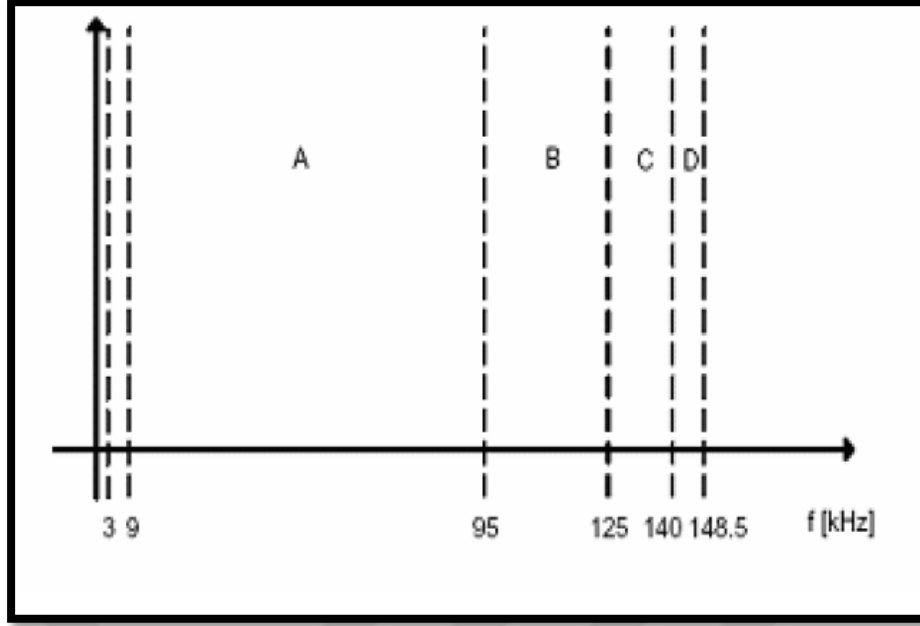
1980'li yılların sonlarında çift yönlü haberleşme gerçekleştirilmiş ve sonraki birkaç yıl içerisinde kullanılabilir seviyelere ulaştırılmıştır.

1990'lı yıllardan itibaren PLC teknolojisi ile haberleşen cihazların sayıları ve haberleşme hızları her geçen gün artmaya başlaması ile yeni modülasyon teknikleri ve hata düzeltme ve algılama teknikleri ortaya çıkmıştır.1998 yılından itibaren artık elektrik sektöründe serbestleşme adımları atılmaya başlamıştır. Hızlı bir şekilde ilerlemeler kaydedilmesi ile birlikte telekomünikasyonda şirketleri de elektrik hattı üzerinden haberleşme hizmetleri vermek amacıyla yeni pazarların oluşması için teknolojik çalışmalara başlamıştır (Değermenci, 2007).

Elektrik şirketleri bu teknoloji yardımıyla müşterilerine farklı hizmetler sunmayı ve kullanarak hizmetlerinde farklılıklar meydana getirmek, bu sayede de kullanıcı sayısını ve çeşidini artırmayı planlamaktadırlar (Değermenci, 2007). 2003 yılından itibaren PLC teknolojisi tüm dünya genelinde yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu yaygınlaşma ile birlikte PLC teknolojilerinde haberleşmeyi olumsuz yönde etkileyen, hat üzerindeki gürültü ve zayıflamanın yüksek olması sebebiyle sinyallerin uzağa iletilmemesi ve meydana gelen girişimleri gibi etkileri ortadan kaldırılabilmesi için iyileştirme çalışmaları devam etmektedir (Bayram, 2010).

3.5. PLC Data İletim Standartları

Enerji hatlarında iletim ve yapı amaçlı haberleşme sistemlerinin kullanılması için gerek Avrupa'da gerekte ABD'de band genişliğine ihtiyaç duyulmaktadır. İhtiyaç duyulan band genişlikleri CELENEC standartları ile belirlenmiştir. Avrupa da, PLC band genişlikleri CENELEC EN-50065-1 standardı olarak şekillendirilip anda zamanda kullanılacak güçler içinde bir sınırlama yapılmıştır.



Şekil 3.1. CENELEC standartlarına göre band genişlikleri (Karadeniz, 2006)

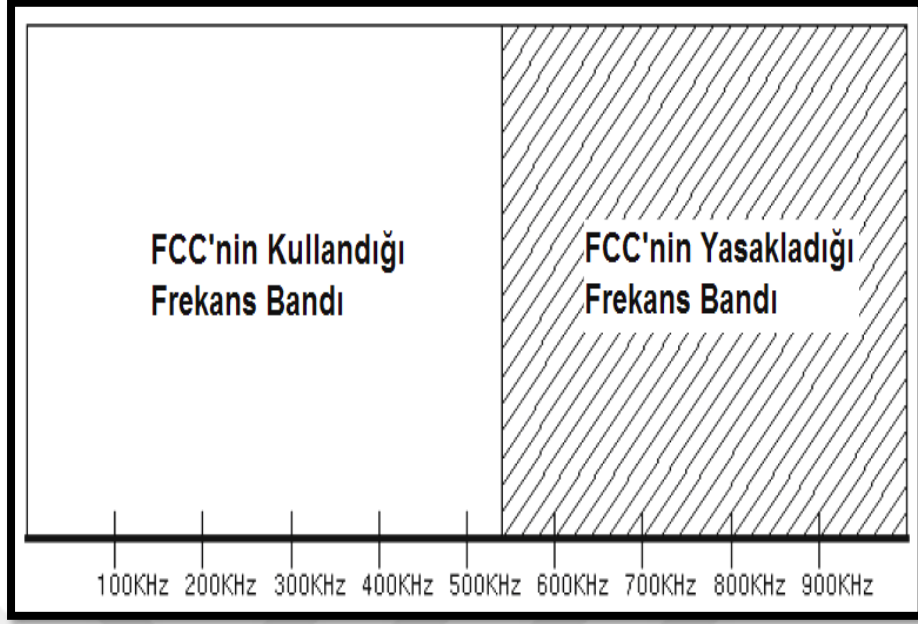
Şekilde 3.1'deki band kullanım özellikleri aşağıdaki gibidir.

- A-Bandı (3 kHz– 95 kHz): Elektrik üreticilerini altyapı çalışmaları için kullanılabilir,
- B-Bandı (95 kHz – 125 kHz): Erişim protokolü dışındaki bütün uygulamalar kapsamında kullanılabilir,
- C-Bandı (125 kHz – 140 kHz): Ev ağları otomasyon altyapıları için kullanılabilir
- D-Bandı (140 kHz – 148.5 kHz): Alarm ve güvenlik sistemleri kapsamında kullanılabilir (Karadeniz, 2006).

Şekil 3.1'e bağlı olarak güç hatlarında haberleşme için 95 kHz - 148,5 kHz frekans aralığında sinyal seviyeleri standartları ise aşağıdaki gibidir.

- Evde içi PLC sistemleri 116 dBuV
- Endüstriyel PLC sistemleri 134 dB uV (Aslan, 2007)

ABD'de FCC, 0kHz-525kHz arası frekans bandını dar band elektrik hattı üzerinden iletişim amaçlı düzenlemeye tabi tutmuştur. FCC bu standart ile Avrupa'ya nazaran geniş bir band aralığı sunmaktadır (Aslan, 2007).



Şekil 3.2. FCC standartlarına göre band genişlikleri (Aslan, 2007).

3.6. PLC Uygulamaları

PLC teknolojisinde, gelişen modülasyon yapıları ile günümüzde insanların ihtiyaç duydukları iletişim ihtiyaçlarının birçoğuna cevap verebilecek kabiliyete sahip olmaya başlamıştır.

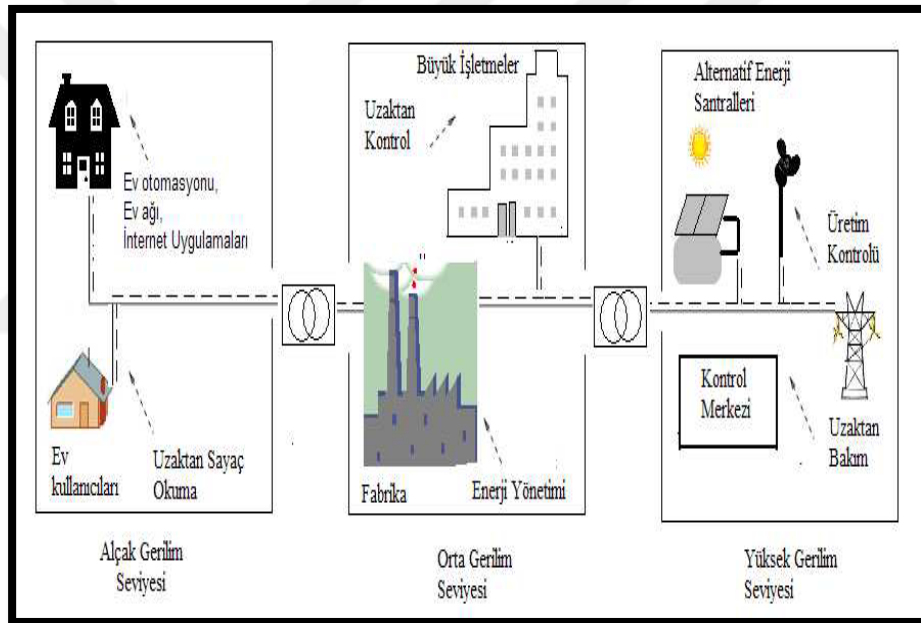
Kablosuz haberleşme uygulamalarının yanı sıra; hali hazırda kurulu bulunan elektrik şebekesinin alternatif iletişim ortamı olarak kullanılmasının sağladığı avantajlar göz ardı edilemeyecek kadar fazladır (Bayram, 2010).

PLC teknolojisinin uygulama alanları olarak;

- Şebeke Varlık Yönetim Sistemi,
- Otomatik sayaç okuma (uzaktan okuma) ve yönetim sistemi,
- Kayıp – Kaçak tespiti (Yoğun sayaç okunması),
- Otomasyon uygulamaları,
- İki yönlü ses aktarımı,

- İnternet bağlantısının paylaşımı,
- Elektrik hatları üzerinden telefon hatlarının çalıştırılması,
- Dağınık yapıya sahip enerji üretiminin ve yenilenebilir kaynaklarının uzaktan yönetimi,
- Ev içi enerji çözümleri ve yönetimi,
- Ticari ve kamu hizmeti amaçlı aydınlatma çözüm kontrolü,
- Elektrikli araç şarj istasyonları ve sistemin kontrolüdür.

Gibi alanlarda dünyanın birçok ülkesinde kullanılmaktadır. Elektrik şebekelerinin yapılarına göre PLC kullanım alanları Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. PLC sisteminin uygulama alanları (Bayram, 2010)

4. ENERJİ HATTINDA HABERLEŞMEYE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Normalde şartlarda enerji hatları sadece alçak,orta ve yüksek voltajlı enerjili taşımak için tasarlanmıştır. Veri alışverişini sağlamak amacıyla tasarlanmamıştır. Bu yüzden bu taşıma ortamı üzerindeki veri yüksek oranda gürültü, yüksek oranda sinyal bozulmaları, zayıflamalar, şebeke altyapı bütünlük eksikliği, elektromanyetik uyumluluk sorunu, hat empedans uyumsuzluğu gibi birçok problemle karşılaşmakta ve yapısı bozulmaktadır. Bu kapsamda problemlerinin incelenmesi için tez çalışmasında PLC teknolojilerinde iletim ortam problemlerinin en önemlileri olan gürültü, zayıflama ve hat empedansı konusu işlenip detaylı bilgiler verilecektir.

4.1. Gürültü

Enerji hatlarında işareti bozan ve sisteme ne zaman gireceği belli olmayan hem zaman hem de frekansta çeşitli özelliklere sahip herhangi bir enerjidir (Al-Mewvali vd. 2010).

Gürültü, PLC haberleşme sisteminde işareti bozan bozucular arasında en önemlisi olanıdır. Çift yönlü ve doğrudan doğruya kurulacak haberleşme sistemindeki verici kanaldan iletilen ve alıcı kanaldan alınan sinyallerin genliklerinin ve frekanslarının tahsisini olumsuz yönde etkilemektedir (Sönmez, 2014). Enerji hatları üzerinde gürültünün zaman düzleminde analizi genellikle osiloskop, frekans analizi ise spektrum analizör yardımı ile yapılmaktadır. Bu cihazlar ile yapılan her iki analizi çalışması bazen aynı başarıyı gösteremeyebilir (Bausch vd. 2005). Deneysel saha ölçüm çalışmalarımız spektrum analizör ile yapılmıştır.

Zaman ve frekans düzleminde yapılan analiz çalışmaları için veri toplama kartları (DAQ) da yeter olabilmektedir. Bu kapsamda çalışmalar yapılmıştır. Çünkü teknolojinin gelişimi ile birlikte DAQ lar, darband PLC için istenilen seviyelerde ölçümler yapabilecek yeterli örnekleme hızı ve altyapı çözünürlüğe sahip ürünlerdir (Bausch vd. 2005).

Enerji hatları haberleşme sistemlerinde gürültü, analizleri yapılırken gürültünün; güç yoğunluk spektrumu, genlikleri, süresi ve frekansı dikkat edilmesi gereken ve önem arz eden parametrelerden bazılarıdır. Dünya genelinde darband PLC sistemleri kapsamında sistemde oluşan ve var olan gürültülerin sınıflandırılması, analitik ifadelerinin incelenmesi ve gürültü kaynağına sebep olan yüklere özgü olarak yapılan çalışmaların incelenmesi gibi çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar ile ortaya çıkan veriler doğrultusunda zaman düzlemindeki değişimlerine göre gürültü üç ana bölüme ayrılır. Bunlar sürekli gürültüler (continuous noises), yayımlama gürültüsü (narrowband noises) ve darbe (impulsive noises) türü gürültülerdir. Şekil 4,2'de gürültülere ilişkin bu sınıflandırma yer almaktadır (Vines vd. 1984).

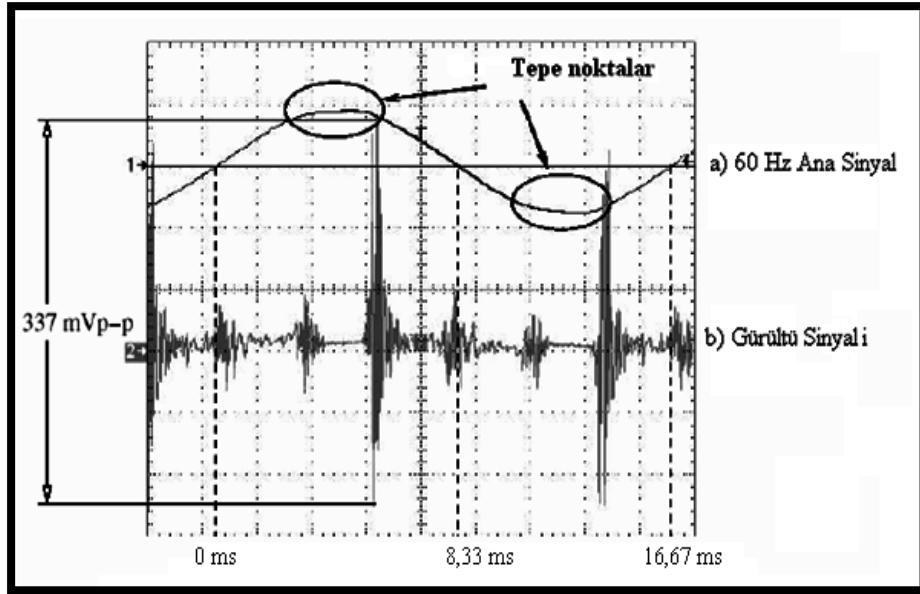
Gürültü konusunda alçak gerilim şebekelerinde çalışmalar, ölçümler ve deneyler sonucunda, gürültü sinyalinin oluşması önemli ölçüde haneler içinde ve aynı dağıtım şebekesinde bulunan diğer hanelerdeki cihazların kullanılmasına (açma/kapama anlarına) bağlı olarak oluştuğu gözlemlenmiştir (Bausch vd. 2005).

Elektrik enerjisi ile beslenen bütün cihazlar kendi özelliğine göre farklı yapıda elektriksel gürültü üretmektedir. Cihazlar tarafından enerji hattına verilen bu gürültüler, enerji hattı üzerinde yansımalara, girişimlere uğrayarak hâlihazırda enerji hattı üzerinde bulunan diğer mevcut gürültülerle tepkimeye girerek farklı oranda gürültü oluşturmaktadır.

PLC sistemindeki enerji hattındaki gürültüler ülkeden ülkeye, bölgeden bölgeye, lokasyondan lokasyona hatta aynı ülke, bölge, lokasyon içerisinde, zamana, hattın topolojisine, şebeke gerilim değerine ve yüklerin enerji hattına bağlı olup olmamasına göre farklılıklar gösterir. Örneğin aynı hatta yükler tarafından oluşan farklı karakteristikteki gürültüler ve hattın uzunluğuna bağlı olarak dağıtım hattının alıcı bir anten gibi radyo, TV, GSM veya diğer telsiz kaynaklı sinyalleri alması ile oluşan gürültüler haberleşmede verinin doğru iletim güvenliği açısından sorun oluşturmaktadır (Sönmez, 2014).

Enerji hattındaki gürültü gücü, sistemdeki bozulmaların toplamıdır. Örneğin; evlerde kullanılan ve hayatın vazgeçilmez kavramları arasında yer alan televizyon, elektrik süpürgeleri ve bilgisayarlar gibi cihazların şebekeye bağlı pek çok yük ve güç hattı üzerinde yayılan gürültü oluşturur. Ayrıca alıcı tarafında diğer iletişim sistemlerinden kaynaklanan gürültüler de bu toplama eklenir.

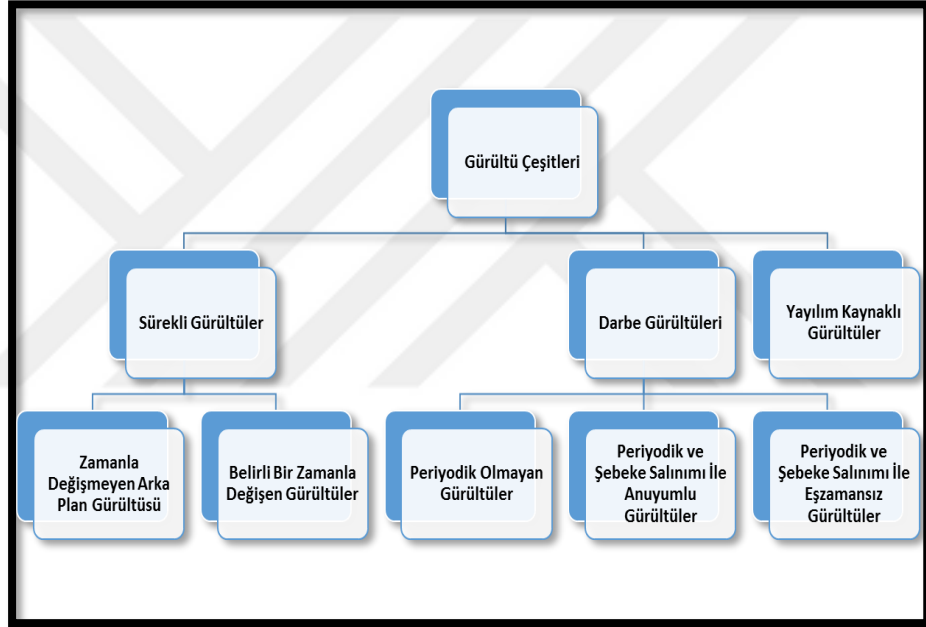
Hanson tarafından yapılan bir araştırmaya göre enerji hatları üzerinde gürültü sinyali oldukça fazla ve bu gürültü sinyallerinin fazla olduğu durumlarda haberleşme hata oranının yüksek olmasının ortaya çıkartmaktadır. Enerji hatlarında gürültü sinyallerinin genliklerinin minimum olduğu durumlar şebeke sinyalinin 0 noktasından geçtiği zamanlardır. Böylece şebeke ana sinyalinin maksimum tepe değerlerinde gürültü sinyali daha yüksek olduğu ortaya çıkar. Eğer ki haberleşme sıfır geçişlerinde sağlanırsa sinyali bozucu etkenler en aza indirgenir. Böylece gürültü sinyallerinin düşük olduğu zamanlarda haberleşme sağlamak hata oranının da az olacağı anlamına gelir (Dal, 2013). Hanson'un bir mühendislik binasında ve bir telekomünikasyon araştırma laboratuvarında yaptığı hattaki gürültü sinyali ölçümünde gürültü- zaman karakteristiği Şekil 4.1'deki gibi gözlemlenmiştir (Dal, 2013).



Şekil 4.1. Enerji hatlarındaki gürültü sinyalinin gözlemlenmesi (Dal, 2013)

PLC kanallarındaki gürültünün genellikle hem zaman hem de frekansta çeşitli özelliklere sahip çeşitli skolastik süreç türlerinden oluştuğu varsayılmaktadır (Tonello vd. 2012).

Darband PLC sistemlerinde gürültüleri zaman düzlemindeki değişimlerine göre üç ana bölüme ayrıldığını yukarıdaki bölümlerde anlatılmıştı. Detaylı olarak anlatımlarına geçecek bunlar; sürekli gürültüler (continuous noises), yayılım gürültüsü (narrowband noises) ve darbe (impulsive noises) türü gürültülerdir (Sönmez, 2014).



Şekil 4.2. Darband PLC gürültü türleri (Sönmez, 2014)

4.1.1. Sürekli gürültüler

Enerji hattı kanalında şebekenin sahip olduğu ana taşıyıcı frekans ve taşıyıcı frekansın harmonikleri ile aynı periyodikte, hattın belirli bir döneminde var olan ve hatlarda yükler nedeniyle oluşan gürültülerdir (Sönmez, 2014). Bu Gürültüler her zaman mevcut olacak ve genliği düşünülen frekansa göre yavaşça değişebilen yapıya sahiptir. Sürekli gürültüler çoğu zaman bir taşıyıcı alıcının band genişliği üzerindeki beyaz gürültü olarak kabul da edilebilir. Genelde Darbe gürültüsü, sürekli gürültünün ortalama seviyesinden çok daha büyük bir genliğe sahip olur (Lopez vd. 2017).

4.1.1.1. Zamanla değişmeyen arka plan gürültüsü

PLC sistemin şebeke altapısının belirli bir salınımı süresince gürültünün zarfının sabit kaldığı ve esas olarak şebeke döngüsünün harmoniklerinin ve sistemde bulunan farklı düşük güçlü gürültü kaynaklarının toplamından kaynaklanan gürültülerdir. Bu gürültüler genel olarak azalan güç spektral yoğunluğu (PSD) ile karakterize edilir (Sönmez, 2014). Bu tip gürültünün kuvvet spektrum yoğunluğu görece olarak daha azdır ve frekansla birlikte azalır. Bu tip gürültü esas olarak, düşük yoğunluklu çok sayıda gürültünün üst üste binmesinden oluşur. Belirli frekans aralığında frekanstan büyük ölçüde bağımsız olan sürekli ve tekdüze bir kuvvet spektrumu yoğunluğuna sahip olan beyaz gürültünün tersine, renkli arka plan gürültüsü, belirlenen frekansa büyük ölçüde bağımlılık gösterir (Sönmez, 2014). Bu gürültünün parametreleri dakikalar ve saatler bazında zamanla değişmektedir.

