

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RAYLI SİSTEMLERDE KABLOSUZ HABERLEŞME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Serhat BOYNUKALIN**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Raylı Sistemler Mühendisliği Yüksek Lisans Programı**

**Tez Danışmanı: Dr. H. Bülent YAĞCI**

**HAZİRAN-2017**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RAYLI SİSTEMLERDE KABLOSUZ HABERLEŞME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Serhat BOYNUKALIN**

**(526141016)**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Raylı Sistemler Mühendisliği Yüksek Lisans Programı**

**Tez Danışmanı: Dr. H. Bülent YAĞCI**

**05.2017**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 526141016 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Serhat BOYNUKALIN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “RAYLI SİSTEMLERDE KABLOSUZ HABERLEŞME” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**     **Dr. H. Bülent YAĞCI**     .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**       **Prof. Dr. Salman Kurtulan**     .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Yrd. Doç. Dr. Serdar KARGIN**     .....  
Beykent Üniversitesi

**Teslim Tarihi**        **: 5 Mayıs 2017**

**Savunma Tarihi**     **: 6 Haziran 2017**



*Bu zorlu tez sürecinde benden desteğini ve anlayışını esirgemeyen  
sevgili eşim Elif BOYNUKALIN'a teşekkür ederim.*





## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında Türkiye’deki raylı sistem sahalarında sinyalizasyonlu alanlara yardımcı olarak çalışacak ve yeni veri aktarım taleplerinin yükünü var olan sistem ile paylaşarak sistemi rahatlatabilecek veya sinyalizasyonsuz alanlarda kendi başına bir çözüm olarak düşünülebilecek sistemler geliştirilmeye çalışılmıştır.

Öncelikle tez danışmanım Sayın Dr. H. Bülent YAĞCI hocama, tezimin ve tezime alt yapı oluşturan diğer çalışmalarımın her aşamasında bana verdiği destek ve motivasyon için teşekkürlerimi sunarım.

Üzerimdeki emeği, tez çalışmam için kullandığım raylı sistemler makas donanımını ve diğer önemli malzemeleri RSM Lab.’a kazandırdığı için değerli hocam ve bölüm koordinatörümüz Sayın Prof. Dr. Turan SÖYLEMEZ’e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca gerek tezim için kullanacağım donanımların gerçekleşmesinde, gerekse tez yazım aşamalarında yardımlarını esirgemeyen Sayın Yüksek Mühendis Ared PONTİOĞLUNA desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Türkiye’de raylı sistemler ve radyo haberleşmesi üzerine AR-GE faaliyetlerinde bulunan ABE Teknoloji ailesine, tezim için kullandığım malzemelerin sıfırdan tedariki ve aktif projelerdeki malzemelerin kullanımı konusundaki yardımlarından dolayı müteşekkirim. Ayrıca ABE Teknoloji’deki bazı projeler TÜBİTAK destekleri ile yürütülmektedir. Bu anlamda TÜBİTAK’a da tez çalışmamda olan dolaylı katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Mayıs 2017

Serhat

BOYNUKALIN



# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>ix</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>xv</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xvii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xix</b>
<b>1 GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2 ÇALIŞMASI YAPILACAK SAHA ELEMANI</b> .....	<b>10</b>
2.1 Makas .....	10
2.1.1 Makas indikasyonları .....	11
2.1.2 İndikasyonların yorumlanması.....	12
2.2 Hatalı veri aktarımına neden olabilecek durumların analizi (FTA) .....	12
<b>3 DATABASE (VERİ DEPOSU)</b> .....	<b>14</b>
<b>4 HABERLEŞME PROTOKOLÜ (SOAP)</b> .....	<b>16</b>
4.1 Kullanıcı tarafı durum bilgisini internet üzerinden gönderme yöntemi .....	17
4.1.1 SOAP 1.1 .....	18
4.1.2 SOAP 1.2 .....	19
4.1.3 HTTP GET .....	20
4.1.4 HTTP POST .....	21
4.2 Kullanıcı tarafı durum bilgisini “ComPort” üzerinden gönderme yöntemi .....	22
4.2.1 SOAP 1.1 .....	23
4.2.2 SOAP 1.2 .....	24
4.2.3 HTTP GET .....	25
4.2.4 HTTP POST .....	26
<b>5 GELİŞTİRİLEN YAZILIMLAR VE SİL GÜVENLİK TESTLERİ</b> .....	<b>28</b>

<b>6</b>	<b>HABERLEŞME ÇEŞİTLERİ VE MAKAS VERİLERİNİN TAŞINMASI</b>	<b>34</b>
6.1	İnternet üzerinden haberleşme	35
6.1.1	İnternet yakın alan haberleşmesi	36
6.1.1.1	Yakın alan kablolu haberleşme	37
6.1.1.2	Yakın alan kablosuz haberleşme (IEEE 802.11b/g/n 2.4GHz)	41
6.1.2	İnternet uzak alan haberleşmesi	44
6.1.2.1	LTE haberleşmesi	45
6.1.2.2	Kablolu (ADSL, fiber) haberleşmesi	52
6.2	PDR221 ile UHF üzerinden haberleşme	58
6.3	Dorji DRF1278DM(Lora) ile UHF üzerinden haberleşme	63
6.4	802.11p üzerinden haberleşme	66
<b>7</b>	<b>İLETİM EŐİTLERİ KIYASLAMASI</b>	<b>70</b>
<b>8</b>	<b>SONU</b>	<b>72</b>
<b>9</b>	<b>KAYNAKLAR</b>	<b>74</b>
<b>10</b>	<b>EKLER</b>	<b>75</b>
<b>ÖZGEMİŐ</b>		<b>76</b>

## KISALTMALAR

<b>BS EN 50128:2011</b>	: <b>BRITISH STANDARD:</b> Railway applications - Communication, signalling and processing systems Software for railway control and protection systems
<b>CENELEC</b>	: European Committee for Electrotechnical Standardization - Avrupa Elektroteknik Standartlaştırma Komitesi
<b>Com Port</b>	: <u>C</u> ommunicaiton <u>P</u> ort - Haberleşme Portu
<b>CTS</b>	: <u>C</u> lear to <u>S</u> end - Göndermeye Hazır
<b>DSR</b>	: <u>D</u> ata <u>S</u> et <u>R</u> eady - Veri Seti Hazır
<b>ERTMS</b>	: <u>E</u> uropean <u>R</u> ailway <u>T</u> raffic <u>M</u> anagement <u>S</u> ystem Avrupa Demiryolu Trafik Yönetim Sistemi
<b>ETCS</b>	: <u>E</u> uropean <u>T</u> rain <u>C</u> ontrol <u>S</u> ystems - Avrupa Tren Kontrol Sistemi
<b>FTA</b>	: <u>F</u> ault <u>T</u> ree <u>A</u> nalysis - Hata Ağacı Analizi
<b>GSM</b>	: <u>G</u> lobal <u>S</u> ystem for <u>M</u> obile Communication - Küresel Mobil Haberleşme
<b>GSM-R</b>	: <u>G</u> lobal <u>S</u> ystem for <u>M</u> obile Communication - <u>R</u> ailway Raylı Sistem için Küresel Mobil Haberleşme
<b>HTTP</b>	: <u>H</u> yper- <u>T</u> ext <u>T</u> ransfer <u>P</u> rotocol, Hiper -Metin Transfer Protokolü
<b>IEEE</b>	: <u>I</u> nstitute of <u>E</u> lectrical and <u>E</u> lectronics <u>E</u> ngineers-Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
<b>İTÜ</b>	: <u>İ</u> stanbul <u>T</u> eknik <u>Ü</u> niversitesi
<b>LTE</b>	: <u>L</u> ong <u>T</u> erm <u>E</u> volution - Uzun Vadeli Evrim
<b>NTP</b>	: <u>N</u> etwork <u>T</u> ime <u>P</u> rotocol - Ağ Zaman Protokolü
<b>RAM</b>	: <u>R</u> andom <u>A</u> ccess <u>M</u> emory - Rastgele Erişimli Bellek
<b>RPC</b>	: <u>R</u> emote <u>P</u> rocedure <u>C</u> all, Uzak veya Yakın Alan Paylaşımlı Bilgisayarlar
<b>RSM Lab</b>	: <u>R</u> aylı <u>S</u> istem <u>M</u> ühendisliği <u>L</u> aboratuvarı
<b>Server</b>	: Sunucu
<b>SIL</b>	: <u>S</u> afety <u>I</u> ntegrity <u>L</u> evel - Güvenlilik Bütünlük Seviyesi
<b>SOAP</b>	: <u>S</u> imple <u>O</u> bject <u>A</u> ccess <u>P</u> rotocol - Basit Nesne Erişim Protokolü