4.1.1.2. Belirli bir zamanla değişen gürültüler

Şebekenin sahip olduğu gerilimine göre eş zamanlı bir şekilde değerler alıp sinyalin periyodu şebeke frekansında ya da iki katı frekansında olan gürültü çeşididir. Darband PLC sistemlerinde gürültünün izin verilen limitleri aşan süre, sinyal ulaşım süresi ve veri boyutu dikkate alındığında haberleşmede bu gürültü çeşidi verilerin hatalı iletilmesine neden olabilmektedir (Sönmez, 2014).

4.1.2. Darbe gürültüleri

Darbe gürültüsü, şebekeye bağlı elektrikli cihazların şebekeden beslenmesi nedeni ile meydana gelen gürültülerdir. Bu gürültüler çalışma şartlarına bağlı olarak değişip ve ortaya çıkabilen, yüksek genlikli olup düzenli veya düzensiz darbeler biçiminde ortaya çıkar (Sönmez, 2014).

4.1.2.1. Periyodik olmayan darbe gürültüleri

Şebekeye bağlı cihazların kullanıcılar tarafından açılıp kapanması durumunda geçici hal durumları nedeni ile meydana gelen şebeke frekansından bağımsız olan gürültülerdir (Sönmez, 2014).

4.1.2.2. Periyodik ve şebeke salınımı ile anuyumlu gürültüler

Tristör veya triyak gibi yarı iletken elemanların anahtarlanması nedeni ile meydana gelen periyodik bir şekilde şebeke frekansına eşit veya şebeke frekansının iki katı durumunda oluşan gürültülerdir (Sönmez, 2014).

4.1.2.3. Periyodik ve şebeke salınımı ile eş zamansız gürültüler

Şebeke gerilimi ile eş zamanlı ancak frekans olarak şebeke geriliminden farklı olan (asenkron) gürültülerdir. Bu gürültüler genelde anahtarlamalı güç kaynakları (SMPS) tarafından oluşturulur (Sönmez, 2014).

4.1.3. Yayılım kaynaklı gürültüler

Kabloların uzunlukları nedeni ile anten gibi davranıp televizyon, radyo, telsiz veya kablosuz yayım yapan vb. istasyon yayınlarının orta ve kısa dalga yayın bandlarına girişimiyle oluşan ve genellikle genlik modülasyonlu sinüsoidal sinyallerdir (Sönmez, 2014). Bu gürültünün genliği gün içerisinde değişir ve özellikle atmosferin yansıma özelliğinin arttığı akşam saatlerinde en yüksek seviyesini alır. Bu tip gürültüde,

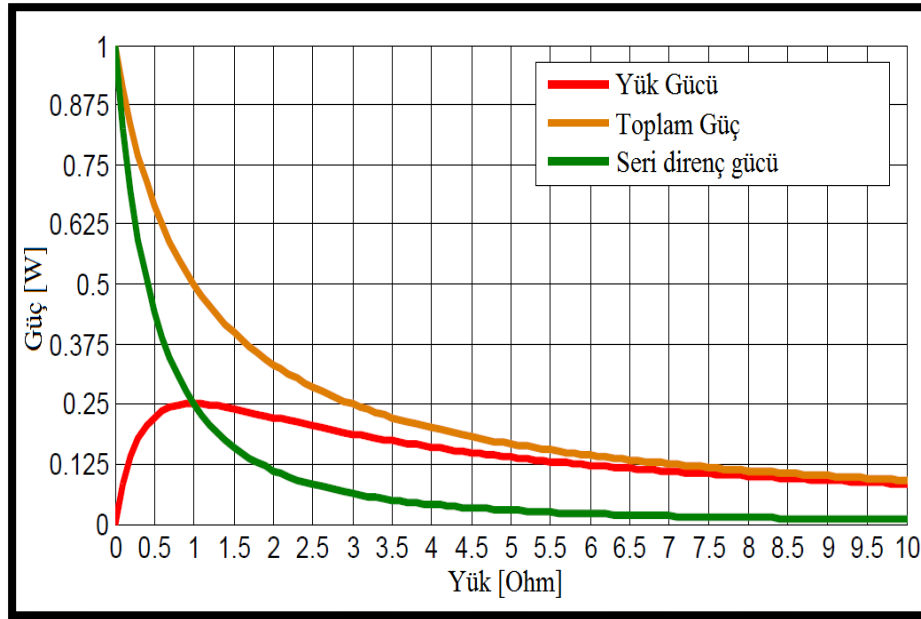
frekans spektrumu üzerinde göreceli olarak küçük ve sürekli olan pek çok alt banda sahiptir (Sönmez, 2014).

Darband PLC sistemlerinde 150 kHz'lik bir sinyalin dalga boyu ($3.108 \text{ m/s} / (150000 \text{ Hz})$) 2000 m olup kablonun en az 500 metre olması halinde bu tür sinyallerin alınması mümkün olabilecektir (Sönmez, 2014).

4.2. Hat Empedansı

Enerji hatları üzerinden haberleşme sistemlerinde hat empedansı, frekansın ve hatta bulunan yüklerin durumuna göre zamanla değişen bir karaktere sahiptir. Bu nedenle Enerji hattı üzerinden haberleşme sistemlerinde hat empedansı önem arz etmektedir. Darband PLC sistemlerinde belirli bir güce sahip vericiden, hatta maksimum güç transferinin hangi değerler arasında gerçekleştirildiği araştırılması gereken, üzerinde yoğun çalışmalar yürütülen önemli bir konudur.

Maksimum güç teoremine göre verici empedansı, hat empedansına eşit değerde olmalıdır. Teorik olarak eğer ki bir alıcı ve bir verici devresinin empedansı bütün sistemin kanal empedansına eşit olursa, işte o zaman bir baştan diğer başa gidecek olan sinyalin gücü maksimum düzeyde sisteme veya hatta aktarılmış olur. Buda bize haberleşme sistemlerinde maksimum güç transfer teoremini açıklar. Şekil 4.3'de 1 volt genlikli, 1Ω seri direnci olan bir kaynaktan beslenen herhangi bir direncin değerinin değişimine göre aktarılan gücün durumu görülmektedir. Şekilde 4.3'de görüldüğü gibi maksimum güç transferi, direnç değerinin seri dirence eşit olduğu 1Ω değerinde gerçekleşmektedir.



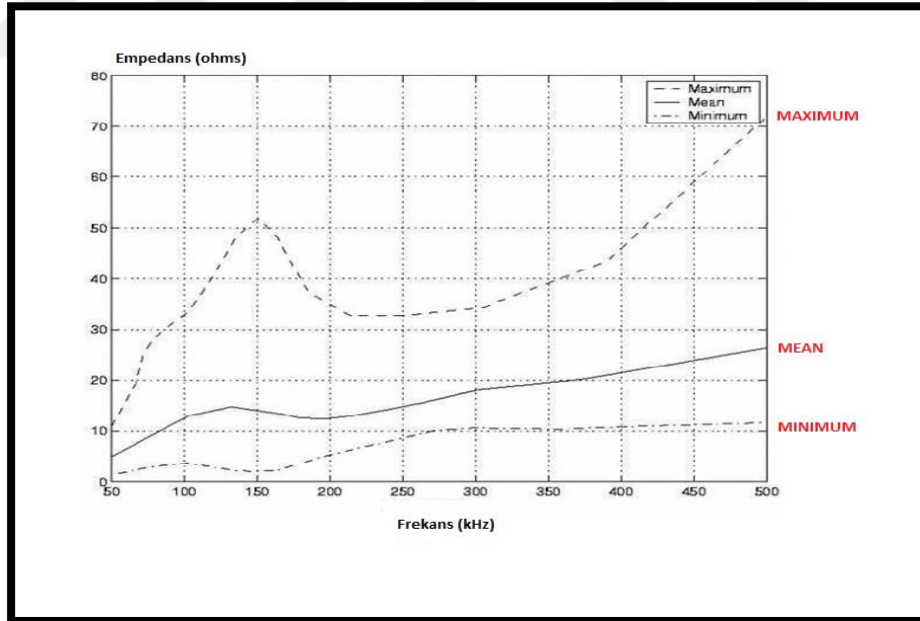
Şekil 4.3. Maksimum güç teoremi (Sönmez, 2014)

Bilindiği gibi daha evvel normal haberleşme sistemlerinde empedans uyumu 50 Ω 'luk kablo için 50 Ω 'luk veri-alıcı kullanılarak sağlayacağını açıklamıştık. Fakat bu kural enerji hattı haberleşmesi için geçerli değildir. Çünkü elektrik şebekesinin altyapısında şebekede giriş empedansı zamana, yüklere ve konuma bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Şebekede, giriş empedansı uyumsuzluğu dışında farklı empedans uyumsuzlukları da olabilir.

Enerji hattılarında sistemin giriş ve çıkış empedansları, lokasyon bazlı olarak farklı yükler ve bölgelerde zamanla değişmesi nedeniyle bu tür sistemlerde genelde empedans uyumsuzluğu görülmektedir. Çok küçük ve çok büyük empedans değerleri arasında değişiklik gösterir. Erişim empedansı dışında pek çok farklı empedans uyumsuzluğu güç hattı iletişimde ortaya çıkabilir. Örneğin panolardaki empedansla, kabloların empedansı uyumsuzdur ve sinyal zayıflamaktadır. Bu sayede verici tarafında gönderilen sinyalde bozulmalar en üst düzeyde gerçekleşir (Nicholson ve Malack, 1973). Aynı zamanda bu uyumsuzluk nedeniyle hattaki zayıflama ve yayılma gecikmeleri de sistem için önem arz etmektedir. Deneysel saha ölçüm değeri ile birlikte şebeke için modülasyon tipi belirlenir.

Bu kapsamda konuyla ilgili en detaylı yayın IBM Elektromanyetik Uyumluluk Laboratuvarı'nda çalışan Malack ve Engstrom tarafından yayımlanmıştır. Akademik olarak Amerika' da 36 farklı bölgede 20 kHz – 30MHz frekans aralığı arasında değişen sinyal gönderme işlemi yaparak hat empedansını incelemişler ve frekans arttıkça karakteristik empedansın da arttığını ortaya çıkartmışlar. Bu analiz çalışmaları yaparken enerji hattına değişik özelliklere sahip çeşitli yükler bağlamışlardır. Yapılan çalışmada 20kHz frekansta hat empedansı 1 Ω iken frekansın artırılıp 30MHz' e çıkmasıyla hat empedansının 100 Ω değerine yükseldiği sonucu ortaya çıkmıştır. Ayrıca farklı olarak Avrupa'da 86 ülkenin dağıtım şebekesi için 20kHz-30MHz frekans bandında yapılan ölçümler sonucunda, empedanstaki değişimin 100 kHz'e kadar 1.5 Ω ile 80 Ω arasında değiştiği ifade edilmektedir. Avrupa ülkelerinde yapılan çalışmalardan da benzer sonuçların alındığı gözlemlenmiştir (Malack ve Engstrom, 1973).

Frekansa Göre Hat Empedansı çalışması;



Şekil 4.4. Nicholson ve Malack'ın 50-500kHz aralığındaki frekanslarda elde ettiği hat empedans grafiği (Nicholson ve Malack, 1973)

Deneysel ölçümlerde elde ettiğimiz empedans-frekans grafiği Şekil 4.4’de elde edilen grafiğe oldukça yakındır. Bölüm 5’de daha kapsamlı bir çalışma yer almaktadır. Altı Avrupa ülkesinde yapılan ölçümler Tablo 4.1’de ki gibidir. Toplam Avrupa ülkelerindeki şebeke empedansı deneysel ölçüm değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir. Tablo 4.3’de avrupa ülkelerinin endüktif ve kapasitif kompleks şebeke empedansları verilmiştir.

Tablo 4.1. Altı ticari ülkede yapılan ölçümlerin dağılımı (Malack ve Engstrom, 1973).

| Ülke | Güç Hattı Sayısı |
|-----------|------------------|
| Danimarka | 5 |
| İngiltere | 11 |
| Fransa | 15 |
| Almanya | 24 |
| Hollanda | 26 |
| İsveç | 5 |

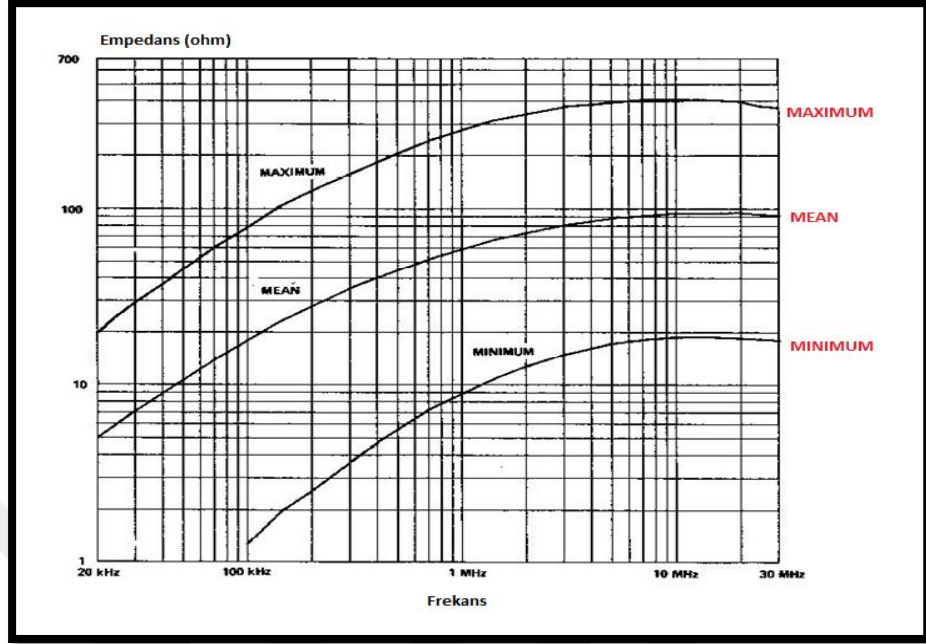
Tablo 4.2. Toplam Avrupa şebeke empedansının deneysel ölçümleri (Malack ve Engstrom, 1973).

| Frekans MHz | Mutlak Empedans Z-ohm | | |
|----------------|-----------------------|------|-----|
| | Max | Mean | Min |
| 0.02 | 13 | 4,67 | 0,3 |
| 0.025 | 18 | 5,76 | 0,6 |
| 0.03 | 26 | 7,04 | 1,1 |
| 0.04 | 80 | 9,3 | 1,3 |
| 0.05 | 53 | 10,5 | 1,8 |
| 0.075 | 59 | 14,7 | 2,6 |
| 0.1 | 120 | 18,9 | 4,3 |
| 0.15 | 81 | 25,7 | 4,8 |
| 0.2 | 53 | 15,9 | 4,8 |
| 0.3 | 120 | 35,7 | 5,3 |
| 0.4 | 390 | 49,9 | 5,3 |
| 0.5 | 260 | 56,6 | 7,3 |
| 0.75 | 230 | 68,1 | 8,1 |
| 1 | 320 | 75,7 | 7,3 |
| 1,5 | 480 | 60 | 6,6 |
| 2,1 | 180 | 41,3 | 10 |
| 3 | 260 | 55 | 9 |
| 4 | 660 | 82 | 20 |
| 5 | 530 | 106 | 23 |
| 7,5 | 290 | 108 | 20 |
| 10 | 320 | 114 | 10 |
| 15 | 200 | 73 | 20 |
| 20 | 180 | 50 | 20 |
| 25 | 730 | 127 | 23 |
| 30 | 800 | 119 | 20 |

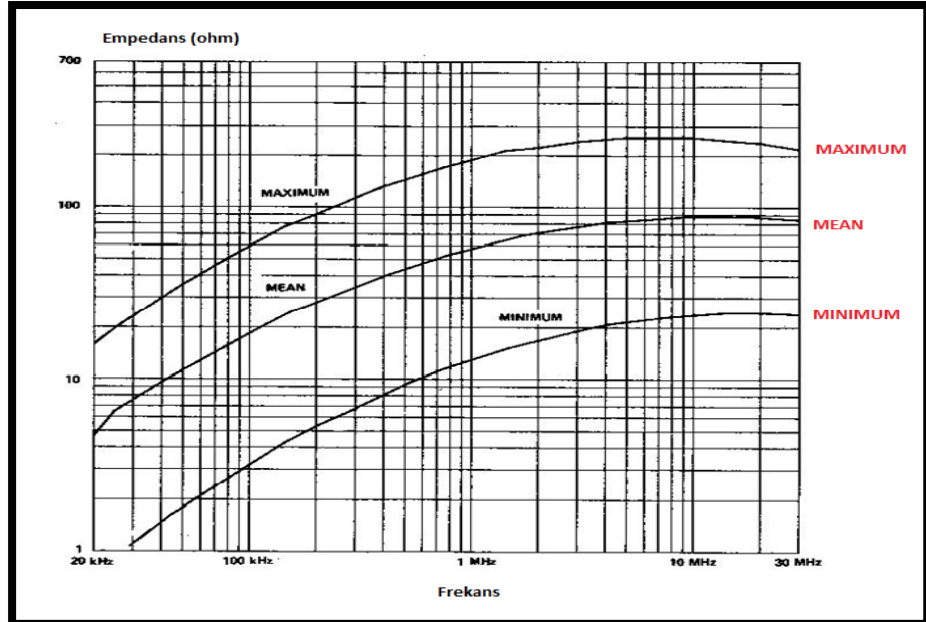
Tablo 4.3. Toplam Avrupa ülkelerinin kompleks şebeke empedansı (Nicholson ve Malack, 1973).

| Frekans MHz | Reel Kısım Ohm | | Sanal Kısım | |
|----------------|----------------|------|--------------|------------------|
| | Max | Min | Max Endüktif | Max Kapasitif |
| 0.02 | 12,2 | 0 | 10,5 | 7 |
| 0.025 | 13,9 | 0 | 17,2 | 5,1 |
| 0.03 | 21,6 | 0 | 15,8 | 3,9 |
| 0.04 | 33,8 | 0 | 22,5 | 4,9 |
| 0.05 | 52,6 | 0 | 30,4 | 6,5 |
| 0.075 | 51,2 | 0 | 45,9 | 10,8 |
| 0.1 | 90,6 | 0,1 | 78,7 | 7,9 |
| 0.15 | 72,3 | 2,8 | 41,9 | 38 |
| 0.2 | 41,5 | 3,3 | 49,8 | 12,6 |
| 0.3 | 84,9 | 2,8 | 109 | 22,6 |
| 0.4 | 384 | 3,4 | 106 | 138 |
| 0.5 | 234 | 4,1 | 157 | 126 |
| 0.75 | 199 | 5,4 | 145 | 148 |
| 1 | 320 | 6,1 | 132 | 91,8 |
| 1,5 | 388 | 6,3 | 85 | 282 |
| 2,1 | 120 | 0 | 159 | 110 |
| 3 | 199 | 8,7 | 169 | 250 |
| 4 | 598 | 13,7 | 279 | 70 |
| 5 | 406 | 14,5 | 252 | 341 |
| 7,5 | 263 | 5,8 | 238 | 80 |
| 10 | 319 | 6,4 | 186 | 104 |
| 15 | 190 | 0 | 180 | 141 |
| 20 | 76,1 | 0 | 177 | 48 |
| 25 | 319 | 0 | 686 | 48 |
| 30 | 206 | 0 | 390 | 800 |

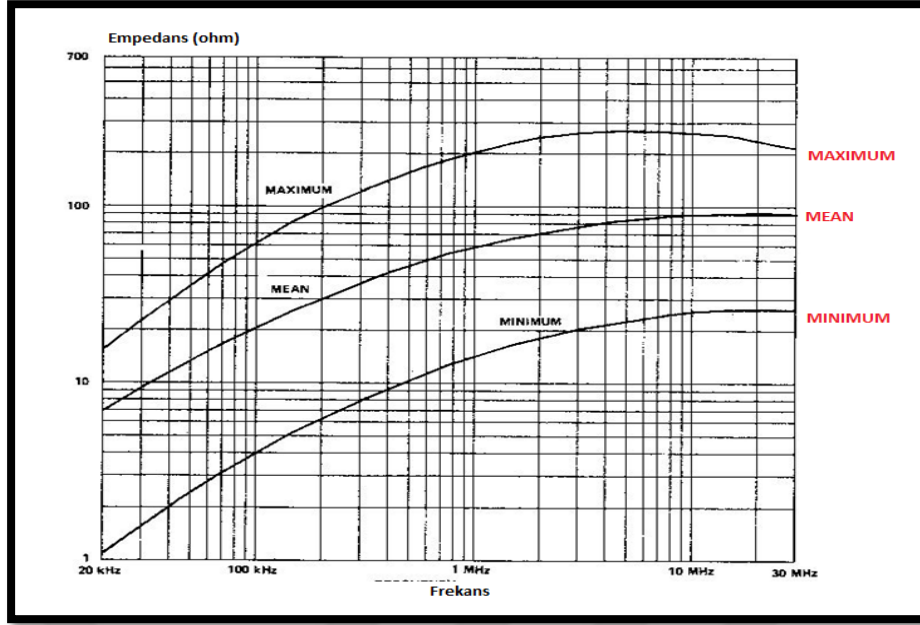
Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8' de bazı ülkelerin şebeke empedansı ile karşılaştırılmalar gösterilmiştir.



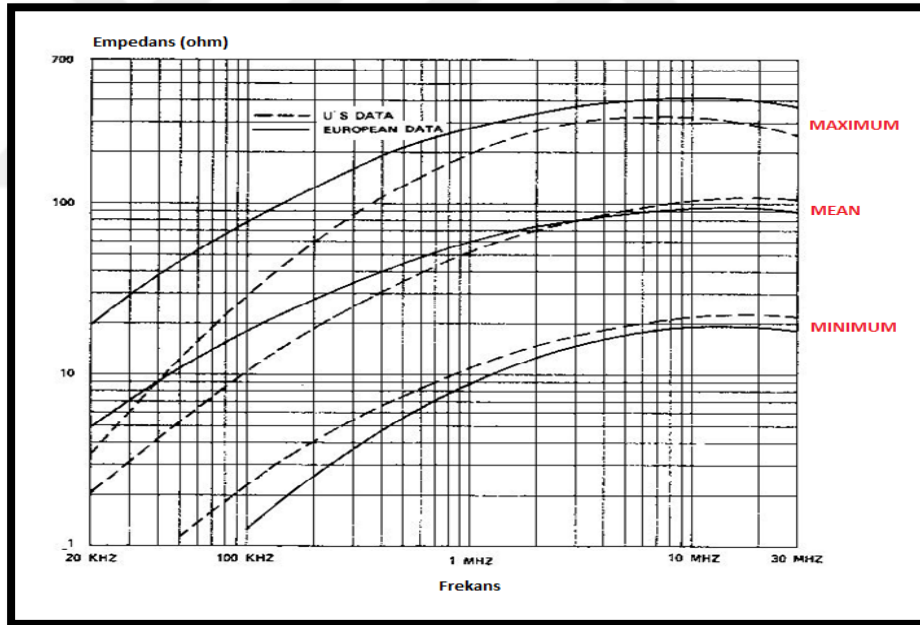
Şekil 4.5. Toplam Avrupa şebeke empedansı (Malack ve Engstrom, 1976)



Şekil 4.6. Batı Almanya şebeke empedansı (Malack ve Engstrom, 1976)



Şekil 4.7. Hollanda şebeke empedansı (Malack ve Engstrom, 1976)



Şekil 4.8. U.S. ve Avrupa şebeke empedanslarının karşılaştırılması (Malack ve Engstrom, 1976)

Literatürde yer alan diğer PLC kanal, hat empedans ölçümleri olarak; İtalya, Almanya ve Fransa ülkelerinin alçak gerilim hattında yapılan bir analiz çalışmasında tipik empedans değerinin 5Ω seviyelerinde olduğu, hemen hemen

ölçümlerin % 90 nın 0.5 Ω ile 10 Ω arasında değiştiği görölmüştür (Fiorelli ve Colombo, 2012).

20 kHz ile 150 kHz arası yapılan bir çalışmada sinüoidal gerilim ve akım ölçümleri yapılarak, erişim empedansı 1 Ω ile 6 Ω arasında olduğu ortaya çıkmıştır.

120 V luk alçak gerilim hattında 10 kHz'den 20 MHz' e kadar kanal empedansının ölçümü yapılmıştır. 10 kHz -150 kHz bandında empedansın 1 Ω ile 20 Ω arasında olduğu görölmüştür (Tanaka, 1988).

Türkiye alçak gerilim şebekesinde yapılan bir çalışmada ise 10 kHz ile 150 kHz aralığında farklı dağıtım hatlarında yapılan ölçümlerde empedansın 1 Ω ile 20 Ω arasında değiştiği ifade edilmiştir (Cavdar ve Karadeniz, 2008).

Amerika'da 60 Hz elektrik şebekesinde yapılan bir çalışmada, CELENEC A bandı için hat empedansları ölçölmüş ve 20 kHz için empedans değeri en küçük Ω , ortalama 1,5 Ω ve en büyük 3 Ω olarak tespit edilmiştir. 100 kHz'de ise empedans değeri en küçük 3 Ω , ortalama 13 Ω ve en büyük 35 olarak ölçölmüştür (Nicholson ve Malack, 1973).

CELENEC A bandı için Almanya'da yapılan benzer bir çalışmada, ortalama empedans değeri 20 kHz'de 5 Ω (en büyük 20 Ω), 100 kHz'de ise 17 Ω (en büyük 80 Ω) olarak ölçölmüştür (Nicholson ve Malack, 1973).

Bir başka çalışmada şebeke empedansını oluşturan üç önemli parametre (dağıtım transformatörünün çıkış empedansı, iletim hattı ve yükler) 5 kHz - 20 kHz frekans aralığında ayrı ayrı incelenmiştir.

4.3. Zayıflama

Enerji hatları üzerinde veri iletimini zorlaştıran en önemli etkenlerden bir tanesi de zayıflama dır. Zayıflamanın frekans, uzaklık ve zamanla değişimini incelemek enerji

hattı üzerinden haberleşme modelini ortaya çıkartmak için önemlidir. Bunun için uzaklık değiştirilerek veya uzaklık sabit tutularak saha testleri yapıldığında, zayıflama frekans eğrisi, zayıflama uzaklık eğrisi ortaya çıkmış olacak. Enerji hatlarında zayıflama, hanelerin tüketim alışkanlıklarına bağlı olarak hatta girip çıkan yükler ve dolayısı ile hat empedansında meydana gelen değişimler ile değişik değerlerde olabilmektedir. Yüksek seviyede zayıflama genelde hatta çok sayıda yükün bağlı yani tüketim üst limitlerde olduğu zaman dilimlerinde olmaktadır (Sönmez, 2014). Sinyal vericiden alıcıya doğru ilerlerken sinyalde zayıflama olur ve alıcıya sağlıklı bir şekilde ulaşamaz. Eğer zayıflama çok fazlaysa, alıcı tarafından alınan sinyal çok küçük ya da algılanamayacak kadar küçük bir değere sahiptir. PLC sistemleri için zayıflama, enerji hattının uzunluğuna noktasal bazlı ek nokta sayısına, hattın gürlü sinyaline ve hat empedansına bağlı olarak değişkenlik gösterip bazı durumlarda önemli değerlere ulaşabilir. En önemlisi aynı ek sayısı ve uzunluktaki bir kablola da zamana bağlı olarak ölçülen değerler farklı sonuçlar verebilir.

Kanada'da alçak gerilim hattında yapılan bir çalışmaya göre sinyal zayıflamasının 100 kHz altındaki frekanslarda frekanstan bağımsız olduğu, fakat bunun üzeri frekanslarda 200 kHz frekansına kadar 0.25 dB/kHz olacak şekilde zayıflama değerlerine erişildiği görülmüştür (Gracht ve Donaldson, 1985).

400 m den daha uzun kablolarda özellikle bazı frekans aralıklarında zayıflamanın çok yüksek olduğu bulunmuştur. Prensipte olarak, hatta yük olmaması halinde sinyal zayıflaması hattın mesafesi ile lineer olarak değiştiği ortaya çıkmıştır. Pratikte, en kötü durum olarak bazı yüklerle 100 dB/km olan zayıflama değerleri de elde edilmiştir (Ferreira vd. 1996).

Kısa hatlar (yaklaşık 10 m) dışında ev içi hatlarda zayıflama değeri tipik olarak 20 dB ölçülmüştür. Hatta empedans uyumsuzlukları nedeni ile zayıflamanın değeri artar (Chan ve Donaldson, 1986)

Türkiye'de yapılmış bir çalışmada endüstriyel, kent ve kırsal hatlar kapsamında Türkiye de yapılan enerji hattı zayıflama ölçümleri, zayıflama oranları sırası ile 30 dB,

20 dB ve 19 dB olarak gözlenmiştir. Fakat yapılan analizle elde edilen değerler kablosuz haberleşme sistemlerine ait değerlerden çok yüksek olmadığını ortaya koymaktadır. Bu sonuçlara göre kısa mesafelerde PLC'nin ev otomasyon uygulamaları için uygun olacağı vurgulanmıştır. Zayıflamanın bu olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için alıcı ve verici arası mesafenin kısa tutulması veya kuvvetlendirici kullanılması gerekmektedir (Cavdar ve Karadeniz, 2008).

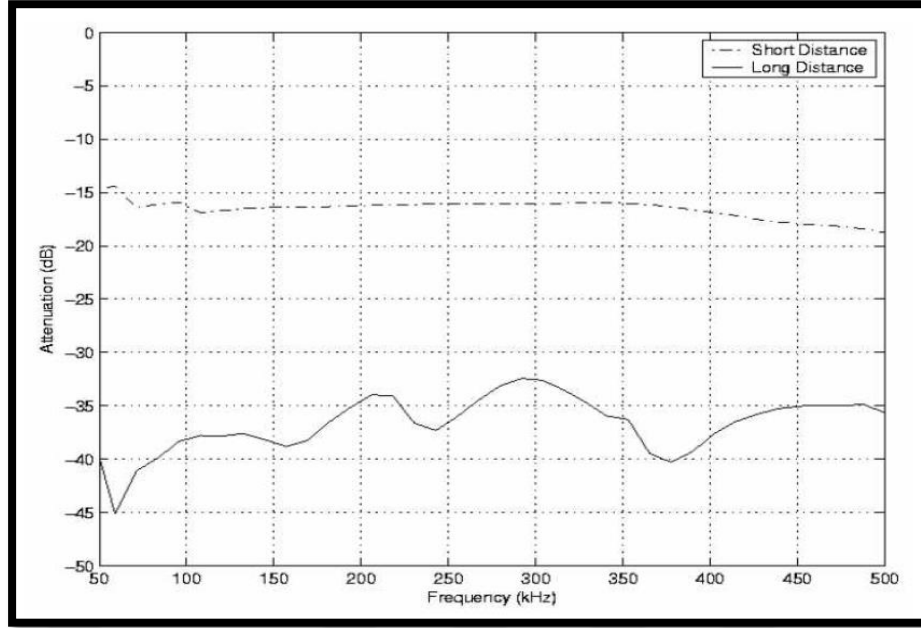
Cheng ve arkadaşları enerji hattı üzerinden haberleşmede sistem kapasitesine etki eden frekans ve mesafenin haberleşmede etki durumunu incelemişler ve sinyal gürültü oranına (SNR) etkisini araştırmışlardır. Çalışmada belirli mesafelerden sinyal ölçümleri gerçekleştirilip zayıflama durumları incelenmiş ve frekans arttıkça zayıflama oranının arttığı, mesafenin artması ile de zayıflama oranının çok daha fazla arttığı grafiksel olarak verilmiştir. Ölçümler 100m, 150m ve 200m mesafelerden gerçekleştirilmiştir (Cheng vd. 2011).

Sutterlin ve Downey çalışmalarında enerji hattına olumsuz yönde etki eden faktörleri incelenmiştir. Hatta sinyal zayıflamasından bahsedilmiş ve zayıflamanın haberleşmede oluşturduğu hata incelenmiştir.

Hat boyunca sinyal zayıflamaları incelenirken, kapasitif kuplajlara neden olan, kısmi kapasitelerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Yılmaz, 2004).

Saskatchewan Üniversitesinde Hanson tarafından mühendislik binasında gerçekleştirilen tek faz üzerindeki zayıflama çalışmalarında ölçümler 4 m ve 23 m olarak ayrılmış kısımlarda yapılmıştır.

Kısa mesafe ve elektrik yüklerinin olmadığı kısımlarda gerçekleştirilmiş ölçümler sonucunda 15 ve 20dB arasında oldukça düz bir zayıflama gözlemlenmiştir. Fakat uzun mesafeli ve elektrik yüklerinin olmadığı kısımlarda yapılan ölçümler sonucunda ise 33 ve 44dB arasında değişik frekanslarla zayıflama gözlemlenmiştir. Şekil 4.9 'da yer almaktadır (Karadeniz, 2006).



Şekil 4.9. Zayıflamanın frekansla değişimi (Karadeniz, 2006)

Sonuç olarak sinyal zayıflaması aşağıdaki etkenlere bağlıdır olduğu ortaya çıkmaktadır (Çakır, 2005).

Zaman bağımlılığı: Zayıflamanın lokasyon özelliğine göre güçlü bir gece gündüz hassasiyeti vardır.

Frekans bağımlılığı: 100 kHz'in üstündeki frekanslarda zayıflama km basına 0,25 dB artmaktadır. İletim hattının etkisiyle 400 m'den uzun kablolarda zayıflama bazı frekans değerlerinde çok büyük değerlere ulaşmaktadır. Zayıflama frekansa bağlı olarak artmaktadır (34).10 MHz'in üstündeki frekanslarda alınan sinyali gürültüden ayırmak çok zordur. Bu durum haberleşme mesafesini sınırlamaktadır. Kanalın frekans cevabının genliği, artan frekansla beraber azalması dışında düzgün değildir. Bu nedenle kanal frekans seçicidir (Çakır, 2005).

Mesafe bağımlılığı: Genelde sinyalin km basına 100 dB zayıfladığı kabul edilir.

Fazlar üzerinden sinyal zayıflaması: Fazdan faza sinyal zayıflaması 40 dB gibi (Çakır, 2005).

4.3.1. Sinyal/gürültü oranı

Haberleşme sistemlerinde sistemin performansını tahmin etmek için, sinyal/gürültü oranı önemli bir kavramdır.

$$SNR = \frac{ALINAN GÜÇ}{GÜRÜLTÜ GÜCÜ} \quad (1)$$

(1) Denklemi, haberleşme sisteminin verimi ile doğrudan ilişkilidir. Sinyal/gürültü oranı ne kadar büyük ise, haberleşme o kadar iyidir (Çakır, 2005).



5. SAHA ÖLÇÜM SONUÇLARI VE YORUMLANMASI

Kullanım amacı iletişim olmadığı enerji hatlarında, veri iletişimini engellememesi ve veri iletişimi için uygun bir altyapı olup olmadığının ortaya çıkartmak amacıyla, çeşitli saha ölçümlerinin yapılması gerekir. Bu saha ölçüm çalışması, farklı özelliklere sahip lokasyonlarda gürültü seviyesinin, hat empedans değerinin ve zayıflamanın enerji hattı üzerinden haberleşmede performansın nasıl etkilendiği konusuna ışık tutmaktadır. Özellikle gürültü seviyesi, hat empedans değeri ve zayıflama ölçümleri ile elde edilen veriler, Türkiye de akıllı şebekeler kapsamında PLC teknolojisinin uygulama bilirliliği açısından irdelemektedir.

5.1. Organize Sanayi Bölgesi Gibi Yüksek Gürültü Seviyesine Sahip Aşırı Yükteki Trafo Hattı (>%90)

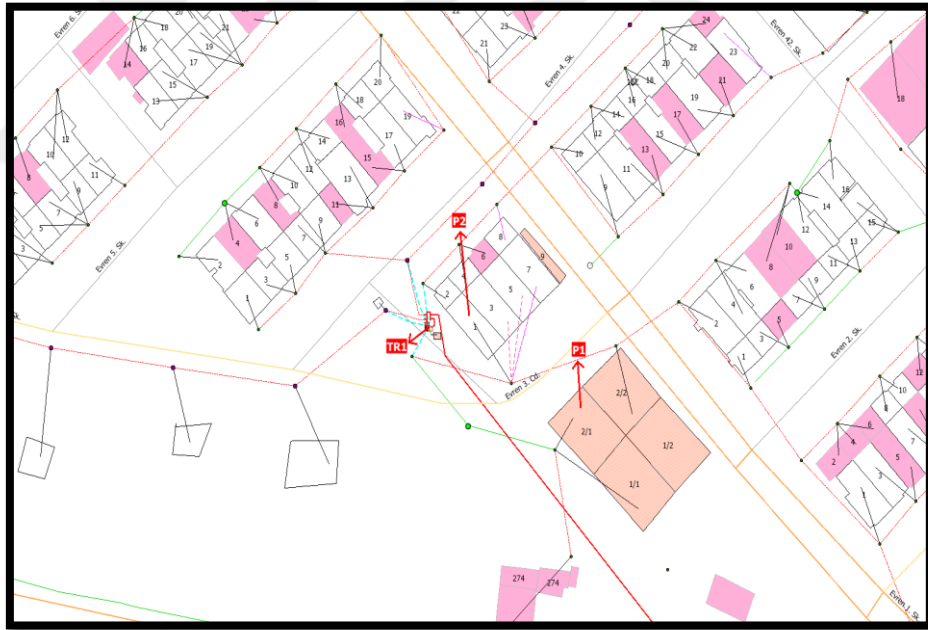
Bu lokasyonda bulunan trafonun ölçüm esnasındaki değerleri Tablo 5.1’de, ölçümü alınan lokasyonların konumları Şekil 5.1’de, tek hat şemaları ise Şekil 5.2’de yer almaktadır.

Tablo 5.1. Ölçümü alınan trafonun değerleri

| Trafo Kurulu Gücü | Bağlı Olan Hane Sayısı | Trafo Doluluk Oranı |
|-------------------|------------------------|---------------------|
| 630 KVA | 138 | 90% |



Şekil 5.1. Trafo ve ölçümü alınan lokasyonların konumları



Şekil 5.2. Trafo ve ölçümü alınan lokasyonların tek hat şeması

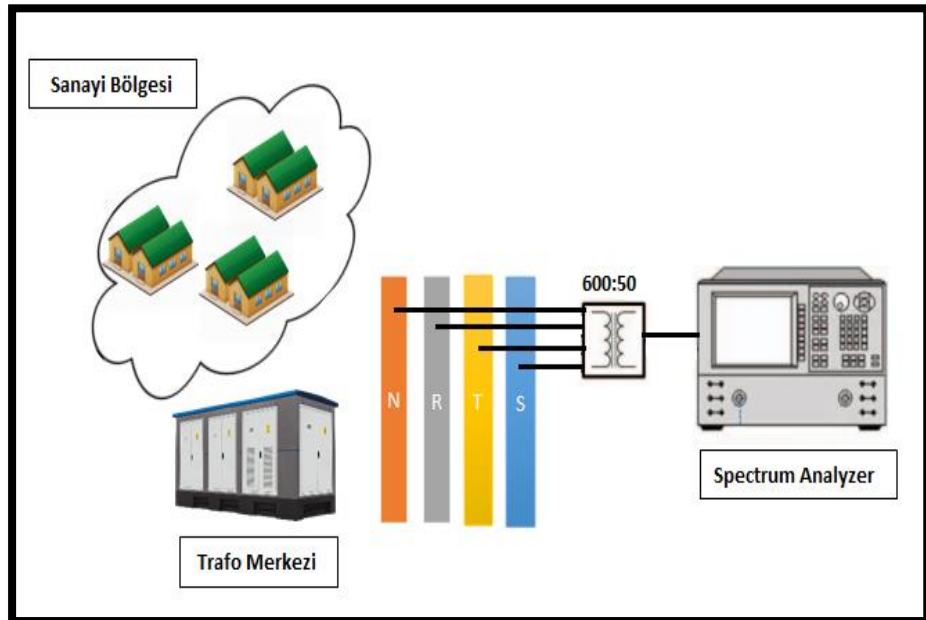
5.1.1. Gürültü seviyesi analiz çalışması

Bu kısımdaki analizin amacı sanayi bölgesi gibi yüksek gürültü seviyesine sahip aşırı yükteki trafo hattına ait hat gürültü seviyesinin ve hatta oluşan toplam gürültü gücü değerlerinin frekansa bağlı olarak ortaya çıkarılmasıdır.

Şekil 5.2' de görüldüğü gibi P1 noktası trafo merkezinden (TR1'den) 120m civarı uzaklıkta, P2 noktası ise trafodan merkezinden (TR1'den) 75m uzaklıkta aynı kol üzerinde bulunan noktalardır.

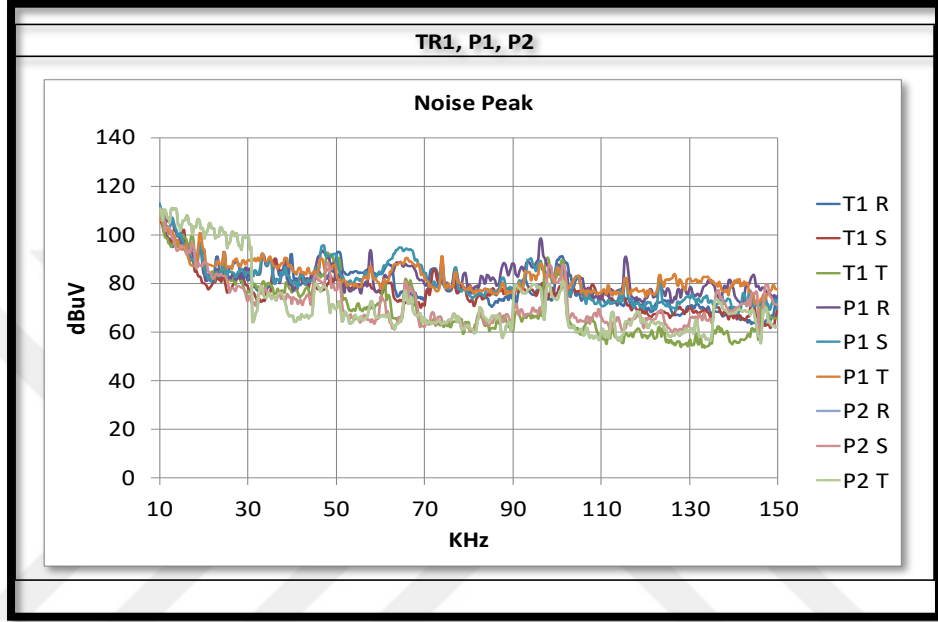
Şekil 5.3'de trafo merkezi (TR1), P1, P2 noktaları için gürültü seviyesinin ölçümü için kurulan düzenek yer almaktadır.

Şekillerde yer alan R-S-T'nin özel bir anlamı yoktur. Sadece 1.faz, 2.faz, 3.fazı ayırt etmek için kullanılmıştır. Sanayi ofislerinin elektrik altyapısı 3 fazlı olduğu için ölçümler 3 farklı faz üzerinden alınmıştır.



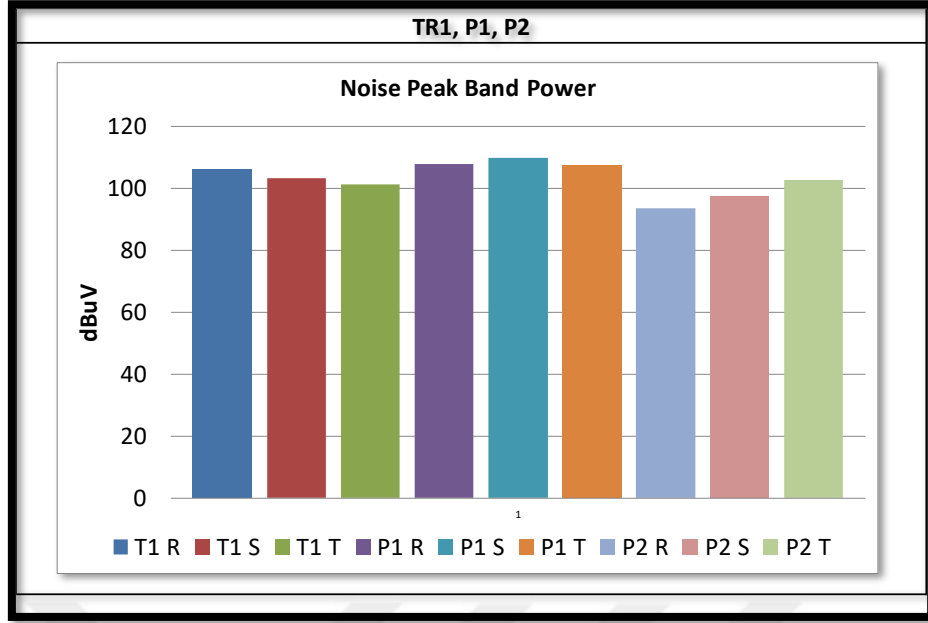
Şekil 5.3. Gürültü seviyesi ölçüm düzeni

Şekil 5.4'te sanayi bölgesinde 10-150 kHz arasında bir trafo merkezinin (TR1) ve 2 adet farklı sanayi ofisi (P1, P2) noktası için Faz-Nötr, Faz-Toprak ve Nötr-Toprak üzerinde ölçümlere dayalı olarak frekansa göre gürültü seviyelerinin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Trafo (TR1), birinci nokta (P1), ikinci nokta (P2) gürültü seviyeleri

Şekil 5.5'de Gerilimlerde yükselmeler, düşmeler ve dengesizlikler gibi nedenlerle TR1, P1, P2 noktalarında oluşan toplam gürültü gücü gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Trafo (TR1), birinci nokta (P1), ikinci nokta (P2) kullanılan frekans bandındaki toplam gürültü gücü

5.1.1.1. Gürültü seviyesinin deneysel saha ölçüm sonuçları ile analizi ve yorumlanması

Trafo merkezinde mesai saatleri arasında ortalama gürültü değeri 89 dBuV-82 dBuV civarı olarak görülmektedir. (Bu ölçüm mesai saatleri içerisinde yapılmıştır.) Mesai saati dışında sanayide yapılan ölçümlerde bu değer 70 dBuV- 65 dBuV seviyelerine kadar indiği görülmüştür. Mesai saatinde gerilimlerde yükselmeler, düşmeler ve dengesizlikler olduğu Şekil 5.5’de yer alan hatta oluşan toplam gürültü gücü değerlerinden görülmektedir.