**SQL Server** : Structured Query Language Server - Yapılandırılmış Sorgu Dili Sunucusu

**UHF** : Ultra High Frequency - Ultra Yüksek Frekans

**WAN** : Wide Area Network - Uzak Alan Ağı

**XML** : eXtensible Markum Language - Genişletilebilir İşaretleme Dili



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1: Maden ocaklarında kullanılan ilk raylı sistem araçları .....	1
Şekil 2: Richard Trevithick, 1804 buharlı vagon icadı ve hızlıca gelişen yük taşımacılığı .....	2
Şekil 3: GSM-R ses ve veri haberleşme servisleri.....	3
Şekil 4: 900 MHz bandında GSM-R, GSM, UMTS ve LTE için ayrılmış bant genişliği görülmektedir [14]. .....	4
Şekil 5: Ankara-Konya hattı ETCS Seviye 2 araç üstü donanımları.....	5
Şekil 6: ERTMS seviye 2 haberleşme yapısı.....	6
Şekil 7:Trenlere hareket kabiliyeti kazandıran makaslara örnek.....	6
Şekil 8: Radyo haberleşmesi genel sistem diyagramı .....	7
Şekil 9: Makas örneği .....	11
Şekil 10: Kısmi FTA (olasılıkları bilinmeyen eleman içeren).....	13
Şekil 11: Veri deposu tablosunda oluşturulan parametreler .....	15
Şekil 12: SOAP Mesaj yapısı .....	16
Şekil 13: “Browser” üzerinden servisin test arayüzü .....	18
Şekil 14: “Browser” üzerinden servisin test ara yüzü .....	22
Şekil 15: Visual Studio 2015 uygulamaların projesi .....	28
Şekil 16: Seri port terminal uygulaması .....	29
Şekil 17: Web servis uygulaması.....	30
Şekil 18: Makas durumunu değiştiği anda ekranda gösteren uygulama.....	31
Şekil 19: Makas, röle, RS232 ve bilgisayar test ortamında.....	34
Şekil 20: RS232-Röle-bilgisayar bağlantısı.....	35
Şekil 21: Seçilen modem, TP-LINK TL-MR6400 300Mb 4G LTE WiFi N ROUTER SIM .....	36
Şekil 22: Yakın alan haberleşme diyagramı .....	37
Şekil 23: Kablolü yakın alan yoluyla haberleşme diyagramı. ....	38
Şekil 24: Makasın normale çekilmesinin sunucu tarafında kayıt altına alınması ve indikasyon uygulaması ile gösterilmesi. ....	39
Şekil 25: Makasın sapanı çekilmesinin sunucu tarafında kayıt altına alınması ve indikasyon uygulaması ile gösterilmesi. ....	39
Şekil 26: Makasın hem sapan hem de normal geri besleme vermesinin sunucu tarafında kayıt altına alınması ve indikasyon uygulaması ile gösterilmesi. ....	40
Şekil 27: Makasın hem sapan veya normal geri besleme vermemesinin sunucu tarafında kayıt altına alınması ve indikasyon uygulaması ile gösterilmesi. ....	40
Şekil 28: SQL verileri.....	41
Şekil 29: Kablolü yakın alan yoluyla haberleşme diyagramı. ....	42
Şekil 30: Makasın normale çekilmesinin sunucu tarafında kayıt altına alınması ve indikasyon uygulaması ile gösterilmesi. ....	42

<b>Şekil 31:</b> Makasın sapana çekilmesinin sunucu tarafında kayıt altına alınması ve indikasyon uygulaması ile gösterilmesi. ....	43
<b>Şekil 32:</b> Makasın hem sapan hem de normal geri besleme vermesinin sunucu tarafında kayıt altına alınması ve indikasyon uygulaması ile gösterilmesi. ....	43
<b>Şekil 33:</b> Makasın hem sapan veya normal geri besleme vermemesinin sunucu tarafında kayıt altına alınması ve indikasyon uygulaması ile gösterilmesi. ....	44
<b>Şekil 34:</b> SQL kayıtları .....	44
<b>Şekil 35:</b> Uzak alan haberleşme diyagramı.....	45
<b>Şekil 36:</b> LTE uzak alan yoluyla haberleşme diyagramı. ....	46
<b>Şekil 37:</b> Makas üzerinden tetiklenen verinin uzak alana WiFi üzerinden çıkıp sunucuya veri göndermesi .....	47
<b>Şekil 38:</b> İndikasyon uygulaması ile veri değişiminin gösterilmesi .....	48
<b>Şekil 39:</b> SQL Server’da depolanan veri .....	49
<b>Şekil 40:</b> Makas üzerinden tetiklenen verinin uzak alana WiFi üzerinden çıkıp sunucuya veri göndermesi .....	50
<b>Şekil 41:</b> İndikasyon uygulaması ile veri değişiminin gösterilmesi .....	51
<b>Şekil 42:</b> SQL Server’da depolanan veri .....	52
<b>Şekil 43:</b> Kablolu uzak alan yoluyla haberleşme diyagramı.....	52
<b>Şekil 44:</b> Makas üzerinden tetiklenen verinin uzak alana WiFi üzerinden çıkıp sunucuya veri göndermesi .....	53
<b>Şekil 45:</b> İndikasyon uygulaması ile veri değişiminin gösterilmesi .....	54
<b>Şekil 46:</b> SQL’ de depolanan veri.....	55
<b>Şekil 47:</b> Makas üzerinden tetiklenen verinin uzak alana WiFi üzerinden çıkıp sunucuya veri göndermesi .....	56
<b>Şekil 48:</b> İndikasyon uygulaması ile veri değişiminin gösterilmesi .....	57
<b>Şekil 49:</b> SQL Server’da depolanan veri .....	58
<b>Şekil 50:</b> RADIUS PDR 221, UHF radyo cihazı.....	58
<b>Şekil 51:</b> UHF Cihazı saha testi.....	59
<b>Şekil 52:</b> UHF radyo yoluyla haberleşme diyagramı.....	60
<b>Şekil 53:</b> PDR 221 UHF radyo’ dan gönderilen makas konumları .....	60
<b>Şekil 54:</b> Makasın normale çekilmesini sunucu tarafının algılaması. ....	61
<b>Şekil 55:</b> Makasın sapana çekilmesini sunucu tarafının algılaması.....	61
<b>Şekil 56:</b> Makasın sapanda ve normalde olmasının sunucu tarafından algılanması. ....	62
<b>Şekil 57:</b> Makasın hem sapanda hem de normalde olduğunun sunucu tarafından algılanması. ....	62
<b>Şekil 58:</b> SQL kayıtları. ....	63
<b>Şekil 59:</b> Lora data (veri) modem .....	63
<b>Şekil 60:</b> Lora test edilen menzile, İTÜ Arı 3 – Garipçe Sırtları (Sarıyerin Üstü).....	64
<b>Şekil 61:</b> Lora haberleşme blok diyagramı .....	64
<b>Şekil 62:</b> Makasın Lora üzerinden simüle edilmesi.....	65
<b>Şekil 63:</b> Makasın simüle edilmesine ilişkin loglar .....	65
<b>Şekil 64:</b> Cohda Wireless MK5 802.11p cihazı.....	66