Enerji hatlarında iletişim kanalının en önemli parametrelerinden biri olan gürültünün, zamanla değiştiği ve bağlı olan yüklerden dolayı ortaya çıkmaktadır. Yük yoğunluğunun az olduğu durumlarda iletişim verimli bir şekilde kurulabilir, fakat yük yoğunluğunun fazla olduğu durumlarda ise yüksek gürültü sinyalleri kanal iletişim yapısını bozarak iletişimi engelleyebilir ve devamlılık sorunları karşımıza çıkarabilir. Buda tür lokasyonlarda modülasyon seçimi esnasında zamana ve bölgeye bağlı bir kanal iletişim sisteminin tasarımının ele alınması PLC teknolojisi için karmaşık bir yapıdır. Sanayi bölgesi gibi yüksek gürültü değerlerine sahip lokasyonlar için özel bir

protokol-modülasyon modeli ortaya çıkarttırılması gerekmektedir. Şebekede gürültü gücü değişkenlik göstermekte olup, buda PLC sistem için dikkat edilmesi gereken önemli bir husustur.

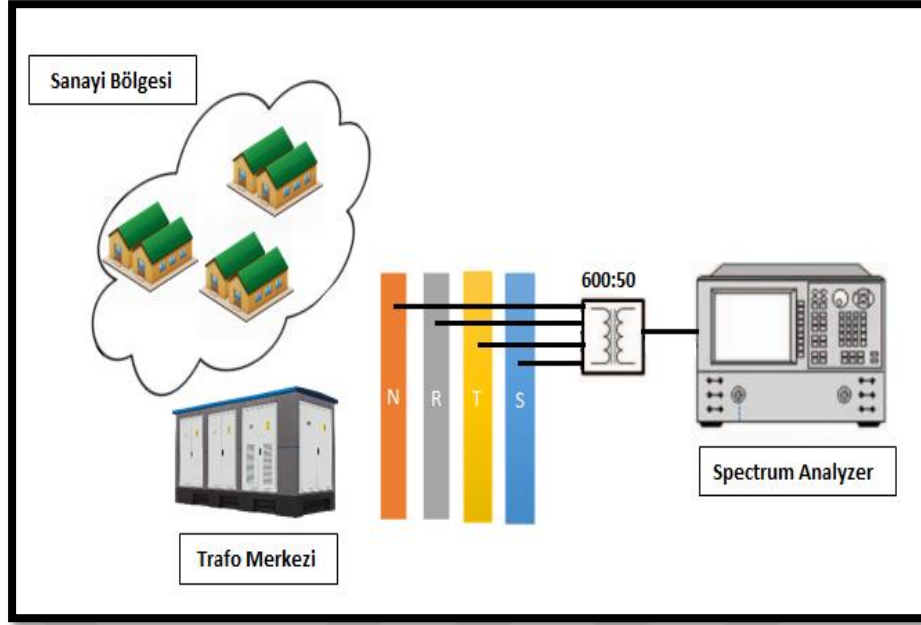
Trafo lar genellikle şebekelerdeki en yüksek gürültülü seviyesine sahip olan noktalardır. Çünkü lokasyonların bütün gürültü kaynaklarının toplamı burada toplanır. Bu nedenle haberleşme işlemleri esnasında gürültü kaynaklı olan zayıflama ve paket kayıplarının büyük bölümü lokasyon bazlı noktalardan veri toplayıcı merkeze veri paketi gönderimi sırasında oluşmaktadır. Az gürültülü seviyesine sahip ortamdan, yüksek gürültülü seviyesine sahip ortama veri gönderimi gerçekleştirildiğinde haberleşme başarı oranları oldukça düşmekte ve paket kayıpları artmaktadır.

5.1.2. Hat empedansı analiz çalışması

Bu kısımdaki analizin amacı sanayi bölgesi gibi yüksek gürültü seviyesine sahip aşırı yükteki trafo hattına ait hat yük empedans değerinin frekansa bağlı olarak değişiminin ortaya çıkarılmasıdır.

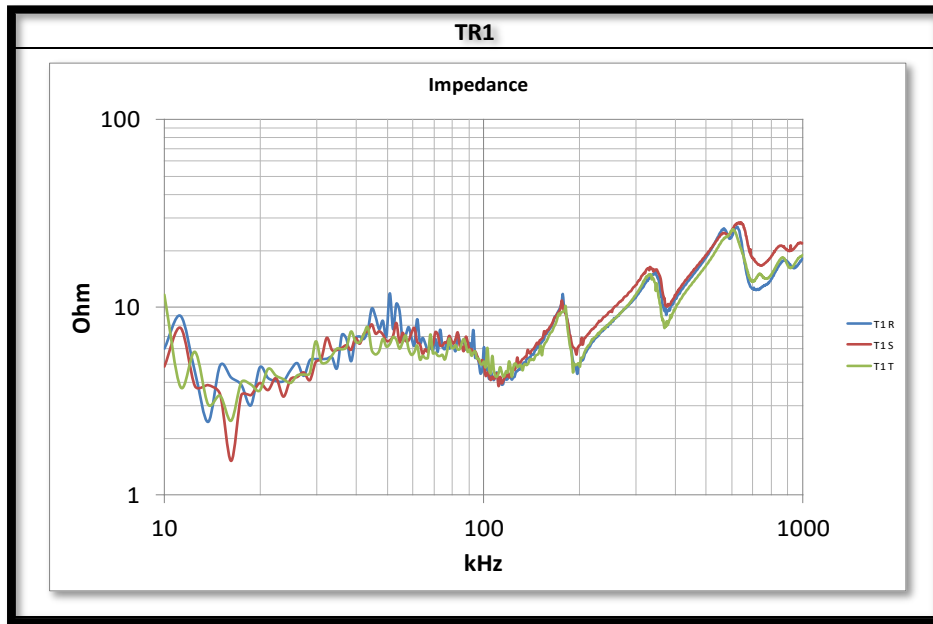
Şekil 5.6'de trafo merkezi (TR1), P1, P2 noktaları için hat empedansı ölçümü için kurulan düzenek yer almaktadır.

Şekillerde yer alan R-S-T'nin özel bir anlamı yoktur ve sadece 1.faz, 2.faz, 3.fazı ayırt etmek için kullanılmıştır. Sanayi ofislerinin elektrik altyapısı 3 fazlı olduğu için ölçümler 3 farklı faz üzerinden alınmıştır.

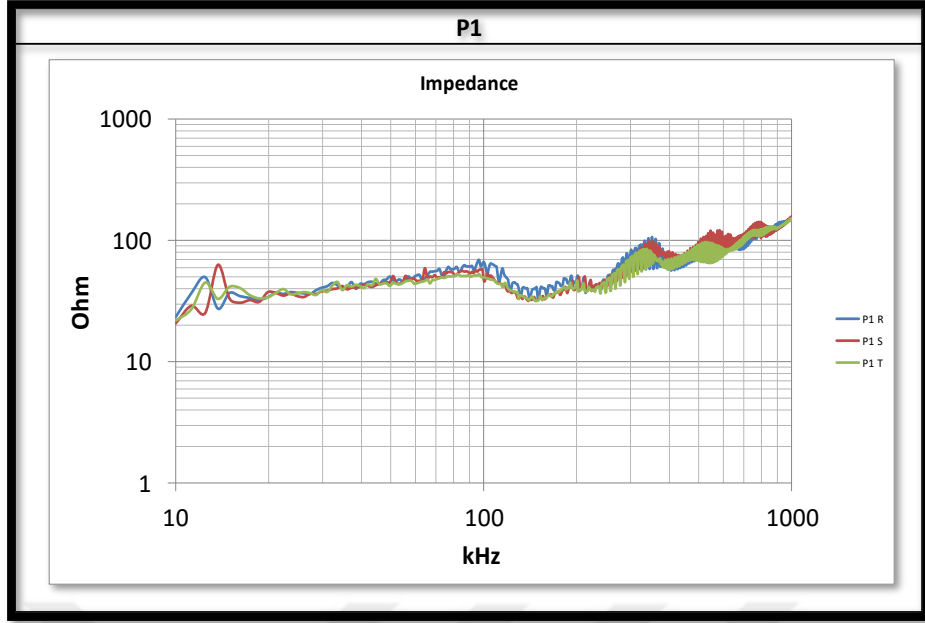


Şekil 5.6. Hat empedans ölçüm düzeneği

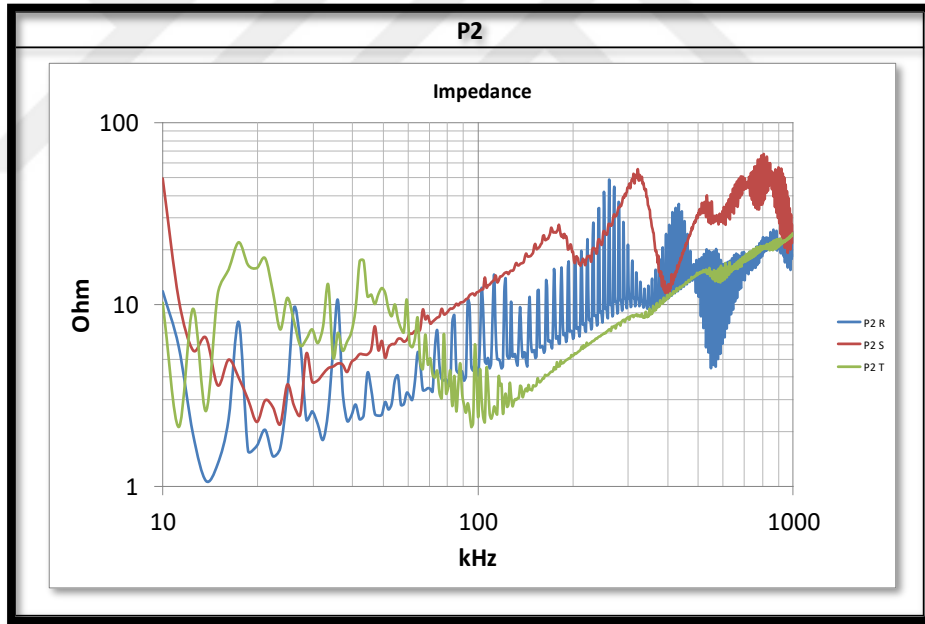
Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9' da Sanayi bölgesinde 10-1000 kHz arasında bir trafo merkezinin (TR1) ve 2 adet farklı sanayi ofisi (T1, T2) noktası için Faz-Nötr, Faz-Toprak ve Nötr-Toprak üzerinde yapılan ölçümlere dayalı olarak frekansa göre hat empedansın ortalama değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Trafo merkezinin (TR1) hat empedans ölçümleri



Şekil 5.8. Birinci noktanın (P1) hat empedans ölçümleri



Şekil 5.9. İkinci noktanın (P2) hat empedans ölçümleri

5.1.2.1. Hat empedansının deneysel saha ölçüm sonuçları ile analizi ve yorumlanması

Enerji hattında yük empedansı değerleri ne kadar büyük olursa sistem o kadar verimli çalışır. Enerji hattında seri empedanslarının değerleri ne kadar düşük olursa

da sistem o kadar verimli çalışır. Yük yoğunluğunun fazla olmadığı durumlarda yük empedansının değeri artmakta ve sağlıklı haberleşme sağlanmaktadır.

Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9' da görüldüğü gibi Cenelec Bandı (9KHz- 148KHz) için trafo merkezinin (TR1) yük empedansı ortalama 6-8 Ω civarında, P1 noktasındaki ofisin 30 Ω -40 Ω civarında, P2 noktasındaki ise 8-12 Ω civarındadır.

P2 noktasında fazlardaki empedans değerleri aynı zaman diliminde yük dengesizlikten, fazla tüketim ve yük yoğunluğunun fazlalığından dolayı fazlardaki empedans değerlerinin de dengesiz olarak değişmektedir. Bu değişkenlikler PLC sisteminde incelenmesi gereken bir olaydır. Bunun benzer durumların analiz edilebilmesi için lokasyonda uzun süreli saha ölçümlerinin yapılması gerekebilir.

Donanım kısmında üreticiler genelde standart hat empedansını düşünerek testlerini yaptıkları için şebeke empedansı 10 Ω olarak kabul ediliyor fakat belirttikleri değerlere sanayi bölgeleri gibi yük yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde oluşması zor gibi görünmektedir.

5.1.3. Zayıflama analiz çalışması

Bu kısımdaki analizin amacı sanayi bölgesi gibi yüksek gürültü miktarına sahip aşırı yükteki trafo hattına ait zayıflamanın frekans değişimine bağlı olarak incelenmesi ve noktasal bazlı SNR, loss değerlerinin ortaya çıkarılmasıdır.

Tablo 5.2'de loasyon bazlı vericiden alıcıya ve alıcıdan vericiye doğru ölçülen hattaki gürültünün gücü ve hatta verilen sinyali gücü sonucu ile elde edilen loss ve SNR değerleri gösterilmiştir.

PLC sistemlerinde hat boyunca en fazla 134 dBuV değerinde bir sinyalin hatta basımına izin verilir.

Tablo 5.2. Noktalar arası sinyal gürültü oranı (SNR) ve loss analizleri

| | TR1 ->P1 | | | TR1 ->P2 | | | P1 ->TR1 | | | P2 ->TR1 | | |
|-----------------------------|----------|-------|-------|----------|------|-------|----------|------|------|----------|-------|------|
| | R | S | T | R | S | T | R | S | T | R | S | T |
| Signal bandpower (-10dB) | 99.6 | 105.0 | 101.4 | 98.7 | 97.7 | 102.4 | 100.0 | 98.2 | 95.7 | 100.0 | 109.1 | 95.7 |
| Loss (Signal - Ref 134dBuV) | 34.4 | 29.0 | 32.6 | 35.3 | 36.3 | 31.6 | 34.0 | 35.8 | 38.3 | 34.0 | 24.9 | 38.3 |
| Noise bandpower | 100.7 | 100.7 | 98.5 | 88.1 | 92.7 | 97.9 | 96.7 | 93.8 | 97.6 | 96.7 | 93.8 | 97.6 |
| SNR | -1.1 | 4.3 | 2.9 | 10.6 | 5.0 | 4.5 | 3.2 | 4.4 | -1.9 | 3.2 | 15.3 | -1.9 |

5.1.3.1. Zayıflamanın deneysel saha ölçüm sonuçları ile analizi ve yorumlanması

Enerji hatları üzerinde veri iletimini zorlaştıran en önemli parametrelerden bir tanesi de zayıflama dır. Sinyal vericiden alıcıya doğru ilerlerken zayıflar. Bu zayıflama PLC sistemlerinde enerji şebekesinin uzunluğuna, dallanma biçimine ve ek noktalarının sayılarına bağlı olarak değişmektedir. En önemlisi hattın çok fazla sayıda yükün bağlı olduğu zamanlarda bu zayıflama oranı yükseldiği görülmüştür. Sinyal zayıflamasının gece-gündüz hassasiyeti olmakla beraber frekans ve mesafenin artması ile de arttığı ortaya çıkmıştır. Bir haberleşme sisteminin performansını analiz ederken kilit bir parametre olan “İşaret gürültü oranı (SNR)dır. Bu parametre haberleşme sisteminin performansı ile ilişkilidir. SNR ne kadar büyük ise haberleşmede o kadar iyidir.

Tablo 5.2’ de görüldüğü gibi P2’den TR1 noktasına (P1 -> TR1 T) doğru T fazından ölçümler alındığı zaman SNR değerinin -1.9 olduğu sonucu elde ediliyor. Gürültü genliği sinyalin genliğinin üzerine bindiği için haberleşmede sorunlar yaşandığı görülmüştür.

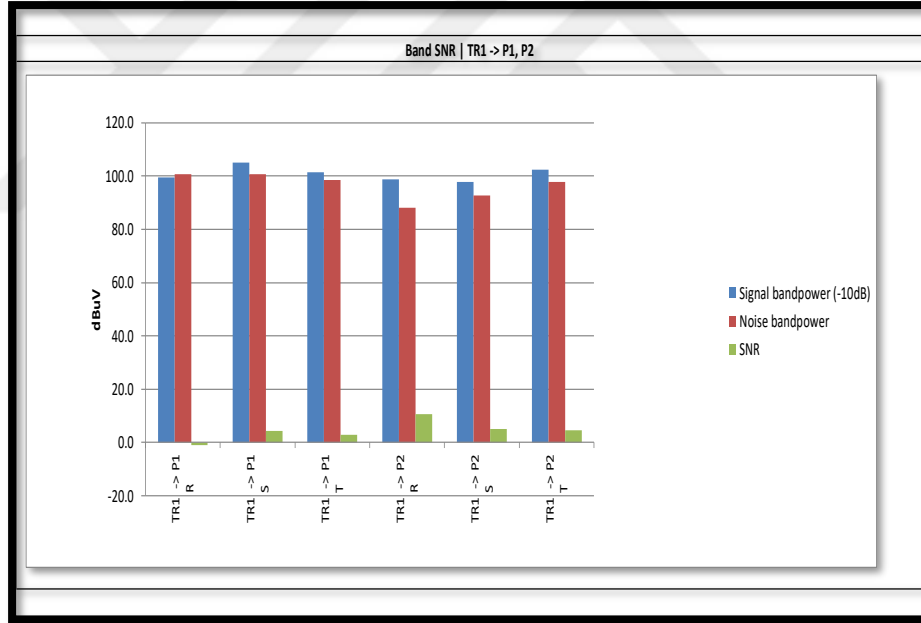
Tablo 5.2’ de TR1 -> P2 R doğru R fazından ölçümler alındığı zaman SNR değerinin +10.6 olduğu görülmüyor. Burada haberleşmenin sağlıklı bir şekilde sağlanacağını çok açık bir şekilde görülmektedir. Ayrıca hatta basılan 134 dBuV değerindeki sinyalde oluşan kayıp (loss) değerine de bakmak gerekmektedir.

Örneğin P2 noktasından TR1 S noktasına (P2 -> TR1 S) doğru alınan ölçümlerde hem SNR değeri hem de kayıp değeri PLC haberleşmesi için uygun olduğu görülmektedir.

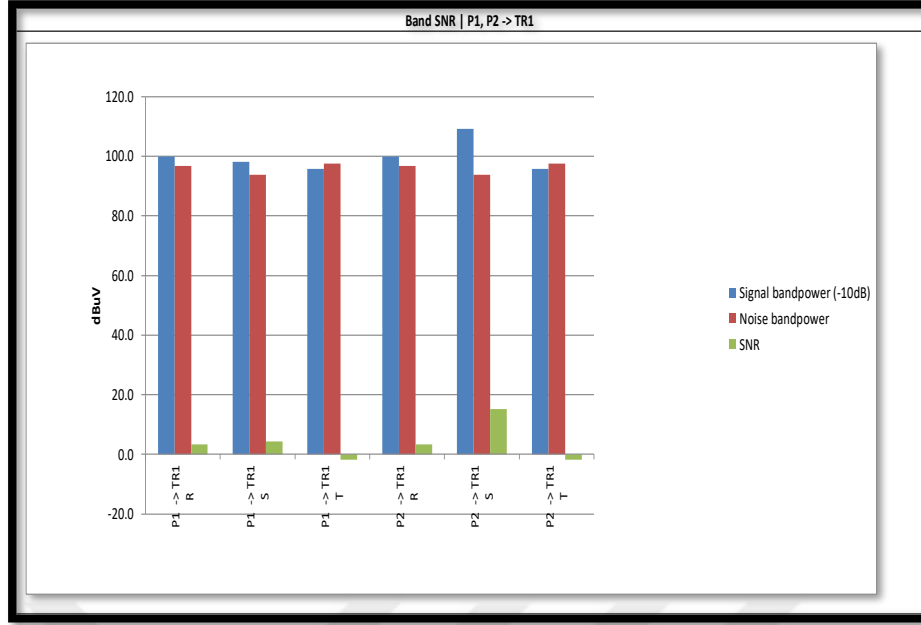
SNR ve loss değerleri kullanılan modülasyonlara göre farklılık göstermek olup şebeke yapısına bağlıdır.

Bu saha ölçüm sonucunda anlaşılabilceği üzere verilerin paket boyutlarının artırılması haberleşme başarısı üzerinde olumsuz bir etki yaratmaktadır. Akıllı şebeke de özellikle elektrik sayaçlarında kullanılan yük profili okunması ve uzaktan yazılım güncelleme işlemleri gibi yüksek veri paketi uzunlukları gerektiren işlemler haberleşme girişimlerinde başarının diğer işlemlere göre düşük seviyelerde olması kaçınılmazdır.

Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de loasyon bazlı vericiden alıcıya ve alıcıdan vericiye doğru ölçülen hattaki SNR değerinin grafiksel olarak gösterimi yer almaktadır.



Şekil 5.10. TR1 -> P1, P2 SNR Değeri



Şekil 5.11. P1, P2 -> TR1 SNR Değeri

5.2. 250-800m Arası Havai Hat Uzunluğuna Sahip Yoğun Kullanıcısı Olan Kırsal Bölgedeki Trafo Hattı

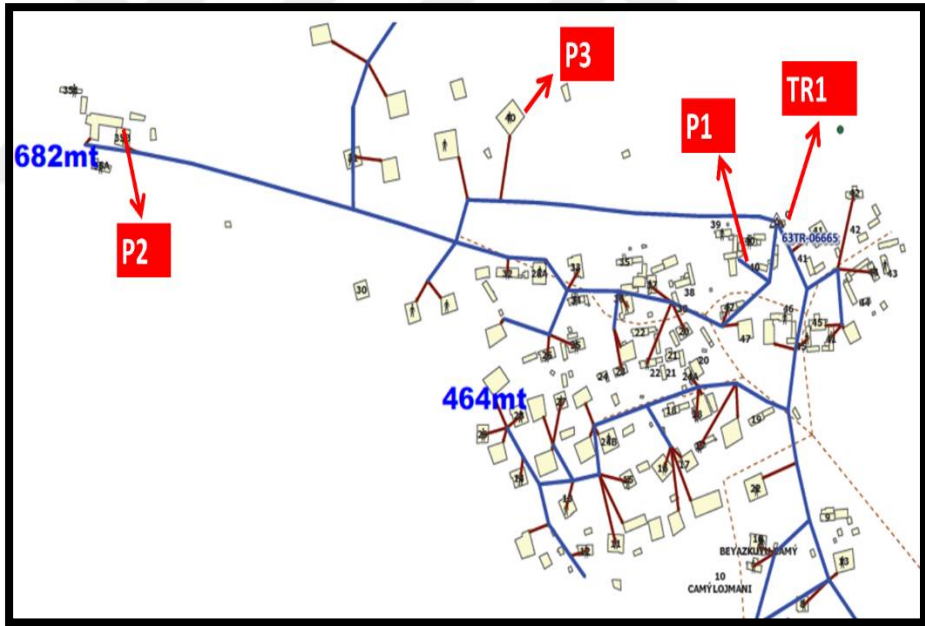
Bu lokasyonda bulunan trafonun ölçüm esnasındaki değerleri Tablo 5.3’de, ölçümü alınan lokasyonların konumları Şekil 5.12’de, tek hat şemaları ise Şekil 5.13’de yer almaktadır.