<b>Şekil 65:</b> 802.11p MK5 saha testi.....	67
<b>Şekil 66:</b> Cohda Wireless haberleşme blok diyagramı.....	67
<b>Şekil 67:</b> Makas tarafından gönderilen verilerin kayıtları “tx.pcap” (sağ taraftaki), sunucu aldığı kayıtlar “rx.pcap” (sol taraftaki) wireshark uygulaması ile incelenmesi.....	68

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 1:</b> Demiryolu haberleşmesinde hali hazırda kullanılan ve alternatif olarak önerilen teknolojilerin kıyaslanması .....	9
<b>Tablo 2:</b> FTA temel elamanlar gösterimi .....	12
<b>Tablo 3:</b> Veri deposu içinde tablo oluşturma scripti .....	15
<b>Tablo 4:</b> kullanıcı tarafı durum bilgisini internet üzerinden gönderme yönteminin SOAP 1.1 için haberleşme yapısı.....	19
<b>Tablo 5:</b> kullanıcı tarafı durum bilgisini internet üzerinden gönderme yönteminin SOAP 1.2 için haberleşme yapısı.....	20
<b>Tablo 6:</b> kullanıcı tarafı durum bilgisini internet üzerinden gönderme yönteminin HTTP GET için haberleşme yapısı .....	21
<b>Tablo 7:</b> kullanıcı tarafı durum bilgisini internet üzerinden gönderme yönteminin HTTP POST için haberleşme yapısı .....	22
<b>Tablo 8:</b> Kullanıcı tarafı durum bilgisini “ComPort” üzerinden gönderme yönteminin SOAP 1.1 için haberleşme yapısı.....	24
<b>Tablo 9:</b> Kullanıcı tarafı durum bilgisini “ComPort” üzerinden gönderme yönteminin SOAP 1.2 için haberleşme yapısı.....	25
<b>Tablo 10:</b> Kullanıcı tarafı durum bilgisini “ComPort” üzerinden gönderme yönteminin HTTP GET için haberleşme yapısı .....	26
<b>Tablo 11:</b> Kullanıcı tarafı durum bilgisini “ComPort” üzerinden gönderme yönteminin HTTP POST için haberleşme yapısı .....	27
<b>Tablo 12:</b> Şekil 9’un İndikasyonları.....	29
<b>Tablo 13:</b> BS EN 50128:2011, SIL standartlarına göre testi yapılan özellikler.....	33
<b>Tablo 14:</b> Makas verilerinin iletim şekillerinin ms cinsinden hız kıyaslaması.....	70



## RAYLI SİSTEMLERDE KABLOSUZ HABERLEŞME

### ÖZET

Avrupa Demiryolu Trafik Kontrol Sistemi (ERTMS) ilk tren komut-kontrol ve tren-yer haberleşmesini tanımlayan uluslararası haberleşme standardıdır. ERTMS' nin iki temel birimi vardır. Birincisi Avrupa Tren Kontrol Sistemi (ETCS)' dir. İkincisi ise GSM-R (Global System for Mobile Communication for Railway)'dır ve ERTMS' nin seviye 2 ve seviye 3' teki haberleşme arayüzüdür. Avrupa ülkeleri 1980'lerin sonlarında özellikle yüksek hızlı tren taşımacılığında ülkeler arası geçişlerde veya ülke içindeki farklı hatlardaki geçişlerde haberleşme birimleri arasında ortak çalışabilirliğin olmaması nedeniyle yaşanan problemlerin önüne geçmek için standart geliştirme ihtiyacını duymuşlardır. Bu standardın iki önemli servisi vardır.

- Raylı sistemlerin haberleşme uygulamaları için farklı servisleri için öncelikli kanal yönetimi yapmak
- Sesli arama özelliğinde dinamik adresleme ve grup aramaları yapmak

Zamanla artan verim ihtiyacı GSM-R' ın sağladığı temel iki serviste kapasite problemlerini birlikte getirmiştir. Bundan dolayı alternatif çözümler geliştirilme ihtiyacı doğmuştur. Tezin konusu özellikle GSM-R' ın veri bağlantısı servisine yardımcı servis veya alternatif sunabilmektir. Bunun için temel olarak makas durum verilerinin hattan alınıp araç üstündeki mantık birimine taşınması ele alınmıştır.

Yapılan prototip çalışmasında hattaki makasın durum bilgisini RS232 ile röle üzerinden okuyan ve bu okuduğu bilgiyi UHF veya internet bağlantısı üzerinden araç üstündeki mantık bloğuna aktaran terminal uygulaması geliştirilmiştir. Araç üstü için bütün sistemlerin ortak yerden haberleşmesine olanak sağlayan, gerekirse farklı yazılım dilleri arasında haberleşmeyi destekleyen ve makas durum bilgilerini alıp bir veri deposuna kayıt eden web servis yazılmıştır. Ayrıca gelen verilere göre makasın sapanda mı normalde mi olduğunu, hangi anda durumunun değiştiğini ve durum değişikliği bilgisinin ne zaman mantık birimine ulaştığını gösteren indikasyon yazılımı da geliştirilmiştir.

Tezin konusu makasın durum bilgisinin üretilmesi değil bu bilginin üretildikten sonra güvenli bir şekilde mantık birimine taşınması ve verinin taşınma şekline farklı alternatifler sunularak sonuçta sistemlerin performansları veri aktarım hızı, destekledikleri mesafe açısından incelemektir. Makasta oluşan durum bilgilerinin makas bölgesinden araç üstüne aktarılması için aşağıdaki yollar ile denenmiş ve incelenmiştir.

- 802.11p ile doğrudan radyo yayını modunda haberleşme
- UHF radyo ile Master /Slave modunda haberleşme

- Modem üzerinden yakın alanda WiFi (IEEE 802.11b/g/n 2.4GHz) ve Ethernet üzerinden haberleşme
- Uzak alan LTE veri hattı ile modem üzerinden gelen veriyi yakın alanda WiFi (IEEE 802.11b/g/n 2.4GHz) ve Ethernet ile haberleşme
- Uzak alan fiber veri hattı ile modem üzerinden gelen veriyi yakın alanda WiFi (IEEE 802.11b/g/n 2.4GHz) ve Ethernet ile haberleşme



# WIRELESS COMMUNICATION ON RAILWAY SYSTEMS

## SUMMARY

ERTMS is the first international communication standard which defined the train command- control and train-ground communication. ERTMS has two key elements. The first one is ETCS that is Automatic Train Control Protection (ATP) system and the second one is GSM-R which is a radio network for railway voice and data service provider. GSM-R is the communication interface of ERTMS at advanced levels of 2 and 3. At late 1980's European countries has suffered from the compatibility problems specially caused by the different communication interfaces when high speed trains were changing country or within same country but with route segments differ in communication standards. To eliminate this problems, the European countries had to find out a common communication standard. The standard provides two important service.

- Channel priority management for different services of railway system communication applications
- Dynamic addressing and group calls with voice call feature

As the time elapse, increased sufficiency requirements has brought up lack of capacity problem at GSM-R two main services. So, there are two ways to solve the problem.

1. Supportive action to GSM-R
2. Transition to new technologies like LTE-R, UHF etc.

First way is mainly focused on supportive action on GSM-R, like carrying some of data with alternative technology instead of GSM-R.