Tablo 5.3. Ölçümü alınan trafonun değerleri

| Trafo Kurulu Gücü | Bağlı Olan Hane Sayısı | Trafo Doluluk Oranı |
|-------------------|------------------------|---------------------|
| 100 KVA | 95 | 60% |



Şekil 5.12. Trafo ve ölçümü alınan lokasyonların konumları



Şekil 5.13. Trafo ve ölçümü alınan lokasyonların tek hat şeması

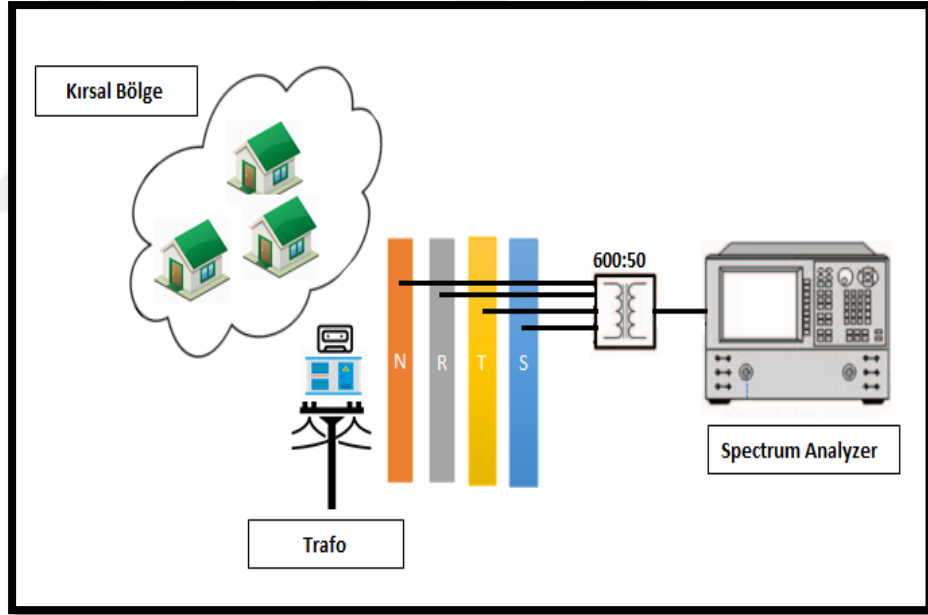
5.2.1. Gürültü seviyesi analiz çalışması

Bu kısımdaki analizin amacı 250-800m arası havai hat uzunluğuna sahip yoğun kullanıcısı olan kırsal bölgedeki trafo hattına ait hat gürültü seviyesinin ve hatta oluşan toplam gürültü gücü değerlerinin frekansa bağlı olarak ortaya çıkarılmasıdır.

Şekil 5.13’de görüldüğü gibi P2 noktası trafodan merkezinden (TR1’den) 682m civarı uzaklıkta, P1 noktası 250m civarı uzaklıkta, P3 noktası ise 355m civarı uzaklıkta bulunan noktalardır.

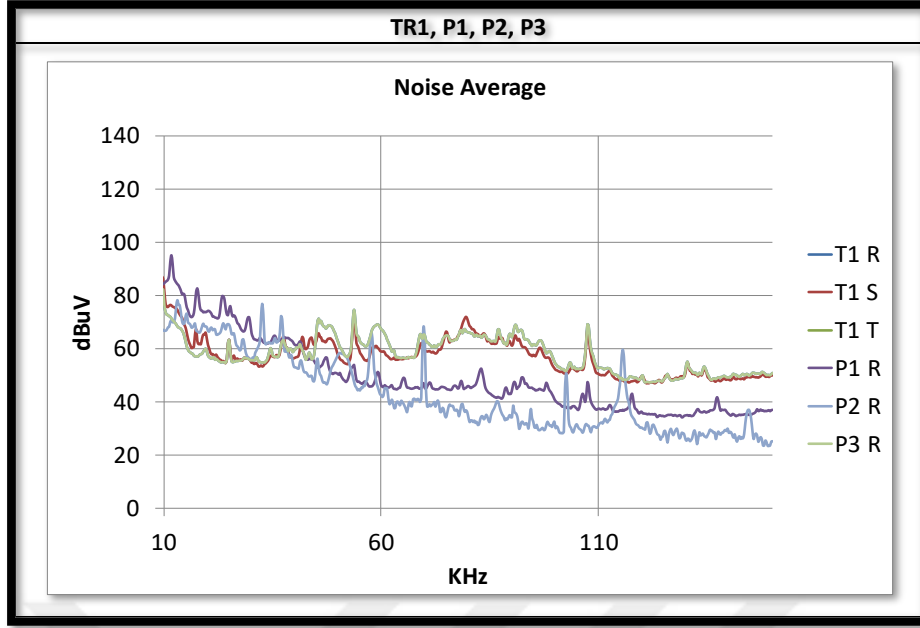
Şekil 5.14’de trafo merkezi (TR1), P1, P2 noktaları için gürültü seviyesinin ölçümü için kurulan düzenek yer almaktadır.

Şekillerde yer alan R-S-T’nin özel bir anlamı yoktur. Sadece 1. faz 2.faz 3.fazı ayırt etmek için kullanılmıştır. Trafo merkezi üç fazlı olduğu için R-S-T fazlarından ölçüm alınmış fakat hane lokasyonları ise tek fazlı olduğu için sadece R fazı için ölçümler alınmıştır.



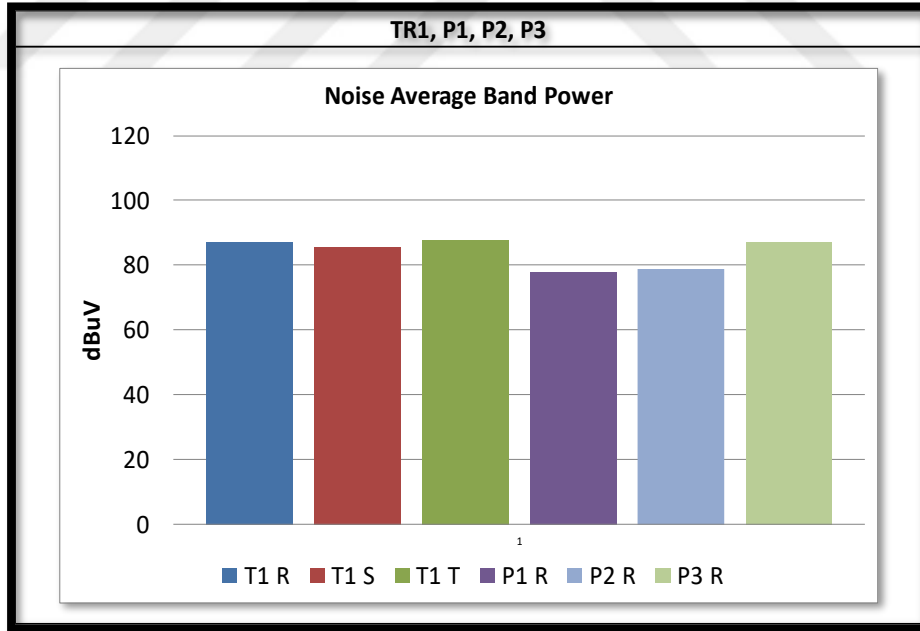
Şekil 5.14. Gürültü seviyesi ölçüm düzeniği

Şekilde 5.15’de kırsal ve uzun havai hat özelliğine sahip bölgede 10-150 kHz arasında bir trafo merkezinin (TR1) ve 3 adet farklı hane (P1, P2, P3) lokasyonu için Faz-Nötr, Faz-Toprak ve Nötr-Toprak üzerinde ölçümlere dayalı olarak frekansa göre gürültü seviyelerinin ortalama değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.15. Trafo (TR), birinci nokta (P1), ikinci nokta (P2), üçüncü nokta (P3) gürültü seviyeleri

Şekil 5.16'da TR1, P1, P2, P3 noktalarında oluşan toplam gürültü gücü gösterilmiştir.



Şekil 5.16. Trafo (TR1), birinci nokta (P1), ikinci nokta (P2), üçüncü nokta (P3) kullanılan frekans bandındaki toplam gürültü gücü

5.2.1.1. Gürültü seviyesinin deneysel saha ölçüm sonuçları ile analizi ve yorumlanması

Şekil 5.15'te görüldüğü gibi hane sayısının yoğun olduğu ve trafo doluluk oranının normal seviyede olduğu kırsal alanda trafo merkezinin gürültünün değeri sanayi bölgesi kısmına göre daha iyi seviyelerde olduğu görülmektedir (65 dBuV-72dBuV civarı).

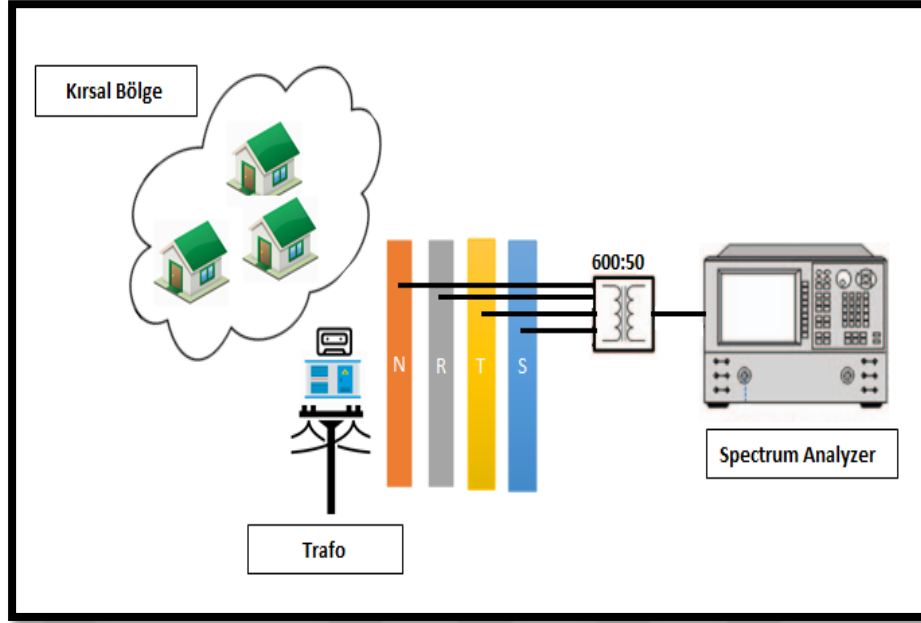
Enerji hattı tek şemalarında çok fazla dal-budak bulunmadığı, fazla yüklenmiş trafo bölgelerinin olmadığı, mesafenin belli sınırları çerçevesindeki kırsal bölgelerde, enerji hatlarında iletişim sağlıklı bir şekilde sağlanabilir. Çok fazla dal veya daha uzun hatlar bulunması durumunda tekrarlayıcı kullanılması gereklidir.

Enerji hattındaki gürültüler lokasyondan lokasyona hatta aynı lokasyon içerisinde, zamana ve yüklerin şebekeye bağlı olup olmamasına göre farklılıklar gösterdiği ölçümler sonucu ortaya çıkmıştır. Aynı kol üzerinde farklı hanelere giden hatların yükleri tarafından oluşan karakteristikleri gürültüye sebep oldukları görülmektedir. Örneğin P2 (Trafo merkezinden 682 m uzaklıkta) noktasında oluşan gürültü trafo merkezine (TR1) göre daha fazla olduğu görülmektedir.

5.2.2. Hat empedansı analiz çalışması

Bu kısımdaki analizin amacı 250-800m arası havai hat uzunluğuna sahip yoğun kullanıcısı olan kırsal bölgedeki trafo hattına ait frekansa bağlı olarak hat yük empedans değerinin ortaya çıkarılmasıdır.

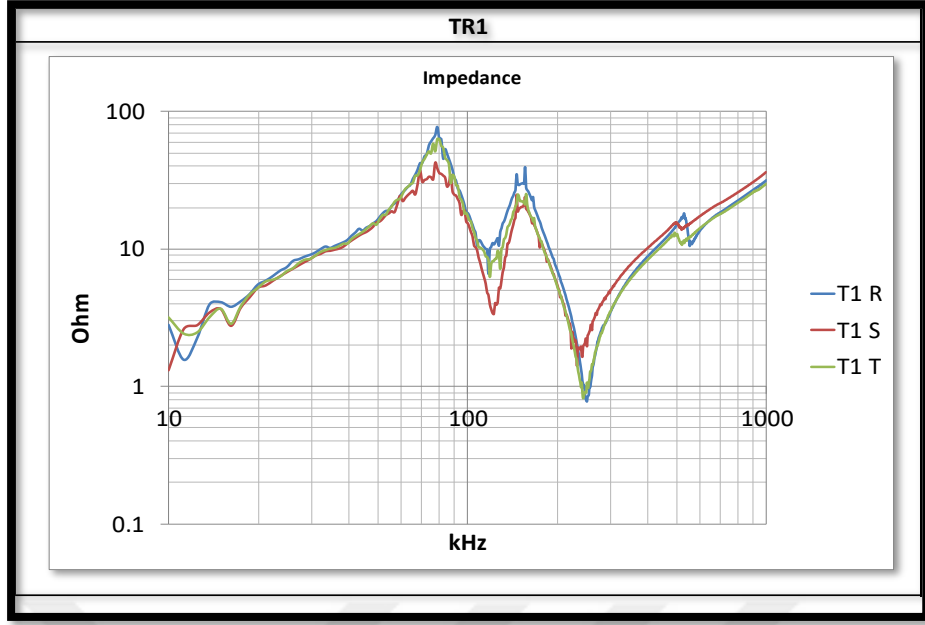
Şekil 5.17'de trafo merkezi (TR1), P1, P2 noktaları için hat empedansı ölçümü için kurulan düzenek yer almaktadır.



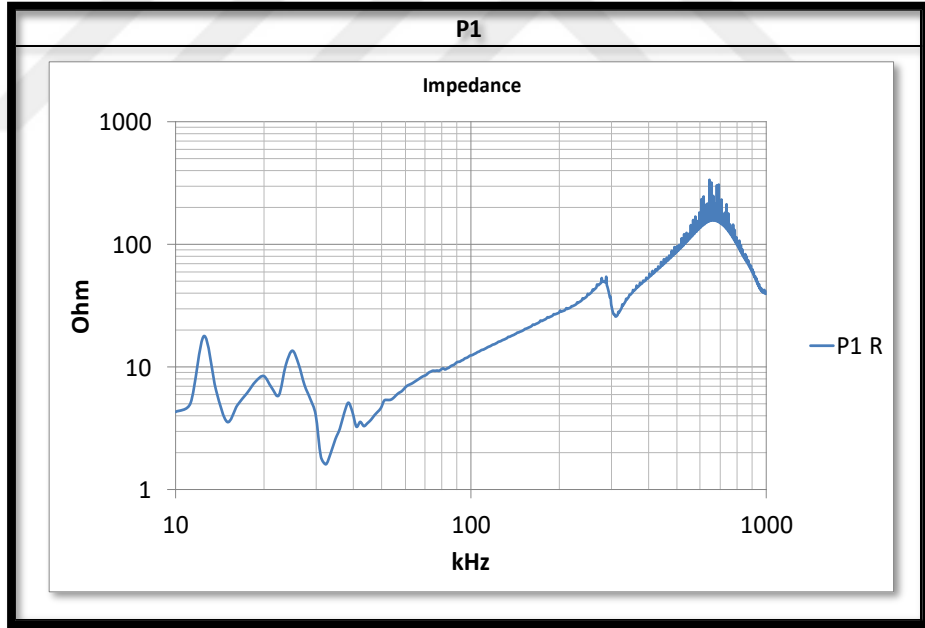
Şekil 5.17. Hat empedans ölçüm düzeneği

Şekillerde yer alan R-S-T'nin özel bir anlamı yoktur. Sadece 1.faz, 2.faz, 3.faz gibi ayırt etmek için kullanılmıştır. Trafo merkezi üç fazlı olduğu için R-S-T fazlarından ölçüm alınmış hane lokasyonları ise tek fazlı olduğu için sadece R fazı için ölçümler alınmıştır.

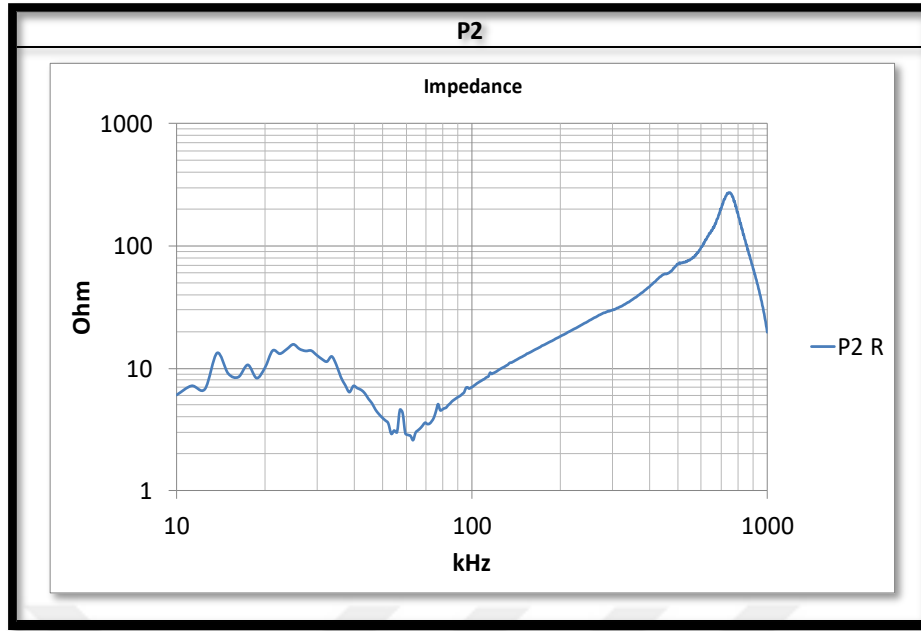
Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20 ve Şekil 5.21 'de kırsal ve uzun havai hat özelliğine sahip bölgede 10-1000 kHz arasında bir trafo merkezinin (TR1) ve 3 adet farklı hane (P1, P2, P3) lokasyon noktası için Faz-Nötr, Faz-Toprak ve Nötr-Toprak üzerinde yapılan ölçümlere dayalı olarak frekansa göre hat empedansın ortalama değişimi gösterilmiştir.



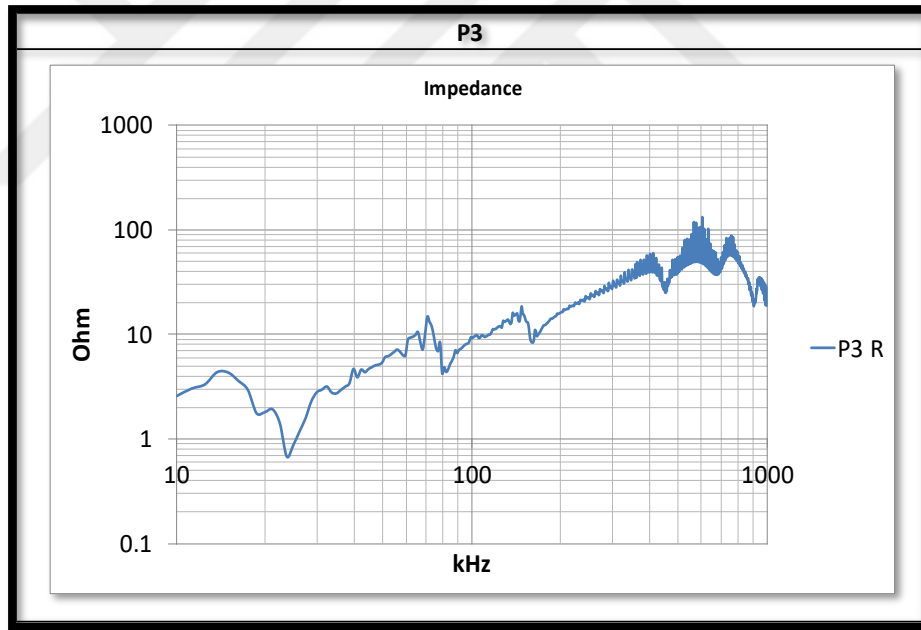
Şekil 5.18. Trafo merkezinin (TR1) hat empedans ölçümleri



Şekil 5.19. Birinci noktanın (P1) hat empedans ölçümleri



Şekil 5.20. İkinci noktanın (P2) hat empedans ölçümleri



Şekil 5.21. Üçüncü noktanın (P3) hat empedans ölçümleri

5.2.2.1. Hat empedansının deneysel saha ölçüm sonuçları ile analizi ve yorumlanması

Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20 ve Şekil 5.21 'de kırsal lokasyondaki yük empedans değerlerinin sanayi ortamındaki yük empedansından daha iyi olduğu görülmektedir.

Bunun en büyük nedeni alanın yük yoğunluğunun az olmasıdır. Yük yoğunluğunun az olduğu durumlarda yük empedansı da buna bağlı olarak normal seviyelere çıkmaktadır.

P1 noktasında aldığımız ölçümler sonucunda yük empedansı trafo merkezine göre farklılık göstermesi lokasyonun anki yük değişimlerinin bilinmesi ile açıklanabilir. Çünkü evlerde kullanılan ve gürültüye sebep olan cihazların yapıları birbirlerinden farklıdır. Bu veriler analiz edildiği takdirde şebeke hakkında daha sağlıklı yorum yapılabilir.

P3 noktasındaki empedans Şekilde 5.21'da görüldüğü gibi diğer noktalara göre düşük olduğunun en büyük nedeninin uzun enerji hattının karakteristik özelliklerinin diğer kısa enerji hatlarına göre farklılık göstermesidir.

5.2.3. Zayıflama analiz çalışması

Bu kısımdaki analizin amacı 250-800m arası havai hat uzunluğuna sahip yoğun kullanıcısı olan kırsal bölgedeki trafo hattına ait zayıflamanın frekans değişimine bağlı olarak incelenmesi ve noktasal bazlı SNR, loss değerlerinin ortaya çıkarılmasıdır. Tablo 5.4'te loasyon bazlı vericiden alıcıya ve alıcıdan vericiye doğru ölçülen hattaki gürültünün gücü ve hatta verilen sinyali gücü sonucu ile elde edilen loss ve SNR değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Noktalar arası sinyal gürültü oranı (SNR) ve loss analizleri

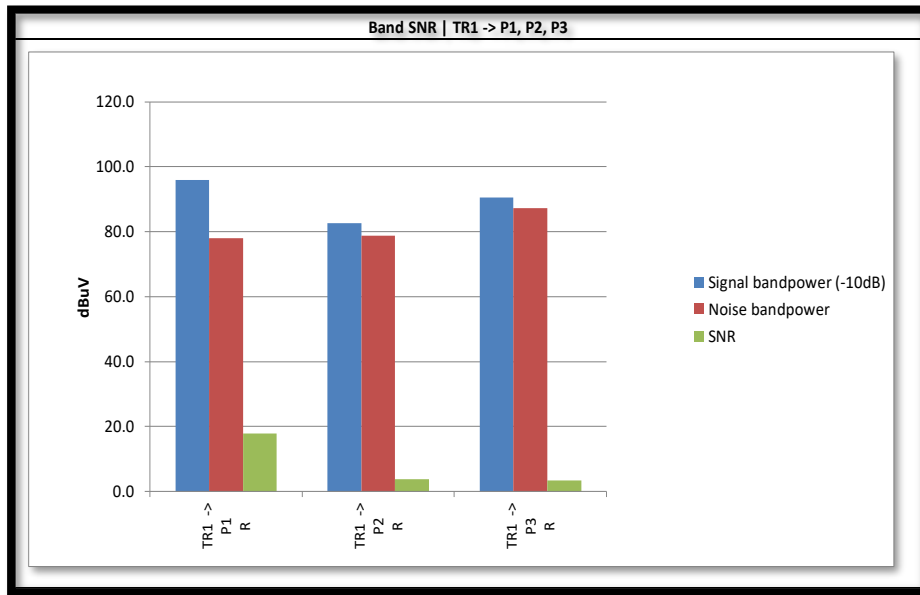
| | TR1 -> P1 R | TR1 -> P2 R | TR1 -> P3 R | P1 -> TR1 R |
|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Signal bandpower (-10dB) | 95.9 | 82.6 | 90.6 | 119.1 |
| Loss (Signal - Ref 134dBuV) | 38.1 | 51.4 | 43.4 | 14.9 |
| Noise bandpower | 78.1 | 78.8 | 87.2 | 87.2 |
| SNR | 17.8 | 3.8 | 3.4 | 31.8 |

Şekillerde ve tablolarda yer alan R-S-T'nin özel bir anlamı yoktur. Sadece 1. faz, 2.faz, 3.faz gibi ayırt etmek için kullanılmıştır. Trafo merkezi üç fazlı olduğu için R-S-T fazlarından ölçüm alınmış hane lokasyonları ise tek fazlı olduğu için sadece R fazı için ölçümler alınmıştır.

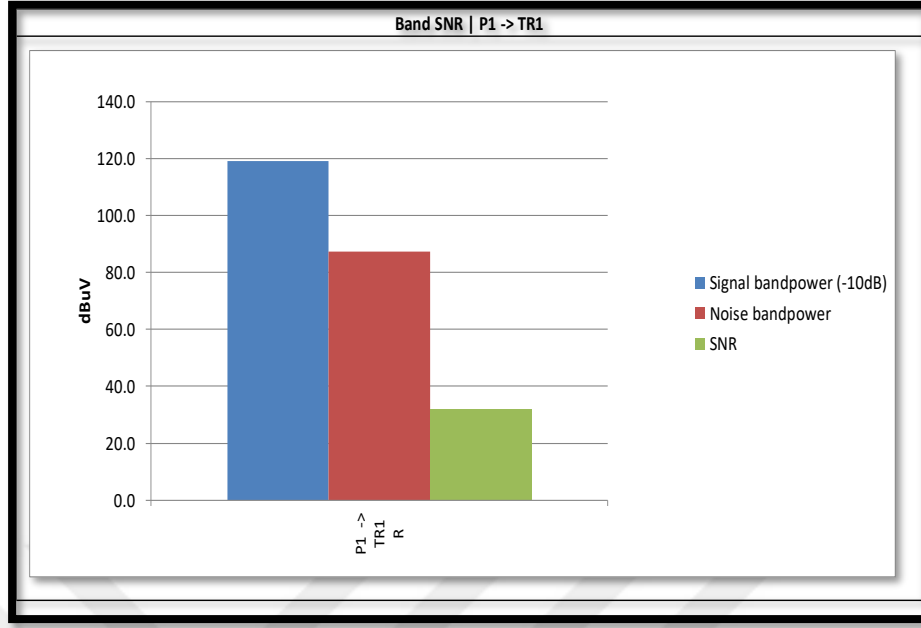
5.2.3.1. Zayıflamanın deneysel saha ölçüm sonuçları ile analizi ve yorumlanması

Tablo 5.4'te görüldüğü gibi P1 den TR1 noktasına (P1 -> TR1 R) doğru R fazından ölçüm alındığı zaman SNR değerinin +31.8 olduğu sonucu elde ediliyor. Burada haberleşmenin verimli ve kararlı bir şekilde sağlanacağını görülmektedir.

Bu çalışma ile hat uzunluğunun arttıkça seri dirençlerin arttığı, hattın seri direnci arttıkça da sinyallere zayıflama meydana geldiği görülmüştür. Örneğin Tablo 5.4' teki TR1 -> P2 R ve TR1 -> P3 şeklinde yapılan ölçümlerde SNR değerinin diğer lokasyonlara göre en küçük değerde olduğunun en büyük nedeni frekans arttıkça zayıflama oranının arttığı, mesafenin artması ile de zayıflama oranının çok daha fazla arttığıdır. Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'de lokasyon bazlı vericiden alıcıya ve alıcıdan vericiye doğru ölçülen hattaki SNR değerinin grafiksel olarak gösterimi yer almaktadır.



Şekil 5.22. TR1-> P1, P2, P3 SNR Değeri



Şekil 5.23. P1-> TR1 SNR Değeri

5.3. 150-300m Arası Havai Hat Uzunluğuna Sahip Az Kullanıcısı Olan Kırsal Bölgedeki Trafo Hattı

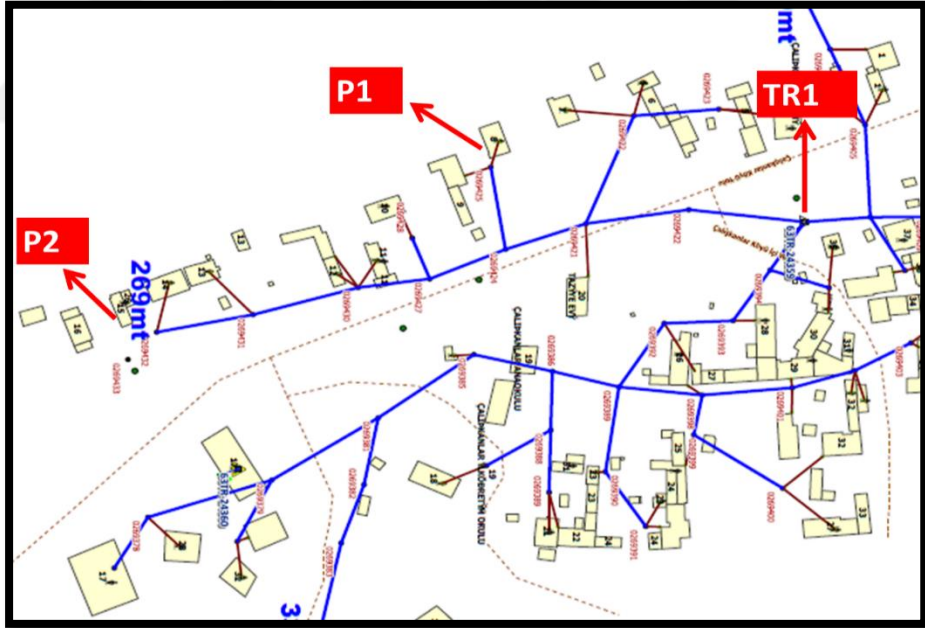
Bu lokasyonda bulunan trafonun ölçüm esnasındaki değerleri Tablo 5.5'te, ölçümü alınan lokasyonların konumları Şekil 5.24'de tek hat şemaları ise Şekil 5.25'te yer almaktadır.

Tablo 5.5. Ölçümü alınan trafonun değerleri

| Trafo Kurulu Gücü | Bağlı Olan Hane Sayısı | Trafo Doluluk Oranı |
|-------------------|------------------------|---------------------|
| 100 KVA | 41 | 15% |



Şekil 5.24. Trafo ve ölçümü alınan lokasyonların konumları

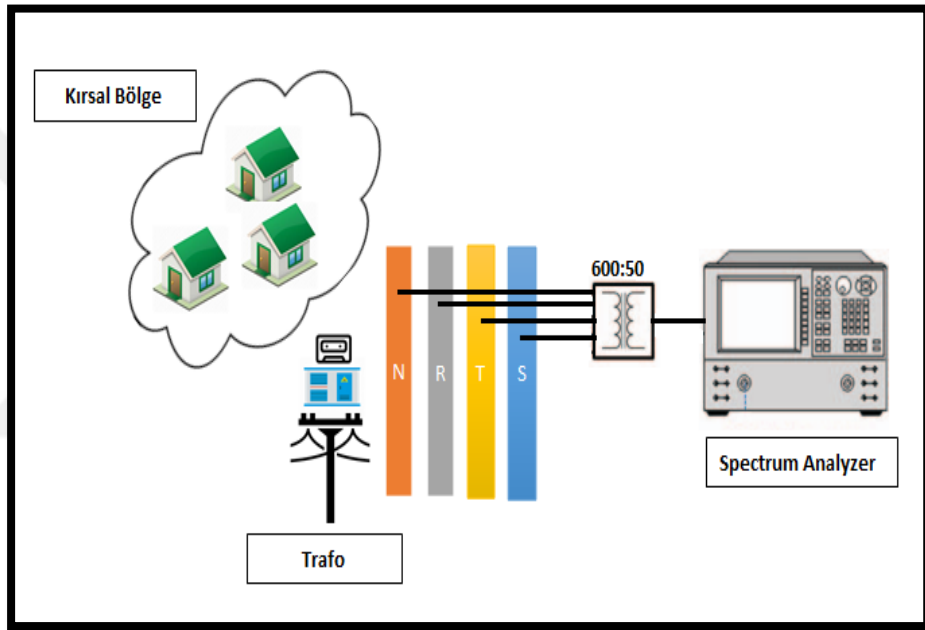


Şekil 5.25. Trafo ve ölçümü alınan lokasyonlar tek hat şemaları

5.3.1. Gürültü seviyesi analiz çalışması

Bu kısımdaki analizin amacı 150-300m arası havai hat uzunluğuna sahip az kullanıcısı olan kırsal bölgedeki trafo hattına ait hat gürültü seviyesinin ve hatta oluşan toplam gürültü gücü değerlerinin frekansa bağlı olarak ortaya çıkarılmasıdır.

Şekil 5.26’da trafo merkezi (TR1), P1, P2 noktaları için gürültü seviyesinin ölçümü için kurulan düzenek yer almaktadır.

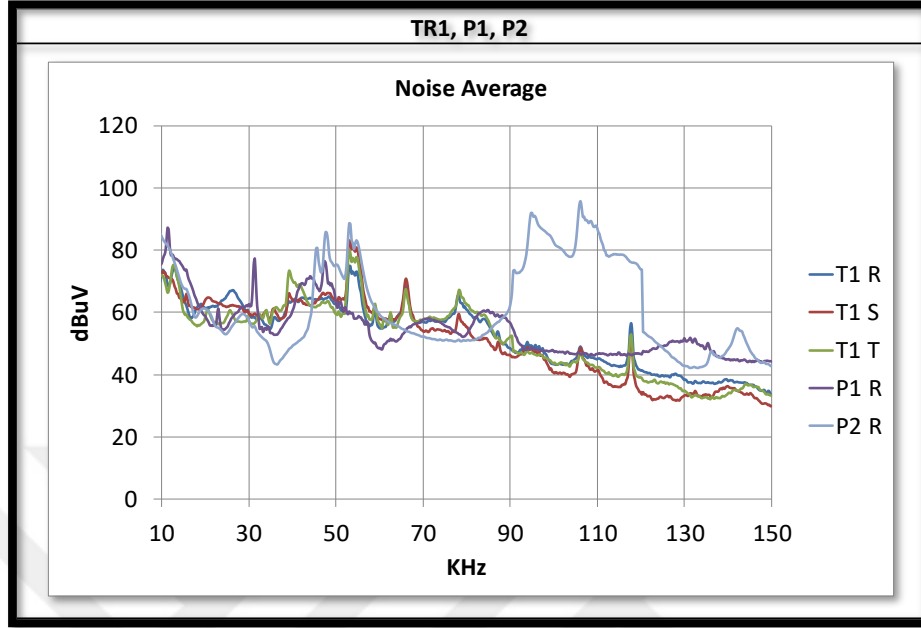


Şekil 5.26. Gürültü seviyesi ölçüm düzenneği

Şekillerde yer alan R-S-T'nin özel bir anlamı yoktur. Sadece 1.faz, 2.faz, 3.faz gibi ayırt etmek için kullanılmıştır. Trafo merkezi üç fazlı olduğu için R-S-T fazlarından ölçüm alınmış hane lokasyonları ise tek fazlı olduğu için sadece R fazı için ölçümler alınmıştır.

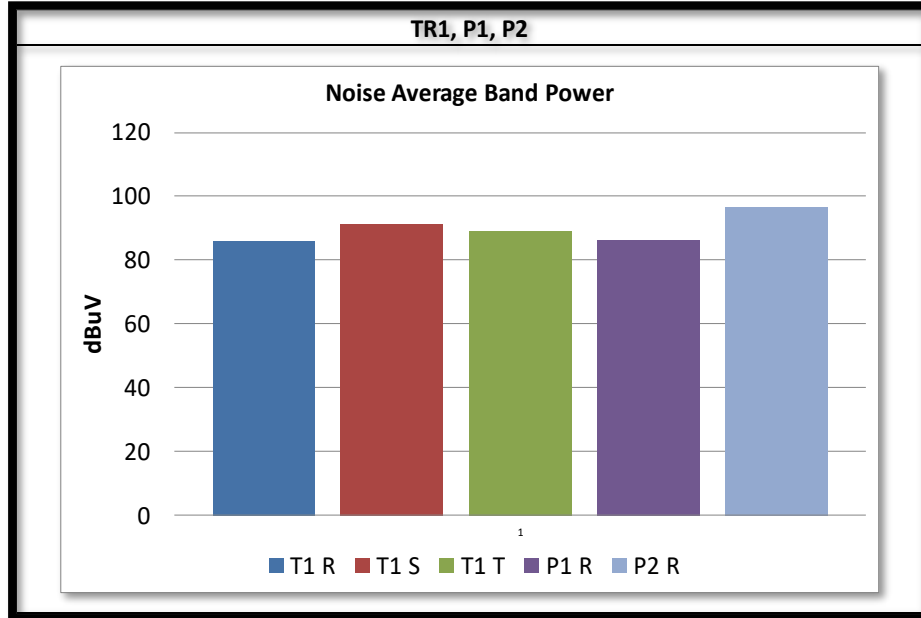
Şekil 5.27’de 150-300m arası havai hat uzunluğuna sahip az kullanıcısı olan kırsal bölge özelliğine sahip 10-150 kHz arasında bir trafo merkezinin (TR1) ve 2 adet farklı hane (P1, P2,) lokasyonu için Faz-Nötr, Faz-Toprak ve Nötr-Toprak üzerinde

ölçümlere dayalı olarak frekansa göre ortalama gürültü seviyelerinin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.27. Trafo (TR1), birinci nokta (P1), ikinci nokta (P2) gürültü seviyeleri

Şekil 5.28’de TR1, P1, P2, P3 noktalarında oluşan toplam gürültü gücü gösterilmiştir



Şekil 5.28. Trafo (TR1), birinci nokta (P1), ikinci nokta (P2) kullanılan frekans bandındaki toplam gürültü gücü

5.3.1.1. Gürültü seviyesinin deneysel saha ölçüm sonuçları ile analizi ve yorumlanması

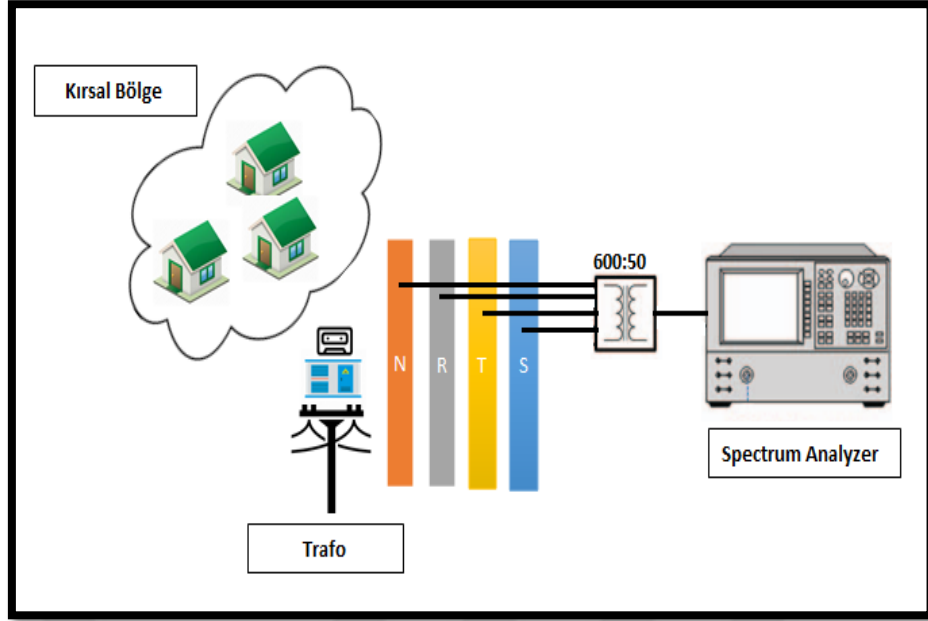
Şekil 5.27’te görüldüğü gibi hane sayısının az olduğu ve trafo doluluk oranının alt seviyede olduğu kırsal alanda trafo merkezinin gürültünün değeri sanayi bölgesi kısmına göre daha iyi seviyelerde olduğu görülmektedir. Küçük trafolar ve doluluk oranı düşük olan trafolar haberleşme çok iyi sağlanıyor. Çünkü yük yoğunluğu fazla değil ve yük empedansı büyük olduğu için sinyallerde zayıflama meydana gelmesi engelleniyor.

Yapmış olduğumuz analizler ile P2 (Trafo merkezinden 269 m uzaklıkta) noktasında oluşan gürültü trafo merkezine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun en büyük nedeni hat uzunluğu ve evde oluşan cihazların yaydığı gürültüdür.

5.3.2. Hat empedansı analiz çalışması

Bu kısımdaki analizin amacı 150-300m arası havai hat uzunluğuna sahip az kullanıcısı olan kırsal bölgedeki trafo hattına ait hat yük empedans değerinin frekansa bağlı olarak değişiminin ortaya çıkarılmasıdır.

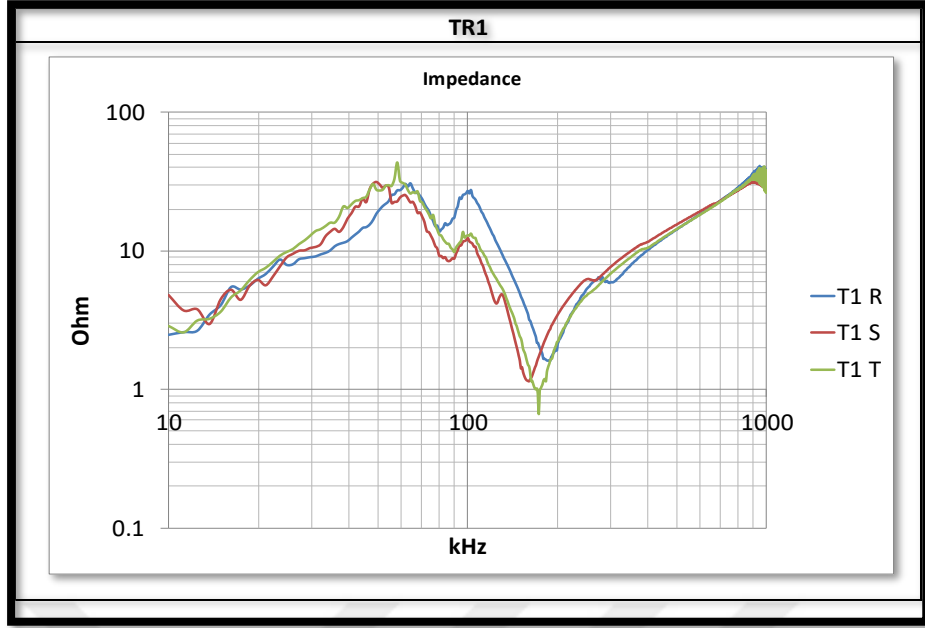
Şekil 5.29’da trafo merkezi (TR1), P1, P2 noktaları için hat empedansı ölçümü için kurulan düzenek yer almaktadır.



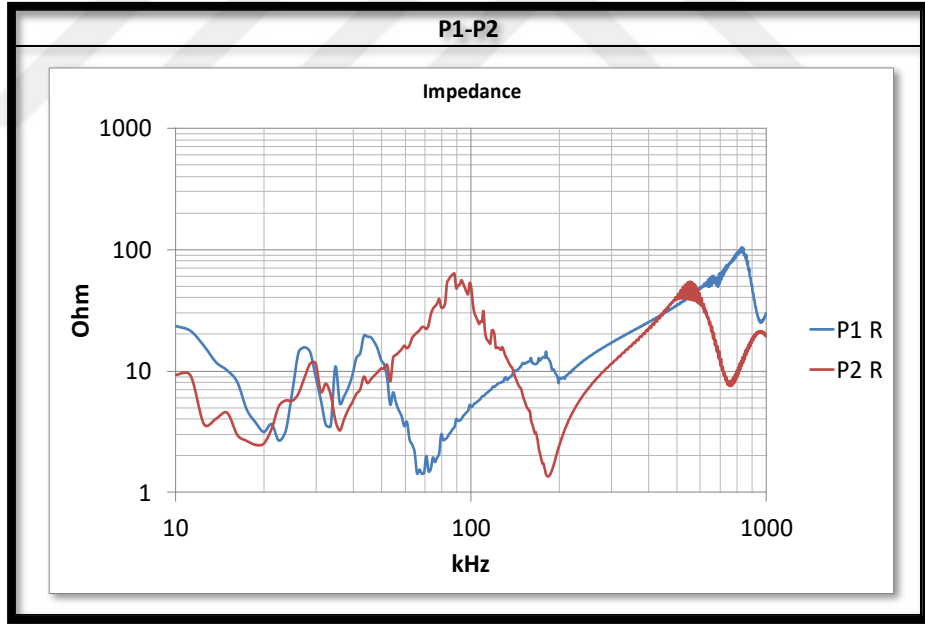
Şekil 5.29. Hat empedans ölçüm düzeneği

Şekillerde yer alan R-S-T'nin özel bir anlamı yoktur. Sadece 1. faz, 2.faz, 3.faz gibi ayırt etmek için kullanılmıştır. Trafo merkezi üç fazlı olduğu için R-S-T fazlarından ölçüm alınmış ev lokasyonları ise tek fazlı olduğu için sadece R fazı için ölçümler alınmıştır

Şekil 5.30 ve Şekil 5.31'de 150-300m arası havai hat uzunluğuna sahip az kullanıcı olan kırsal bölge özelliğine sahip 10-1000 kHz arasında bir trafo merkezinin (TR1) ve 2 adet farklı hane (P1, P2,) lokasyon için Faz-Nötr, Faz-Toprak ve Nötr-Toprak üzerinde yapılan ölçümlere dayalı olarak frekansa göre hat empedansın ortalama değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.30. Trafo merkezinin (TR1) hat empedans ölçümleri



Şekil 5.31. Birinci (P1) ve ikinci (P2) noktalarının hat empedans ölçümleri

5.3.2.1. Hat empedansının deneysel saha ölçüm sonuçları ile analizi ve yorumlanması

Ölçümler esnasında enerji hattına girip çıkan yükler ve yük dengesizliğinden dolayı empedanslarda dengesizlikler oluşmuştur. Aynı uzunlukta ve ek sayılarına sahip oldukları halde aynı zayıflama oranları ortaya çıkmayabilir. Bunun en büyük nedeni müşterilerin tüketim alışkanlıkları nedeniyle tüketime bağlı olarak enerji hattına girip çıkan yükler ve dolayısıyla hat empedanslarında meydana gelen değişimlerdir. Genelde trafo merkezinden hanelere sinyal basmak daha kolaydır. Fakat haneden trafo merkezine sinyal basmak daha zordur. Çünkü genel olarak trafo merkezinde çok fazla gürültü vardır ve şebeke empedansları düşük seviyelerdedir.