Second way might be considered as two parts of solution. First part is a temporary solution until LTE-R (next generation of GSM-R) fully developed. If it is necessary to switch to LTE-R, an alternate supportive technology may only have a short time to support data carrier for GSM-R. When LTE-R is ready GSM-R and the alternative supportive system should be replaced by LTE-R. Second part is UHF, GSM based fully alternative solution instead of GSM-R. If it is not so important to switch to the LTE-R, GSM-R might be replaced with the alternative solutions.

Thus, developing alternate solution was necessitated. The topic of the thesis is not to produce position data of the point machine but send the data to the logic unit in a secure way after it has been produced and to offer alternative data carriage methods and to analyze the performances of all the systems depending on their data carriage speeds, and supported distances. The undermentioned methods have been tried and examined to

transfer the position data of the point machine from the point machine area to the railway vehicle.

- Communication in direct radio broadcasting mode via 802.11p
- UHF radio communication in Master/Slave mode
- Local area network communication over WiFi (IEEE 802.11b/g/n 2.4GHz) and Ethernet via modem
- Communication via modem over LTE data link for wide area network and over WiFi (IEEE 802.11b/g/n 2.4GHz) and Ethernet for local area network
- Communication via modem over fiber data link for wide area network and over WiFi (IEEE 802.11b/g/n 2.4GHz) and Ethernet for local area network

This thesis is mainly focused on offering a subsidiary or an alternative service to GSM-R's data connection service. In general, transfer of the situation data of point machine from the line to the logic unit on railway vehicle is discussed. Point machine is the vital element of railway on track side and in case of any error with this component is going to affect all operation on line. So, this critical situation makes its state significant and it should not be affected from any capacity or other problems. To ensure safety on radio communication, some of CENELEC's SIL specifications are used for software testing purposes.

As development environment software's:

- Visual Studio 2015
- MS SQL Server 2012

Applications developed:

- Web service application which is developed with C#
- Terminal application which is improved with C#
- Indication application which is developed with C#

All applications are developed with C# programming language as native development environment for this language is Visual Studio 2015. MS SQL Server 2012 selected for fully compatibility with C# programming language and also it has SQL Dependency support which helps to create application with the ability of notification if any change happens in the database.

In the prototype study, a terminal application has been developed which gets the position data of the point machine via RS232 interface reading over a relay and sends the data to the logic unit of the railway vehicle either via internet connection or via UHF connection. A web service software has been developed, allowing all the systems to communicate from a common place for the railway vehicle, also when needed, supporting to communicate with the other software languages, and getting the position information of the point machine to record on a database. Also depending on the data obtained, an

indication application has been developed which shows the position of the point machine either in normal or in reverse and the time of change of the situation and the time of the acknowledge receipt of the logic unit.

Two web services developed with object oriented structure which helps to communicate over SOAP protocol. This protocol helps with secure structured communication and it also supports XML based communication. One of the services is for UHF radio communication which has extra COM Port timing and second one is for the other communication styles.

A terminal application is improved to support two types of communication.

Firstly, listening the RS232 port CTS and DSR pin's state and sending data in case of state change with SOAP protocol over the internet.

Secondly, listening one of the RS232 ports CTS and DSR pin's state and send data over UHF radio via second RS232 port in case of any state change. If the communication is handled at receiver side over UHF it should select UHF radio communication port as open.

An indication application developed for server side to help showing data immediately when arrives. SQL Server will push as notification to indication application and it will indicate on the screen if event logged at database which are occurrence time, COM Port TX time (if UHF activated), COM Port RX time (if UHF activated) and data write time to database.

At the hardware side, Since the SIL certificated hardware's are so expensive, it was not possible to use any in this thesis due to lack of the budget.

Hardware's which are used:

- Three RS232 to USB converter,
- Two pieces 24V dry contact relay,
- Two computers,
- Two modems,
- A point machine with two feedback 24V over relay.
- Two Radius PDR 221 UHF radio unit
- Two Cohda Wireless MK5 802.11p radio unit

Hardware side comes with three configuration topologies which are 802.11p, UHF and Internet based.

First topology:

- Three RS232 to USB converter,
- Two piece 24V dry contact relay,
- Two computers,
- Two Cohda Wireless MK5 802.11p radio unit
- A point machine with two feedback 24V over relay.

Second topology:

- Three RS232 to USB converter,
- Two piece 24V dry contact relay,
- Two computers,
- Two Radius PDR 221 UHF radio unit
- A point machine with two feedback 24V over relay.

Third topology:

- Three RS232 to USB converter,
- Two piece 24V dry contact relay,
- Two computers,
- Two modems (network),
- A point machine with two feedback 24V over relay.

First topology is for broadcast mode for direct device to device communication type. Second topology is master-slave operation logic for UHF based device to device radio communication. Third topology splits into two sub configuration at internet network side.

Local network:

- Wifi (IEEE 802.11b/g/n 2.4GHz) and Ethernet over modem for local area network

Public network:

- LTE based
  - Wifi (IEEE 802.11b/g/n 2.4GHz) and Ethernet over modem for local area network
- Public line based (ADSL, Fiber)
  - Wifi and Ethernet over modem for local area network

Local network is the fastest network communication type. It takes approximately 1-2 ms to communicate between point machine computer and server side computer devices which finishes job after 1-2 ms after the point machine state fired. This is an extremely fast way to communicate between devices but it has low range issue.

Public network includes not only local network, but also LTE based or public line based communication types which helps out to carry information farther away. When an event fired at the point machine, it will feedback 24V which triggers 5V relay which is supplying RS232 pins. When RS232 get stimulated by 5V it will be sensed by the computer, at this point it will convert analog information to digital information as a point machine state. Then it will trigger web call over a modem through LTE or public line network to a remote side server. Finally, remote side server computer generates an answer for this call event and send it back to point machine pc, when response reaches to point machine pc progress will end.

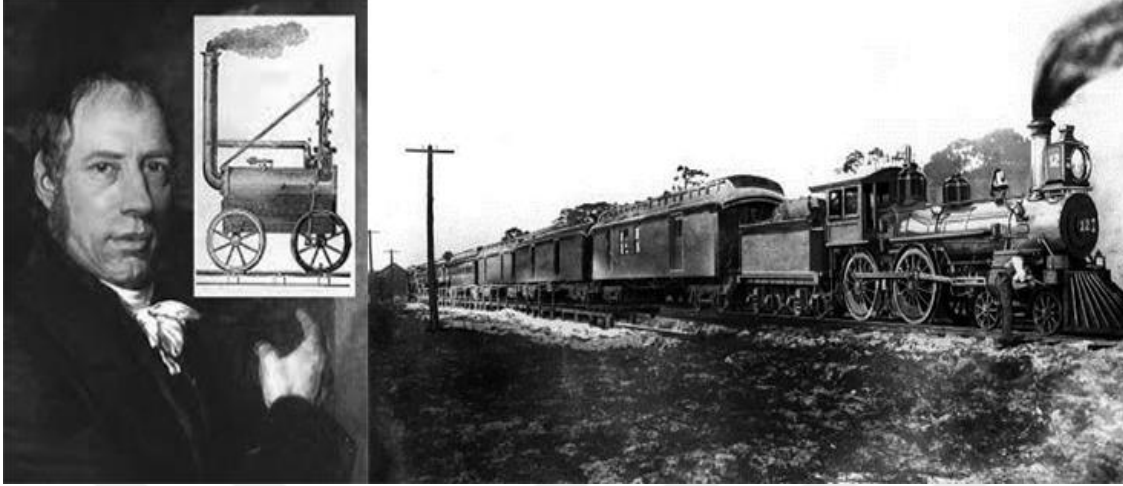


## 1 GİRİŞ

Raylı sistemlerin tarihçesi 17. Yüzyıl ve 18. Yüzyılda maden ocaklarında kullanımı ile başlamıştır. Araçlar maden ocaklarından çıkarılan hafriyatların ve madenlerin taşınmasında kullanılmaktaydı. İlk önceleri araçlar tahta bloklar üzerine insan veya hayvan gücüyle çekilmekteydi, sonraları zeminde metal parçaları haline çevrildi [6].