5.3.3. Zayıflama analiz çalışması

Bu kısımdaki analizin amacı 150-300m arası havai hat uzunluğuna sahip az kullanıcı olan kırsal bölgedeki trafo hattına ait zayıflamanın frekans değişime bağlı olarak incelenmesi ve noktasal bazlı SNR, loss değerlerinin ortaya çıkarılmasıdır.

Tablo 5.6'da loasyon bazlı vericiden alıcıya ve alıcıdan vericiye doğru ölçülen hattaki gürültünün gücü ve hatta verilen sinyali gücü sonucu ile elde edilen loss ve SNR değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.6. Noktalar arası sinyal gürültü oranı (SNR) ve loss analizleri

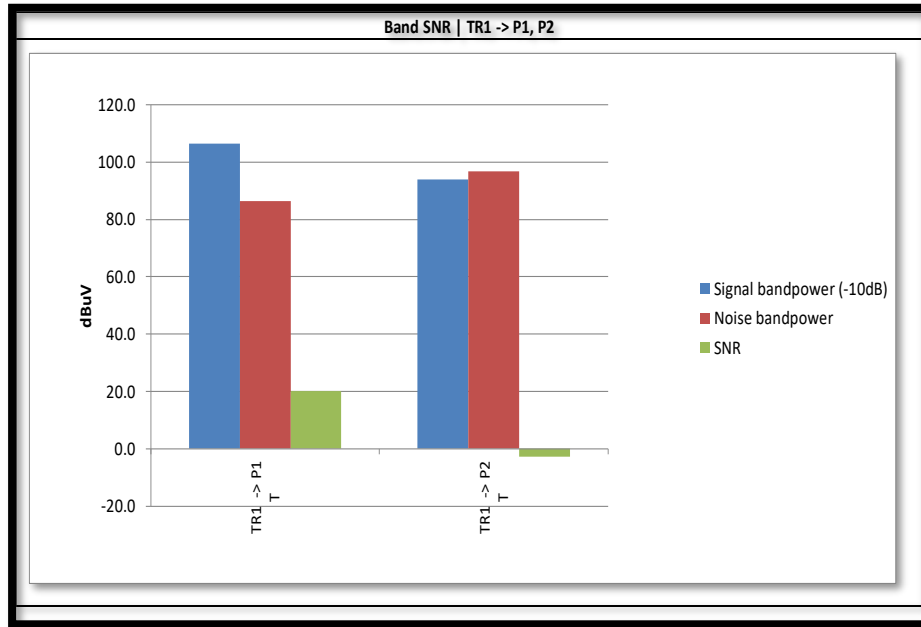
| | TR1 -> P1 T | TR1 -> P2 T | P1 -> TR1 T | P2 -> TR1 T |
|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Signal bandpower (-10dB) | 106.5 | 94.0 | 107.4 | 115.4 |
| Loss (Signal - Ref 134dBuV) | 27.5 | 40.0 | 26.6 | 18.6 |
| Noise bandpower | 86.3 | 96.7 | 89.2 | 89.2 |
| SNR | 20.2 | -2.7 | 18.2 | 26.2 |

5.3.3.1. Zayıflamanın deneysel saha ölçüm sonuçları ile analizi ve yorumlanması

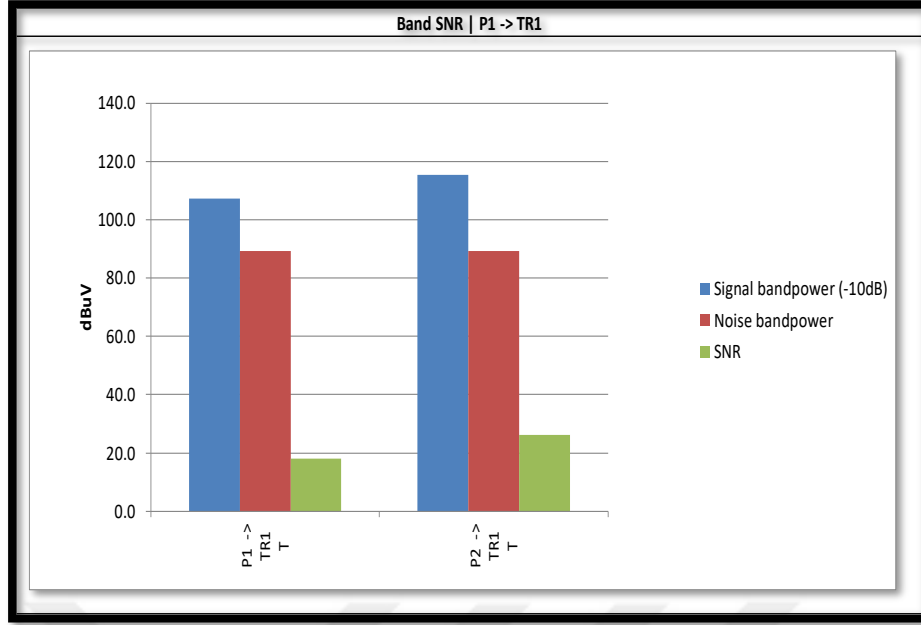
Tablo 5.6'da görüldüğü gibi P2 den TR1 noktasına (P2 -> TR1 T) doğru T fazından ölçümler alındığı zaman SNR değerinin +26.2 olduğu ve loss değerinin de diğer noktalara nazaran daha az olduğu sonucu elde ediliyor. Bu faz için haberleşmenin devamlı bir şekilde sağlanacağını görülmektedir. Aynı uzunlukta ve ek sayılarına sahip oldukları halde aynı zayıflama oranları ortaya çıkmayabilir. Bu lokasyonlara ait enerji şebekesinin PLC Haberleşmeye uygunluğu ölçümlere sonucunda ortaya çıkmıştır.

Bu ölçümler sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda gürültülü ortamdaki gürültüsüz bir ortama sinyal basmak kolaydır. Fakat gürültüsüz bir ortamdaki gürültülü bir ortalama sinyal basmak zordur.

Şekil 5.32 ve Şekil 5.33'de loasyon bazlı vericiden alıcıya ve alıcıdan vericiye doğru ölçülen hattaki SNR değerinin grafiksel olarak gösterimi yer almaktadır.



Şekil 5.32. TR1-> P1, P2 SNR Değeri



Şekil 5.33. P1-> R1 SNR Değeri

5.4. Evrensel Kullanıcıların Yoğun Olduğu Kentsel Bölgedeki Yer Altı Trafo Hattı

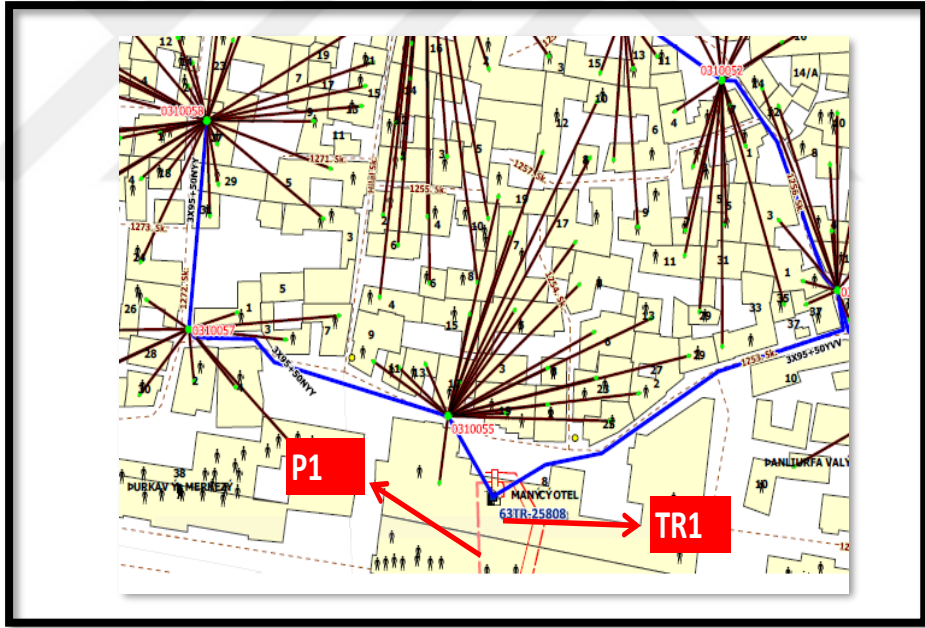
Bu lokasyonda bulunan trafonun ölçüm esnasındaki değerleri Tablo 5.7' de, ölçümü alınan lokasyonların konumları Şekil 5.34'de tek hat şemaları ise Şekil 5.35'de yer almaktadır.

Tablo 5.7. Ölçümü alınan trafonun değerleri

| Trafo Kurulu Gücü | Bağlı Olan Hane Sayısı | Trafo Doluluk Oranı |
|-------------------|------------------------|---------------------|
| 1000 KVA | 842 | 60% |



Şekil 5.34. Trafo ve ölçümü alınan lokasyonların konumları

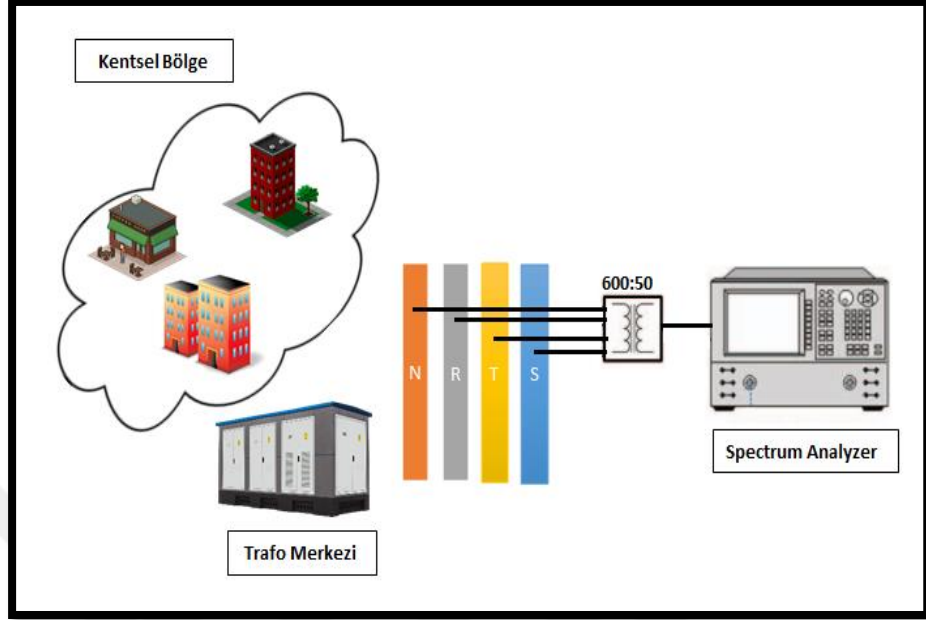


Şekil 5.35. Trafo ve ölçümü alınan lokasyonlar tek hat şemaları

5.4.1. Gürültü seviyesi analiz çalışması

Bu kısımdaki analizin evrensel kullanıcıların yoğun olduğu kentsel bölgedeki yer altı trafo hattına ait hat gürültü seviyesinin ve hatta oluşan toplam gürültü gücü değerlerinin frekansa bağlı olarak değişiminin ortaya çıkarılmasıdır.

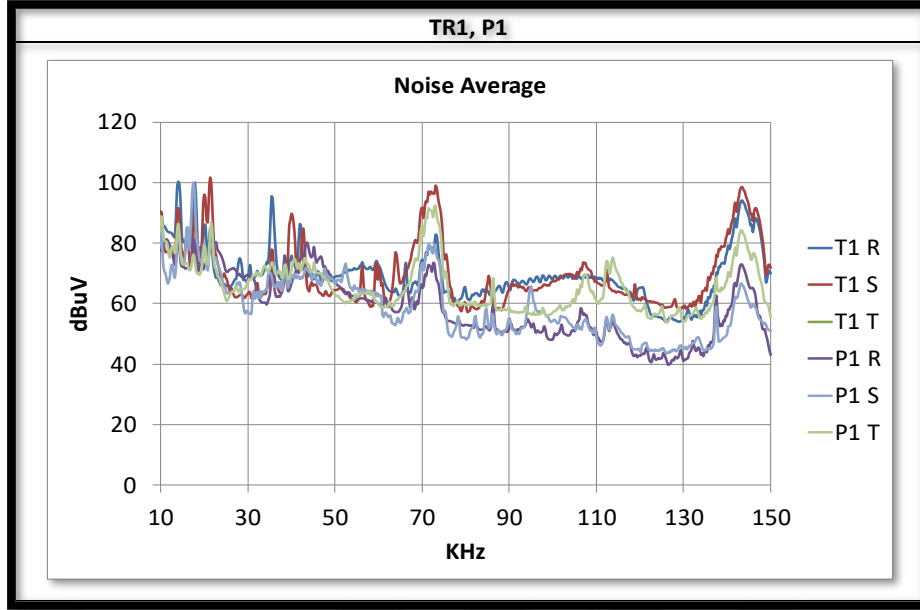
Şekil 5.36’da trafo merkezi (TR1), P1, P2 noktaları için gürültü seviyesinin ölçümü için kurulan düzenek yer almaktadır.



Şekil 5.36. Gürültü Seviyesi Ölçüm Düzenegi

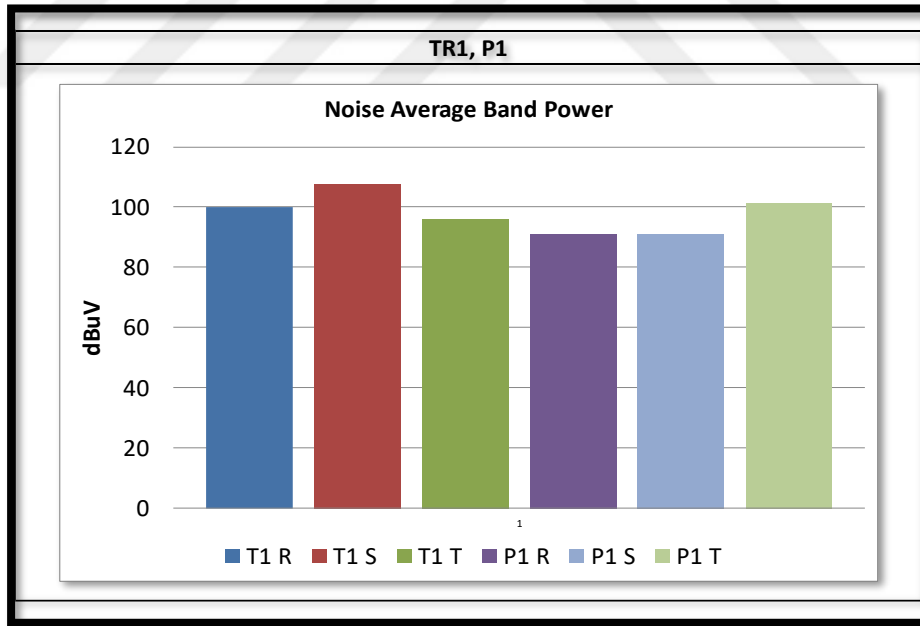
Şekillerde yer alan R-S-T'nin özel bir anlamı yoktur. Sadece 1. faz, 2.faz, 3.faz gibi ayırt etmek için kullanılmıştır.

Şekil 5.37’de evrensel kullanıcıların yoğun olduğu kentsel bölgedeki yer altı trafo hattı özelliğine sahip bölgede 10-150 kHz arasında bir trafo merkezinin (TR1) ve 1 adet ticarethane (P1) lokasyonu için Faz-Nötr, Faz-Toprak ve Nötr-Toprak üzerinde ölçümlere dayalı olarak frekansa göre gürültü seviyelerinin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.37. Trafo (TR1), birinci nokta (P1) gürültü seviyeleri

Şekil 5.38' da TR1, P1 noktalarında oluşan toplam gürültü gücü gösterilmiştir.



Şekil 5.38. Trafo (TR1), birinci nokta (P1) kullanılan frekans bandındaki toplam gürültü gücü

5.4.1.1. Gürültü seviyesinin deneysel saha ölçüm sonuçları ile analizi ve yorumlanması

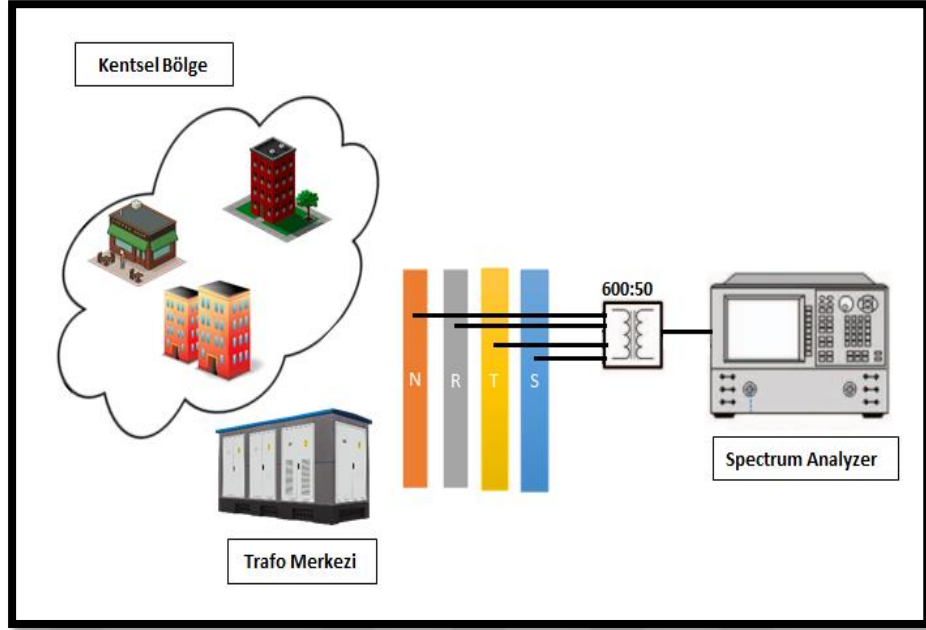
Şekil 5.37’de görüldüğü gibi farklı dalların bulunduğu bina yapılaşmasının kalabalık olduğu, kentsel yerleşime sahip yerlerde enerji hatlarında veriyi bir noktada diğerine taşımak için oldukça zorlu ortamlardır.

Radyo frekansı girişiminin yer altında kablolarda var olmadığı göz önüne alındığında, yeraltı kablolarını havai kablolar ile karşılaştırdığımızda daha az gürültülü olduğu beklenmektedir. Analizlerde diğer lokasyonlara göre gürültü seviyesi yakın olsa da PLC sistemleri için bu lokasyonun etkileri modellenen bir şekilde daha detaylı bir şekilde ortaya çıkarılması gerekebilir.

5.4.2.Hat empedansı analiz çalışması

Bu kısımdaki analizin evrensel kullanıcıların yoğun olduğu kentsel bölgedeki yer altı trafo hattına ait hat yük empedans değerinin frekansa bağlı olarak değişiminin ortaya çıkarılmasıdır.

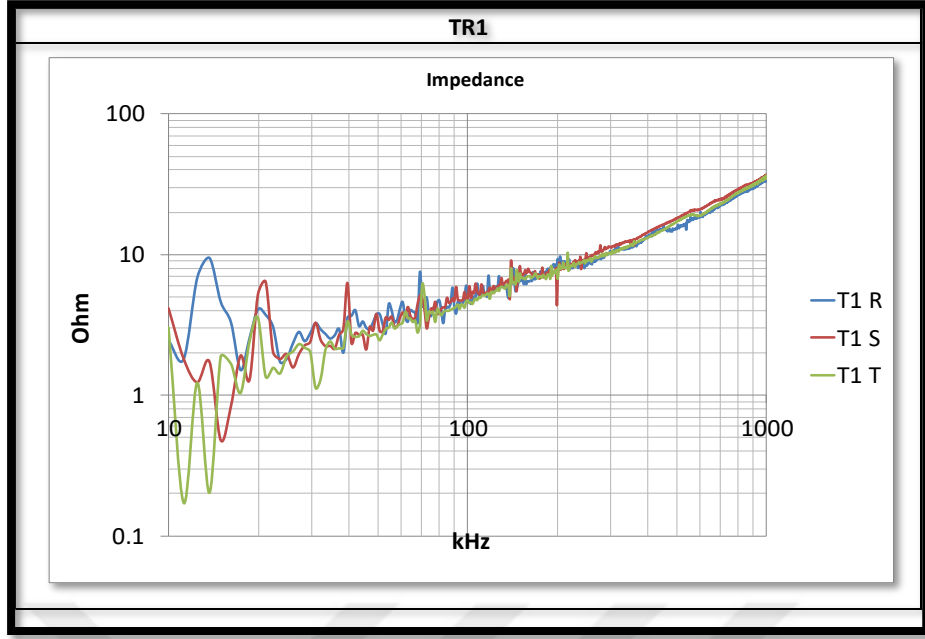
Şekil 5.39’da trafo merkezi (TR1), P1, P2 noktaları için hat empedansı ölçümü için kurulan düzenek yer almaktadır.



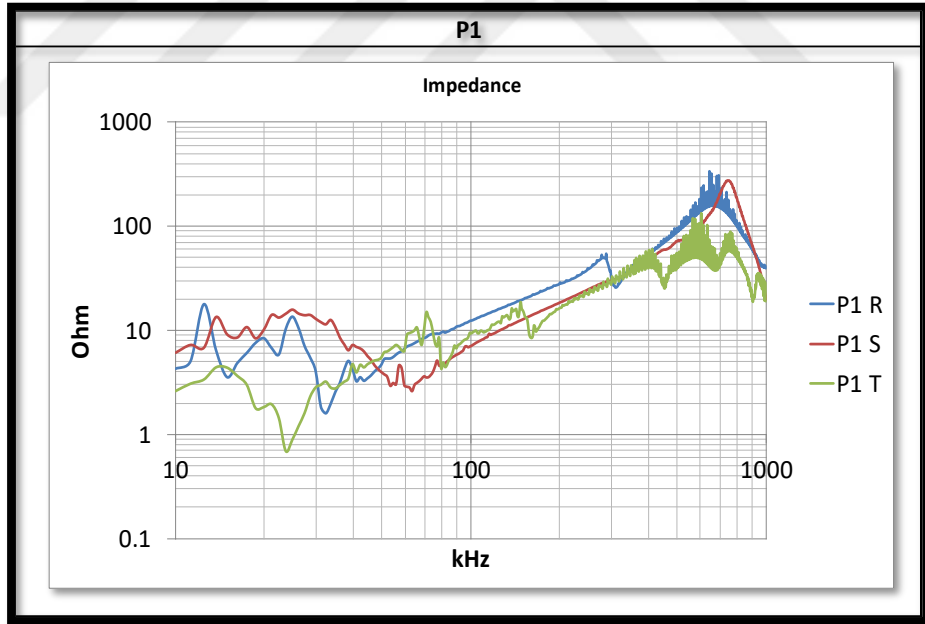
Şekil 5.39. Hat empedans ölçüm düzeneği

Şekillerde yer alan R-S-T'nin özel bir anlamı yoktur. Sadece 1.faz, 2.faz ,3.faz gibi ayırt etmek için kullanılmıştır.

Şekil 5.40 ve Şekil 5.41'de evrensel kullanıcıların yoğun olduğu kentsel bölgedeki yer altı trafo özelliğine sahip bölgede 10-1000 kHz arasında bir trafo merkezinin (TR1) ve 1 adet ticarethane (P1) lokasyonu için Faz-Nötr, Faz-Toprak ve Nötr-Toprak üzerinde yapılan ölçümlere dayalı olarak frekansa göre hat empedansın ortalama değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.40. Trafo merkezinin (TR1) hat empedans ölçümleri



Şekil 5.41. Birinci noktanın (P1) hat empedans ölçümleri

5.4.1.2. Hat empedansının deneysel saha ölçüm sonuçları ile analizi ve yorumlanması

Şekil 5.40'da trafo merkezinin (TR1) yük empedansı ortalama 5-9 Ω civarında Şekil 5.41'de bulunan P1 noktasındaki yük empedansı ortalama 7-11 Ω civarında olduğu görülmektedir. Trafo merkezinde (TR1) çok fazla tüketim olduğundan ve yük yoğunluğunun fazlalığından dolayı yük empedansının düştüğü görülmektedir. Yük yoğunluğu fazla olduğu durumlarda yük empedansı düşeceği için bu zamanlarda PLC'nin sinyalin zayıflayacağı ve PLC sisteminin veriminin tam olarak sağlıklı bir şekilde sağlanamayacağı sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu yapı için normal olmayan bir haberleşme modelinin ortaya çıkarılması gerekebilir.

5.4.2. Zayıflama analiz çalışması

Bu kısımdaki analizin evrensel kullanıcıların yoğun olduğu kentsel bölgedeki yer altı trafo hattına ait zayıflamanın frekans değişimine bağlı olarak incelenmesi ve noktasal bazlı SNR, loss değerlerinin ortaya çıkarılmasıdır.

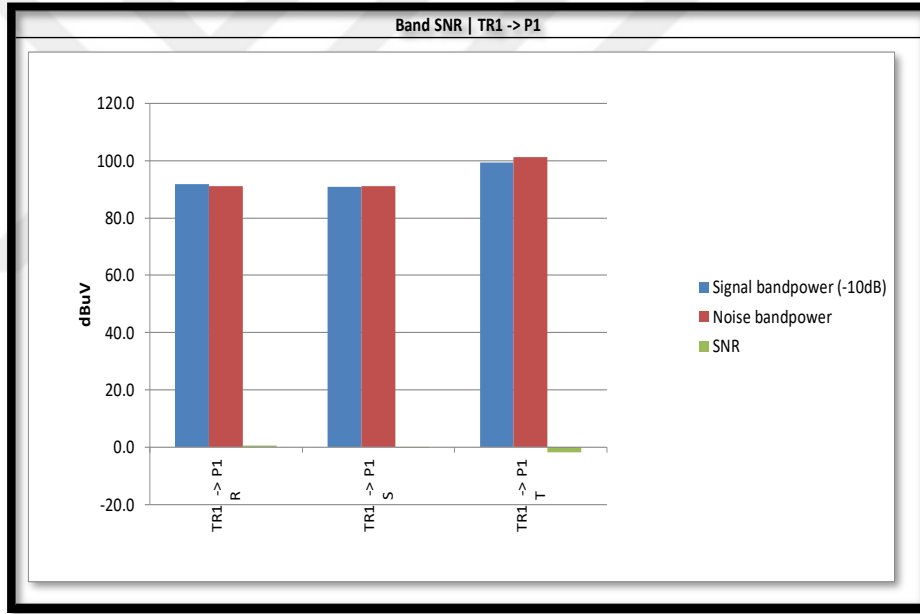
Tablo 5.8'de loasyon bazlı vericiden alıcıya doğru ölçülen hattaki gürültünün gücü ve hatta verilen sinyali gücü sonucu ile elde edilen loss ve SNR değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.8. Noktalar arası sinyal gürültü oranı (SNR) ve loss analizleri

| | TR1 -> P1 R | TR1 -> P1 S | TR1 -> P1 T |
|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Signal bandpower (-10dB) | 91.8 | 90.9 | 99.5 |
| Loss (Signal - Ref 134dBuV) | 42.2 | 43.1 | 34.5 |
| Noise bandpower | 91.2 | 91.1 | 101.3 |
| SNR | 0.6 | -0.2 | -1.8 |

5.4.2.1. Zayıflamanın deneysel saha ölçüm sonuçları ile analizi ve yorumlanması

Yüksek yük yoğunluğunun yük akım büyüklüğüne bağlı olarak oluşturduğu etken haberleşme ünitelerinde, güç ve gücün aktarımı açısından sorun oluşturmaktadır. Analizi yapmış olduğumuz lokasyon şehir merkezinde olduğundan ve 842 haneyi beslediğinden hatta oluşan gürültü, zayıflama, üst seviyelerdedir. En düşük SNR oranı sahip bu lokasyonda gürültünün ve empedansın etkili olduğu görülmektedir. Ayrıca loss değerleri buna bağlı olarak ciddi oranında arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 5.42’de TR1 noktasından P1 noktasına (TR1 -> P1) doğru R, S, T fazından ölçümler alındığı SNR değerinin grafiksel oranları gösterilmiştir.



Şekil 5.42. TR1 -> P1 SNR Değeri

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Akıllı şebeke yapısında PLC teknolojisi elektrik şebekesini ulaştığı her yere ulaşabilme imkânı açısından diğer haberleşme altyapı teknolojilerine göre bir adım öndedir. Dünya genelinde PLC teknolojisinin gelişmekte olması ve genel bir uygulama yapısının oluşmaması nedeniyle ülkeler tarafından farklı özelliklere ve alt yapıya sahip yeni protokol ve standart yayınlanmaktadır. Yeni yayınlanan bu protokollerin birlikte çalışabilme özellikleri geliştirilmeye devam edildikçe ülkeler bazında tercih edilen protokol sayısının azalacağı ve ülkeşerin ortak olarak kullanacağı en iyi sistemin ortaya çıkarılacağı beklenmektedir.

Bu çalışmada sonucunda, enerji hattı haberleşme sisteminin gürültü seviyesi, hat empedansı ve hattaki zayıflama oranları ortaya çıkmıştır. Bunun ile birlikte, enerji hattı iletişim kanalı sistem tasarımcılarına Türkiye'deki enerji hatları durumu hakkında gerekli yeni veriler sunulmuştur.

- Az gürültülü seviyesine sahip bir ortamdan, yüksek gürültülü seviyesine sahip bir ortama veri gönderimi gerçekleştirildiğinde haberleşmenin başarı oranı gittikçe düşmektedir.
- Güç hattı üzerindeki iletişim empedans SNR'den doğrudan etkilenir.
- Beklendiği gibi, Cenelec-A bandındaki tüm fazlar için empedans değerleri tüm alanlarda (kırsal, endüstriyel ve konut) genelde 10 Ω 'un altındadır. Fakat bazı yüklü trafo ve lokasyonlar 10 Ω 'un üzerinde çıkmaktadır.
- Türkiye'de elektrik şebekesinde sanayi bölgesinin gürültü seviyesi ve zayıflaması yüksektir.
- Gürültü, zamanla değişir ve bağlı olan yüklerden dolayı ortaya çıkabilir.
- Uzun enerji hatlarında gürültü dayanıklılığının az olması ve zayıflamanın fazla olması nedeniyle PLC teknolojisi iletişim amacıyla sahada kullanılmak istendiğinde repeater (tekrarlayıcı) cihazı kullanımı gerekmektedir. Bu

sebeple belirli uzak mesafelerde repeater (tekrarlayıcı) cihazının üzerinden haberleşme mesafesi ve haberleşme hızı testlerinin yapılması gerekir.

- Elektrik hattı üzerindeki iletişim sanayi bölgesinde çok riskli ve zor bir konudur. Kırsal alan ile karşılaştığımızda, zayıflama sanayi bölgesinde daha yüksektir. Kırsal bölgenin gürültü seviyesi beklendiği gibi sanayi bölgesinden daha düşüktür. Böylece, kırsal alanın SNR değeri sanayi bölgesinden daha yüksek değerdedir.
- Sanayi bölgesinde SNR değeri bazı fazlarda OdBuV altında olduğu ve kırsal ve yerleşim bölgelerinin gürültünün yüksek olduğu fazlarda da SNR değerinin OdBuV altında olduğu görülmektedir.
- Devreye alınan cihazların tipi, yapısı ve sayısına bağlı olarak enerji hattı üzerinde değişkenlik gösteren bir karakteristikler özellikler ortaya çıkmaktadır.
- Yalıtımsız güç hatlarından dolayı elektromanyetik girişim oluşmaktadır.
- Hatta yük olmaması halinde sinyal zayıflaması hattın mesafesi ile lineer olarak değiştiği ortaya çıkmıştır.
- Saha ölçüm sonucunda anlaşılabilceği üzere verilerin paket uzunluğunun artırılması haberleşme başarısı üzerinde negatif bir etki yaratmaktadır. Özellikle sayaçlardan yük profili okunması ve uzaktan yazılım güncelleme işlemleri gibi yüksek veri paketi uzunlukları gerektiren ve tek paket ile gönderilemeyen haberleşme girişimlerinde başarının diğer işlemlere göre düşük olması kaçınılmazdır.
- Konutlardaki ve sanayi bölgesindeki gürültü kaynakları olarak; o lokasyonda kullanılan cihazlar, aynı dağıtım trafosuna bağlı yakın lokasyondaki cihazlar, dağıtım trafosunun elektromanyetik radyasyondan dolayı ortaya çıkarak lokasyondaki elektrik şebekesinin devresine giren arkaplan gürültüsü şeklinde listelenebilir.
- Gürültü konusunda alçak gerilim şebekelerinde çalışmalar, ölçümler ve deneyler sonucunda, gürültü seviyesinin oluşması önemli ölçüde hane içinde ve aynı dağıtım şebekesinde bulunan diğer hanelerdeki cihazların

kullanılmasına (açma/kapama anlarına) bağlı olarak oluştuğu gözlemlenmiştir.

- Donanım kısmında üreticiler genelde standart hat empedansını düşünerek testlerini yaptıkları için şebeke empedansı 10 Ω olarak kabul ediliyor fakat belirttikleri değerlere sanayi bölgeleri gibi yük yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde oluşması zor.
- Dağıtım transformatörünün empedansı frekansla beraber artar.
- Şebeke yükleri doğrusal olmayan bir davranış sergiler ve kanal performansı tahminini zorlaştıran kablo kanal parametrelerinin frekans, zaman ve konum ile değişmesi durumu sebebiyle PLC sistemlerinde çalışma verimleri düşmektedir.
- Genel olarak, fazla yüklenmiş trafo bölgeleri olmadığı durumlarda, şebekedeki gürültü sinyallerinin normal seviyelerde olduğu görülmektedir.
- Anten radyo frekansı girişiminin yer altında var olmadığı göz önüne alındığında, yeraltı kablolarını havai kablolar ile karşılaştırdığımızda daha az gürültülü olduğu görülmüştür.

6.2. Öneriler

- Bu çalışmada sadece CENELEC standartlarına uygun frekanslar da enerji iletim hattı gürültü seviyesi empedansı ve hat zayıflaması ölçümleri yapılmıştır. Yüksek hızlarda iletişim için farklı standartlar kullanılarak enerji hattı empedansı ölçümleri yapılabilir.
- Bu çalışmanın kapsamı sadece Dicle bölgesi ile sınırlıdır. PLC teknolojisi yaygınlaştırmaya ilişkin önce enerji hatlarının parametrelerinin ortaya çıkartılması, oluşan gürültü, zayıflama, yansıma ve yüklerinin modellenmesi kapsamında Türkiye'nin değişik bölge, kent ve kırsallarında tekrarlanarak Türkiye hakkında daha geniş kapsamlı veriler elde edilebilir.
- Ölçümler kasım ayında yapılmıştır. Yapılacak ölçümlerin belli dönemlere (mevsimler) göre göre veya gerekirse yıl boyu ve tam gün periyotlarla tekrarlanması ülkemiz için PLC teknolojisi kapsamında en gerçekçi verileri

verecektir. Çünkü mevsimlere göre ve gün boyu saat kullanımına göre parametreler değişmektedir. Mevsimlere göre tarımsal sulamanın yoğun olduğu ve kış aylarında enerji tüketiminin üst seviyelere çıkması sonuçları değiştirmektedir.

- Analizler sonucunda bölgesel bazlı düşük gürültülü şebeke alanlarında farklı PLC protokol seçimleri yapılması gerekir.
- Yapılan ölçümler sonucunda (sanayi kentsel ve kırsal alanlar gibi) aynı bölgede ölçümler yapılmasına rağmen hat parametreleri farklılıklar göstermektedir. Bu tür ölçümleri tüm ülke bazında ve olabildiğinde farklı özelliklere sahip lokasyonlarda yapılması durumunda daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilir. Böylece enerjisi fiderindeki deki voltaj değişimlerinin görülmesi için şebeke analizör ile OG ve AG seviyelerinde sürekli izlenimler yapılması gerekebilir.
- CENELEC-A bandında PLC sistemi kullanımı devam edilirse akıllı şebeke kapsamında sürekli artmaya devam eden veri boyutları nedeniyle haberleşmenin sağlıklı sağlanabilmesi için haberleşme paketi uzunluklarının düşürülmesi için belirli sıkıştırma algoritmalarının gelişimi ve kullanımlarının standartlar dâhiline alınması gerekir.
- Haberleşmenin daha kaliteli ve gürültü sinyallerinden bağımsız gerçekleştirilebilmesi için filtre devreleri tasarlanıp simülasyonu gerçekleştirilip ve daha sonra sistem üzerinde test edilmesi gerekir.
- Şebeke yapısının ülkeden ülkeye ve bölgeden bölgeye değişim göstermesine karşılık olarak çalışmalarda özellikle PLC'nin fiziksel katmanda bölgesel özelliklere göre uyarlanabilir bir PLC protocol yapısı üzerinde çalışmaları yapılmalıdır. Çünkü enerji iletim hatları veri iletimi için tasarlanmamıştır bu nedenle alçak geçiren filtre şeklinde davranır. Bunları söz önüne alıp şebekeye göre bir modülasyon tercihi yapılması gerekir.
- Alçak ve orta gerilim hatlarında çalışabilir, alçak gerilim - orta gerilim geçişini destekleyebilen bir PLC yapısı seçilmesi gerekir.

KAYNAKLAR

- Al-Mawali Khalifa S., Al-Qahtani Fawaz S., Hussain Zahir M., 2010. Adaptive power loading for ofdm-based power line communications impaired by impulsive noise. IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications (ISPLC 2010), 28-31 March, Brazil, 178–182.
- Aslan G., 2007. Enerji Hatları Haberleşmeciliği Ve Modellemesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans, 66, Ankara.
- Bausch J., Kistner T., Moreau A., Sauvage S., Milanini, S, 2005. Advanced "Orphelec" test equipment and novel test procedures, International Symposium on Power Line. Communications and Its Applications, 6-8 April 2005, Canada.
- Bayram R., 2010. Enerji Hatları Üzerinden Haberleşme Teknikleri. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 50, Kütahya.
- Berger L. T., A., Schwager P. Pagani, Schneider D., 2017. MIMO Power Line Communications: Narrow And Broadband Standards, Etc, And Advanced Processing. CRC Press,710,France.
- Berger L. T., Schwager A., Pagani P., Schneider D.M., 2014. MIMO Power Line Communications. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17,1,106-118.
- BP, 2016. BP Statistical Review of World Energy Report.48.
- Cavdar H., Karadeniz E., 2008. Measurements of Impedance and Attenuation at CENELEC Bands for Power Line Communications Systems.Sensors, 8027-8036.
- Chan M. H. L., Donaldson R. W., 1986. Attenuation of Communication Signals on Residential and Commercial Intrabuilding Power-Distribution Circuits. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 28,4, 220-228.
- Cheng Xilin, Cao Rui, Yang Liuqing, 2011. On the System Capacity of Relay-Aided Powerline Communications. 2011 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, 3-6 April 2011, Italy, 162-165.
- Çakır O., 2005. Güç Hattı Haberleşme Sisteminin Modellenmesi ve Sümilasyonu. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 87, Trabzon.
- Dal N., 2013. Enerji Hatları Üzerinden Haberleşmede İletişim Frekansı Etkisinin Ysa İle Analizi Ve Bir Haberleşme Sisteminin Geliştirilmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 177, Ankara.

- Değermenci T., 2007. Enerji Hatları Üzerinden Delta Modulasyonlu Ses İletimi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans, 83, Trabzon.
- Enerji Haber, 2017.Dünya'nın yaklaşık 45 yıllık bir petrol rezervi kaldı. Erişim Tarihi: 17.05.2019. <http://www.enerjihaber.com/dunya-nin-yaklasik-45-yilik-bir-petrol-rezervi-kaldi/4714/%20http://inonu.edu.tr/tr/59>.
- Ferreira H. C., Grove, H. M., Hooijen O. Han Vinck,A.J., 1996. Power Line Communications: An Overview.AFRICON Conference, 27-27 Sept. 1996, South Africa, 558-563.
- Fiorelli R., Colombo, M., 2012. ST7580 power line communication system-on-chip design guide,AN4068 ,Application note,63.
- Gracht P. K., Donaldson, R., 1985. Communication Using Pseudo Noise Modulation on Electric Power Disturbance Circuit. IEEE Trans. on Communications, 33, 9, 964-975.
- Işık D., 2010 Powerline Communication. Erişim Tarihi: 17.05.2019. <http://www.isikdogan.com/turkce-blog/powerline-communication.html>
- Karadeniz E., 2006. Enerji Hattı Haberleşme Sisteminde Empedans Ve Zayıflatmanın Belirlenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans, 136, Trabzon.
- Kırmızıoğlu E., 2016. Akıllı Şebeke Stratejileri ve Örnek Projeler. Erişim Tarihi: 17.05.2019. http://www.emo.org.tr/ekler/b790c8dde17d8bf_ek.pdf.
- Lopez Gregorio , Moreno Jose Ignacio , Sanchez Eutimio , Martinez Cristina Martin Fernando, 2017. Noise Sources, Effects and Countermeasures in Narrowband Power-Line Communications Networks: A Practical Approach. MDPI, 1075, France.
- Malack John A., Engstrom John R., 1976. RF Impedance of United States and European Power Lines, IEEE Trans. Electromag. Compat, EMC-18,1, 36-38.
- Malack John A., Engstrom John R., Aggregate European Power Line Impedance, IBM Electromagnetic Compatibility Laboratory.
- Nicholson J.R., Malack,R. A., 1976. RF Impedance of Power Lines and Line Impedance Stabilization Networks in Conducted Interference Measurements. IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, EMC-15, 2, 84-86.

- Sönmez M., A., 2014. Alçak Gerilim Enerji Hatlarında Darband Haberleşme İçin Gürültülerin Sınıflandırılması, Modellenmesi Ve Kanal Empedans Ölçümü. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans, 111, İstanbul.
- Şahin İ., 2018. İletim ve Dağıtım Sistemlerinde Enerji Verimliliği ve Akıllı Şebekeler. 12.
- Tanaka Masaoki. 1988. High frequency noise power spectrum, impedance and transmission loss of power line in Japan on intrabuilding power line communications. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 34, 2, 321-326.
- Tonello Andrea M., Jian Song, Stephan Weiss, Fang Yang, 2012. PLC for the Smart Grid: State-of-the-Art and Challenges. 4th International Conference on Communications, Mobility and Computing (IEEE), 2-4.
- Türkiye Doğal Gaz Dağıtıcıları Birliği, 2017. Akıllı Şebekeler. 8.
- Vines Roger M., Trussell, H. J. , Gale, L. J ve O'Neal, J.,1984. Noise on Residential Power Distribution Circuits. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, EMC-26, 4, 161-168.
- Vines Roger M., Trussell H. Joel, Shuey Kenneth C., O'Neal J. B., 1985. Impedance of the Residential Power-Distribution Circuit. IEEE Transactions on Electromagnetic, EMC-27, 1, 6-9.
- Yılmaz G., 2004. Simetrik Haberleşme Kablolarında Birincil Parametrelerin Frekansla Değişiminin Deneysel İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Bursa.
- 3e electrotech, 2018. Akıllı Şebeke Uygulamalarında Enerji Hatları Üzerinden Haberleşme Teknolojisinin Kullanımı. Erişim Tarihi: 17.05.2019.
<http://www.3electrotech.com.tr/arsiv/yazi/147-akilli-sebeke-uygulamalarinda-enerji-hatlari-uzerinden-haberlesme-teknolojisinin-kullanimi/>.

EKLER

EK A. Fotoğraflar

A.1.Oraganize Sanayi Bölgesi Gibi Yüksek Gürültü Seviyesine Sahip Aşırı Yükteki Trafo Hattı



A.2. 250-800m Arası Havai Hat Uzunluğuna Sahip Yoğun Kullanıcısı Olan Kırsal Böldedeki Trafo Hattı

TR1 Lokasyon



P1 Lokasyon



P2 Lokasyon



P3 Lokasyon



A.3. 150-300m Arası Havai Hat Uzunluğuna Sahip Az Kullanıcısı Olan Kırsal Bölgedeki Trafo Hattı

TR1 Lokasyon



P1 Lokasyon



P2 Lokasyon



A.4. Evrensel Kullanıcıların Yoğun Olduğu Kentsel Bölgedeki Yer Altı Trafo Hattı

TR1 Lokasyon

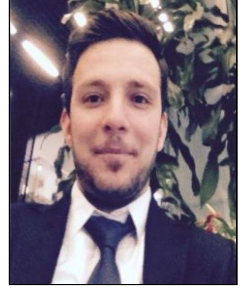


P1 Lokasyon



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Erhan BAYCAN
Doğum Yeri ve Yılı : SİİRT, 01.05.1992
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : erhan-bycn@hotmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Vefa Poyraz Anadolu Lisesi, 2009
Lisans : Beykent Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği
Yüksek Lisans : İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Mesleki Deneyim

| | |
|-----------------------------------|------------------------|
| Bilgi Sistemleri San. Ve Tic. A.Ş | 2015-2016 |
| Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş | 2016-...(devam ediyor) |

Yayınları

Baycan, E.,Ertürkler, H.İ.,Saraç,M.S.,Yarkan,S. 2018. Statistical Characterization of Noise for Power Line Communications Channels: Field Measurements, 11th International Symposium on Communication Systems, Networks & Digital Signal Processing (CSNDSP),IEEE.