**Şekil 1:** Maden ocaklarında kullanılan ilk raylı sistem araçları



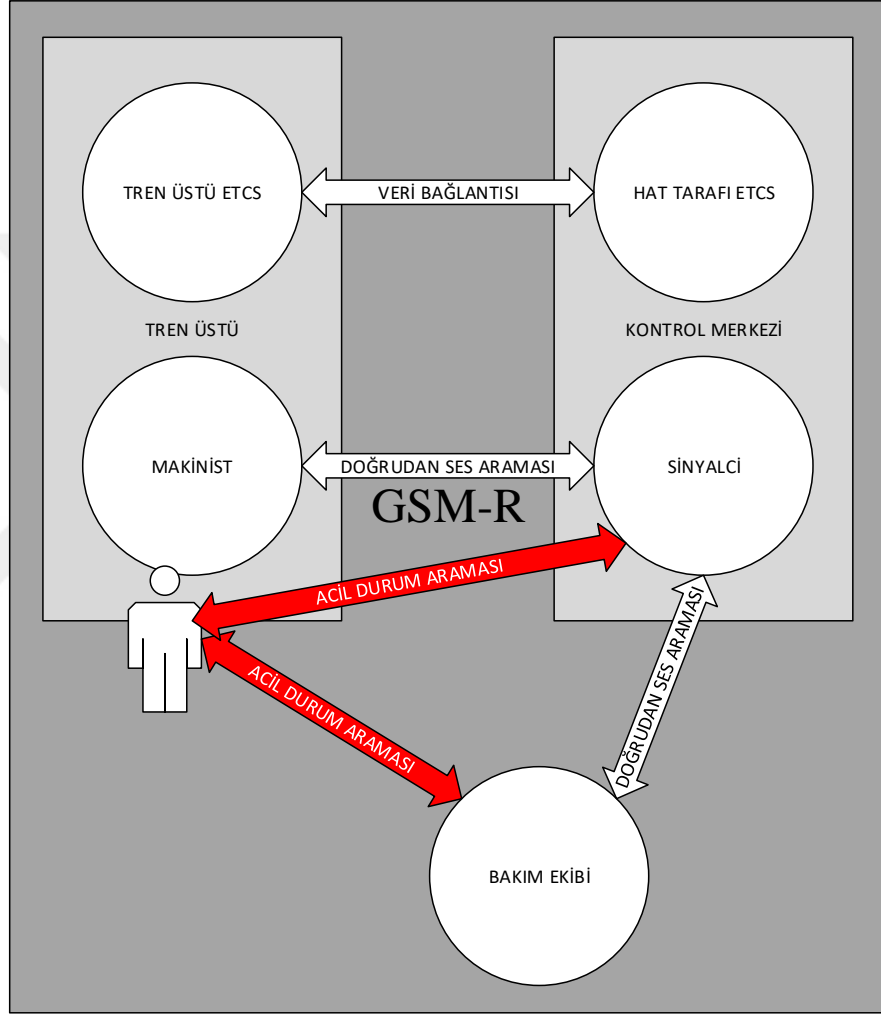
**Şekil 2:** Richard Trevithick, 1804 buharlı vagon icadı ve hızlıca gelişen yük taşımacılığı

Richard Trevithick' in 1804 yılında ilk buharlı lokomotifi icat etmesi ve makineleşmenin hızlanmasıyla sadece raylarda taşınan ağırlık değil, aynı zamanda hız da artmıştır [6]. Zamanla iki istasyon arasında yapılan taşımacılık yetmemeye başlayınca sinyalizasyon eksikliğinden kaynaklanan kazalar meydana gelmeye başlamıştır. Buna çözüm olarak sinyalizasyon birimleri geliştirilmiş ve geliştirilmeye günümüzde de devam edilmektedir.

Demiryolunun artan bir şekilde rağbet görmesi ve bir standardının olmaması nedeniyle sistem geliştiricileri ülkelerin isteklerine göre farklı yapılara ve topolojilere sahip çözümler sunmaktaydı. Fakat ticaretin giderek gelişmesi ve demiryolu taşımacılığı ihtiyacının artması ile bu alanda bulunan problemlere bir çözüm bulmak ekonomik anlamda zorunlu hale geldi. Önceleri her bir Demiryolu İdaresi, demiryolu trafiğini kendi ATP sistemi ya da birkaç sistemle idare ediyordu. ATP donanımları ülkelere göre farklılık göstermekteydi bu da trenlerin bir ülkeden başka ülkeye güvenli bir şekilde geçmesini zorlaştırmaktaydı. Ayrıca ülkeler arası sefer yapan trenler kullandıkları hattın bütün sinyalizasyon birimlerine sahip olmaları gerektiğinden donanım açısından büyük maliyetler anlamına girilmekteydi. ERTMS, Avrupa Birliği'nin demiryolu trafiğindeki sorunları analiz etmek için fon ayırdığı 1989 yılında ortaya çıkmıştır. ERTMS'de ana fikir, tüm Avrupa demiryolu trafiğinin, güvenli, genel ve özgün bir şekilde yönetilmesidir.

ERTMS iki temel elemandan oluşur [10],[11]. Birincisi ETCS, otomatik tren korumasıdır (ATP). Hat tarafı ve araç üstü olmak üzere gerçek zamanlı haberleşen iki kısımdan oluşur ve treni gözetleyip yönetir. Hem makinist hem de kontrol merkezi için gerçek zamanlı bilgi akışı sağlar. ETCS farklı seviyelerde uygulanmaktadır. Bu seviyeler hat tarafındaki sinyallerin gerekliliği ve aktarılacak verinin yolu nereden olacağını belirler. İkinci ERTMS elemanı ise GSM-R'dır. Bu normal GSM haberleşmesinin raylı sistemler için geliştirilmiş şeklidir. Bu haberleşme ağının temel iki ögesi vardır: ses ve veri haberleşmesi servisleri [12].

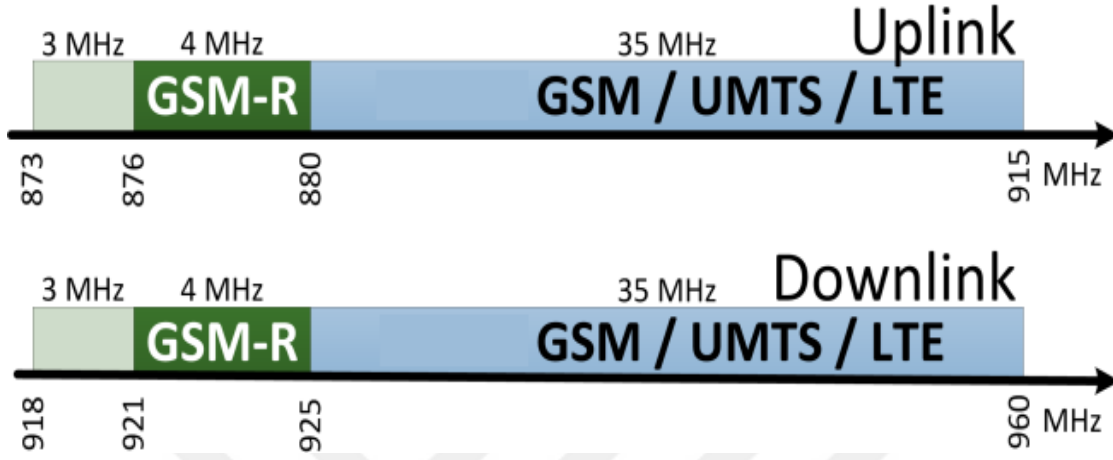
**Şekil 3** GSM-R'in ses ve veri haberleşme servis yapısını özetlemektedir. Makinist acil durumlar haricinde sadece kontrol merkezi ile sesli iletişim halinde olur, kontrol merkezi hem sahayı hem de araçları yönetir. Veri haberleşmesi ise farklı bir servis üzerinden direk tren üstü donanım ile saha donanımı arasında yapılır.



**Şekil 3:** GSM-R ses ve veri haberleşme servisleri

GSM yaklaşık 26 yıl (1991) öncesi piyasaya çıkan teknoloji olması ve o zamanın şartları düşünülerek geliştirilmesinden dolayı şuanki isterlere uyum sağlayamamaktadır. GSM, ses iletişimi üzerine tasarlanmış ve geliştirilmiştir. GSM-R, GSM ile benzer şekilde, veri aktarımı devre-anahtarlama (circuit-switched) yapısı ile gerçekleştiğinden dolayı gerekli olmadığı halde sürekli bağlantı gerektiren yapıda haberleşir [4], [16]. Bu da verimsiz kaynak kullanımına neden olmaktadır. [1], [2], [3]. Ayrıca GSM-R Avrupa'da kullanıldığı bant genişliği belli olmasına karşın frekans aralığının genişletilmesi uluslararası

uyumluluk düşünülduğünde Avrupa dışındaki ülkelerde komşu frekans bantlarının kullanılmasından dolayı kısıtlama ile karşılaşmaktadır [13].



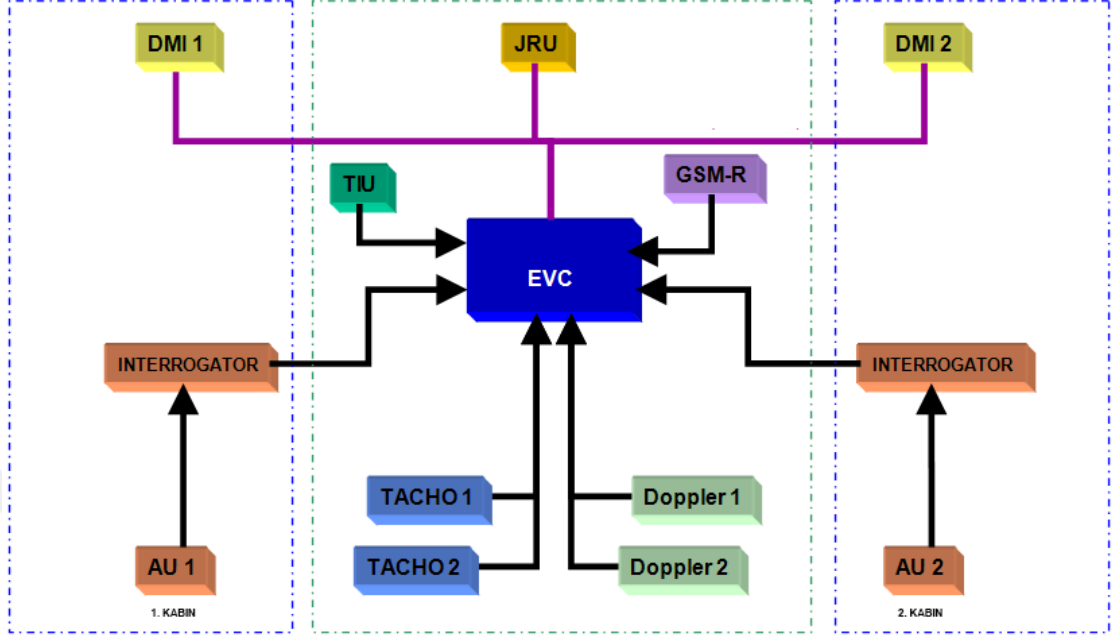
**Şekil 4:** 900 MHz bandında GSM-R, GSM, UMTS ve LTE için ayrılmış bant genişliği görülmektedir [14].

ETCS seviye 2' de her bir tren hat tarafında bulunan radyo blok merkezi (RBC) ile ayrı slotlar üzerinden sürekli bağlantıda olmaları gerekmektedir [20]. ETCS' nin tren-RBC mesajları az ve sürekli tekrarlanan mesajlar olmamasına karşın güvenlik amaçlı trenlerin sürekli RBC' ye bağlı olması durumu hat tarafındaki radyolarda, özellikle yoğun istasyon bölgelerinde, kapasite problemlerine neden olmaktadır [20].

Hat tarafı ve araç üstü verilerin taşınmasında alternatif yollar kullanarak GSM-R' ın kapasite problemlerine çözüm bulunabilir. Yakın zamanda GSM-R yerini bir üst seviyesi olan LTE-R'a bırakacağı ön görülmektedir [7]. Kullanım ömrü bitmekte olan GSM-R teknolojisine geçiş yapılmamış sahalarda bir sonraki teknoloji beklenmesi bu bakımdan uygun olabilir.

**Şekil 5** ERTMS seviye 2 deki araç üstünde bulunan donanımları göstermektedir:

- EVC: Avrupa Hayati Bilgisayarı
- DMI: Sürücü Makine Arayüzü,
- JRU: Yasal Kayıt Ünitesi
- Baliz Okuyucu Alt Sistemi
  - BTM (Baliz İletim Modülü)
  - Anten Ünitesi
- Odometre Alt Sistemi
  - Takojeneratör
  - Doppler Radarı
- GSM-R verileri
- TIU: Tren Arayüz Ünitesi

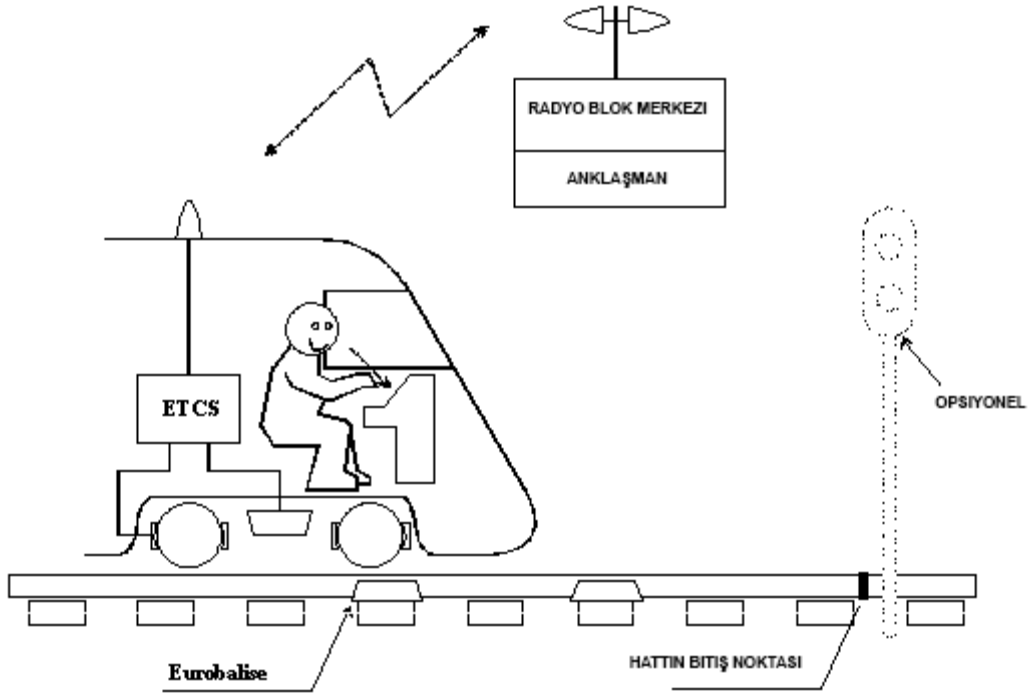


**Şekil 5:** Ankara-Konya hattı ETCS Seviye 2 araç üstü donanımları.

ERTMS seviye 2 hat tarafında ise:

- Eurobalise' ler (sabit): Odometre Kalibrasyon ve Yeniden Konumlandırma
- RBC (sürekli bilgiler): Hareket yetkisi (MA) + yol tanımı gönderimi için
- Ray Devreleri: Tren algılama ve bütünlük
- Dingil sayıcıları
- Sinyaller (Opsiyonel)
- Makaslar

Bulunur. **Şekil 6** ERTMS seviye 2 de gerçekleştirilen haberleşme yapısını göstermektedir. Tren hareket yetkisini radyo blok merkezi üzerinden sürekli bağlantı ile almaktadır.



**Şekil 6:** ERTMS seviye 2 haberleşme yapısı

Trenlerin en uygun kapasitede çalışabilmesi için hareket kabiliyetlerinin ve haberleşmelerinin maksimum seviyede olması gerekiyor ki güvenli bir şekilde hızlı hareket edilerek verimli çalışma sağlanabilsin. Trenler büyük ağırlıklara karşı geldiklerinden ancak metal(teker)-metal(ray) üzerinden hareket ile ilerleyebilmektedirler. Böyle olunca trenlerin tüm manevra kabiliyetleri makaslar üzerinden sağlanmaktadır.



**Şekil 7:** Trenlere hareket kabiliyeti kazandıran makaslara örnek.

Makas, raylı sistem elemanlarının olmazsa olmazıdır. Herhangi bir kapasite probleminden ötürü ürettiği verinin araç üstüne gitmemesi hayati riskler taşır. Bundan dolayı tezde baz

olarak makas verilerinin aktarılması temel alınmış ve incelenmiştir. Diğer demiryolu elemanlarının da veri aktarım yolu bu çalışmada olduğu gibi alternatif çözümler ile taşınabilir ve GSM-R'daki veri servisini tamamen farklı bir teknoloji ile sunmak mümkün hale gelebilir. **Şekil 8'** de makas verisinin tren üstündeki mantık bloğuna aktarılmasına ilişkin genel sistem diyagram görülmektedir.

Hattaki makasın durum bilgisini RS232 ile röle üzerinden okuyan ve bu okuduğu bilgiyi 802.11p, UHF veya farklı şekillerdeki internet bağlantısı üzerinden araç üstündeki mantık bloğuna aktaran terminal uygulaması yazıldı. Araç üstünde sistemlerin ortak bir merkezden haberleşmesine olanak sağlayan ve makas durum bilgilerini alıp veri deposuna kayıt eden web servis yazılmıştır. Ayrıca gelen verilere göre makasın sapanda mı normalde mi olduğunu, hangi anda durumunun değiştiğini ve durum değişikliği bilgisinin ne zaman mantık birimine ulaştığını veri deposundan okuyup gösteren indikasyon yazılım da geliştirilmiştir.

**Şekil 8,** makasın konum geri beslemesi (24V) ile sapanda veya normalde için ayrı rölelerde kuru kontak (5V) çektirilmektedir. Kuru kontakta gerilim PC üzerinden USB vasıtasıyla verilmektedir. Çektirilen röleler dokuz pinli RS232'nin CTS ("Sapanda" bilgisi), DSR ("Normalde" bilgisi) pinlerine gerilim vererek terminal yazılımı vasıtası ile LTE, 802.11p, UHF veya WiFi(IEEE 802.11b/g/n 2.4GHz) üzerinden sunucuya iletilerek makasın konumunun algılanması sağlanmaktadır.



**Şekil 8:** Radyo haberleşmesi genel sistem diyagramı



Kullanılacak radyo haberleşmelerinin teknolojilerini kıyaslanması için **Tablo 1'**i [7] incelemek yeterli olacaktır. Bu teknolojilerin hız performans testleri sonucu **Tablo 14'** den görülebilir. Önerilen radyo haberleşmeleri yakın alan ve uzak alan diye ikiye ayrılır. Bu iki seçenekte de ortak kıyaslanabilecek değerler üretilen bilginin,

- Ne kadar sürede aktarıldığı
- Kullanılan bant genişliği

bilgisidir. Mesafe bilgisi ise yakın ve uzak alan haberleşmesinde kıyas olamayacak fakat nihai karar sürecinde fayda veya zarar kısmına eklenebilecek bir değişken olabilir.

	<b>GSM-R</b>	<b>LTE-R</b>	<b>802.11P</b>	<b>WİFİ (LTE Destekli Uzak Alan)</b>	<b>ETHERNET (LTE Destekli Uzak Alan)</b>
<b>Frekans</b>	Uplink: 876–880 MHz, Downlink: 921–925 MHz	450-800 MHz, 1.4 GHz, 1.8 GHz	5,850-5,925 MHz	2.4 GHz	xx
<b>Bant Genişliği</b>	0.2 MHz	1.4-20 MHz	5,10,20 MHz	20-40MHz	100 Mbps
<b>Desteklediği Mesafe</b>	8 km	4–12 km	563 m	1-5 km	1-5 km
<b>Maksimum Veri Hızı, Downlink/Uplink</b>	172/172 kbps	50/10 Mbps	3/27 Mbps	100/50 Mbps	100/50 Mbps
<b>Veri İletimi</b>	Sesli Arama Bağlantısı Üzerinden	Paket Anahtarlama (UDP)	Yayın Modundadır, Birebir Bağlantı İhtiyacı Yoktur	Paket Anahtarlama	Paket Anahtarlama
<b>Mobilite</b>	Maks. 500 km/h	Maks. 500 km/h	Maks. 800 km/h	Maks. 350 km/h	Maks. 350 km/h
	<b>WİFİ (Yakın Alan)</b>	<b>ETHERNET (Yakın Alan)</b>	<b>WİFİ (Uzak Alan Kablolu)</b>	<b>ETHERNET (Uzak Alan Kablolu)</b>	<b>UHF</b>



<b>Frekans</b>	2.4 GHz	xx	2.4 GHz	xx	330-510 MHz
<b>Bant Genişliği</b>	20MHz - 40MHz	100 Mbps	20MHz-40MHz	100 Mbps	4800/9600 @ 12.5 Khz 9600/19200 @ 25 Khz
<b>Desteklediği Mesafe</b>	xx	100 m	32 m	xx	550 m
<b>Maksimum Veri Hızı, Downlink/Uplink</b>	300/300 Mbps	100/100 Mbps	100/100 Mbps	100/100 Mbps	19.2 Kbps
<b>Veri İletimi</b>	Modem Üzerinden	Modem Üzerinden	Modem Üzerinden	Modem Üzerinden	Uhf Radyo
<b>Mobilite</b>	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	xx

**Tablo 1:** Demiryolu haberleşmesinde hali hazırda kullanılan ve alternatif olarak önerilen teknolojilerin kıyaslanması

Tezin amacı mevcut GSM-R haberleşmesinin olduğu yerlere yardımcı teknolojiler önererek kapasite problemlerinin üstesinden gelmek ve sinyalizasyon olamayan sahalara da LTE-R'a geçiş sürecini karşılayacak veya gerektiğinde kalıcı ve ekonomik çözüm olabilecek radyo haberleşme sistemi önerilmesidir.



## **2 ÇALIŞMASI YAPILACAK SAHA ELEMANI**

Gerek hat tarafında gerekse de araç üstünde veri servisini kullanan donanımlar olsa da demiryolu taşımacılığının devamlılığının sağlanması bakımından hayati özelliği olan ve RSM Lab’da bulunması bakımından makas donanımının verilerinin taşınması üzerine çalışma yapılmıştır.

### **2.1 Makas**

Raylı sistemlerin en önemli elemanlarından biridir. Bulunduğu hatta çalışmaması veya hatalı durumda olması hat operasyonlarını tamamen durdurur ve problem çözülmeden işletme çalışamaz çünkü trenin manevra kabiliyeti tamamen makaslar üzerinden yapılmaktadır. **Şekil 9**’te sapanaya çevrilmiş bir makas örneği görülmektedir. Eğer bu makas gerekli durumda normale çekilemez ise işletme durdurulur ve problem çözülmeden devam ettirilmez



**Şekil 9:** Makas örneği

### **2.1.1 Makas indikasyonları**

Makas genel anlamda iki adet motorundan iki adet de dil uçlarından geri besleme alır. Bunlar farklı hayati röleler ile kontrol edilerek nihayetinde en azından iki bitlik bir veri üretilmektedir.

Makas indikasyonu olan iki bitlik veriyi incelemek gerekirse:

XY → X biti normalde biti, Y biti sapanda kabul edilirse.

X ve Y konumuna gelecek değer:

- 1, aktif olduğunu
- 0, pasif olduğunu

Göstermektedir.

Durumlar:





1. XY: 00, makasta indikasyonsuzluk bulunmaktadır (normalde veya sapanda olmaması durumu, genelde makas hareket ettiğinde veya hata durumunda oluşur)
2. XY: 01, makas sapanda
3. XY: 10, makas normalde
4. XY: 11, veri bağdaşım hatası (normalde ve sapanda indikasyonu vermesi, hata durumunda oluşur)

### 2.1.2 İndikasyonların yorumlanması

1. XY: 00, makasta indikasyonsuzluk durumu oluşmasıdır (normalde veya sapanda olmaması), genelde makas dili hareket ettirildiği zaman olur veya dil algılayıcıları yeteri kadar basınç algılamadığında geri dönüş vermeyeceğinden mantıksal olarak üretilir.
2. XY: 01, makas sapana oturduğunda, hem motor hem dil uçlarından geri besleme olduğunda üretilir.
3. XY: 10, makas normale oturduğunda, hem motor hem dil uçlarından geri besleme olduğunda üretilir.
4. XY: 11, makasta veri bağdaşım hatası durumu oluşmasıdır (hem normalde hem sapanda), bu hata tehlikelidir ve mutlaka düzeltilmesi gerekmektedir.

### 2.2 Hatalı veri aktarımına neden olabilecek durumların analizi (FTA)

FTA, simetrik analiz metodudur. Sistemi yukarıdan aşağıya doğru incelemeye ve matematiksel metotlar yardımı ile kritik durumların analizlerini çıkarmaya yardımcı olur. Temsil için basit elemanları vardır (ve, veya, temel olay, olay) **Tablo 2'** de görülmektedir.

Ve kapısı	
Veya kapısı	
Temel olay	
Olay	

**Tablo 2:** FTA temel elemanlar gösterimi

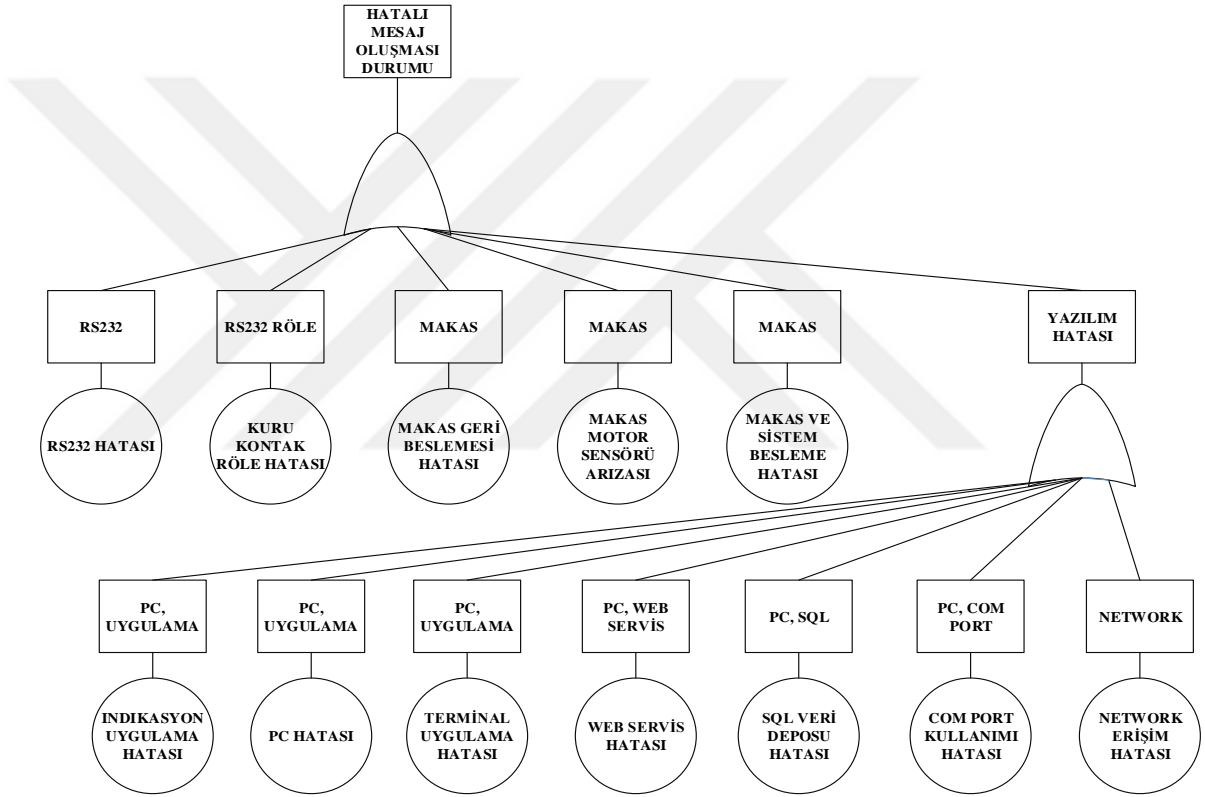
FTA Temel elemanları kullanılarak **Şekil 8'**deki sistemin oluşturduğu nihai mesajı etkileyebilecek girdiler saptanarak bu girdilerin etkilerini incelemek için **Şekil 10** kısmi FTA analizi yapılmıştır. Kısmi olarak nitelenmesinin sebebi ise kullanılan her bir elemanın hata olasılığı değeri tam olarak bilinmediği için tam bir FTA yapılmamış fakat sistemi etkileyen girdilerin incelenmesi ve test edilmesi sırasında aralarında ilişki kurarak daha kolay test edilmesine yardımcı olmuştur.

Mantık birimine aktarılan mesajın hatalı olabilmesi:

- RS232 hatası oluşmasına veya
- RS232 kuru kontak röle hatasına veya
- Makasın geri besleme hatasına veya
- Makas motor sensor arızası veya
- Makas ve sistemin besleme arızası veya

- Yazılım hatası oluşmasına
  - İndikasyon uygulama hatası veya
  - PC hatası veya
  - Terminal uygulama hatası veya
  - Web servis hatası veya
  - SQL veri deposu hatası veya
  - COM Port kullanım hatası veya
  - Network erişim hatasına

bağlıdır.



Şekil 10: Kısmi FTA (olasılıkları bilinmeyen eleman içeren)

### 3 DATABASE (VERİ DEPOSU)

Database olarak SQL SERVER 2012 seçilmiştir çünkü C# programlama dili ile direk uyumlu olmasıdır. Bu sayede yazılım çakışmaları en aza inmektedir. Ayrıca SQL' in Dependency özelliği veri deposundaki herhangi bir değişikliği uygulamaya dinamik bir şekilde anında iletilebilmesi için kullanılan bir özelliktir ve tercih sebebidir.

MAKAS\_VERI\_DEPOSU adında bir tane veri deposu oluşturulmuştur. **Tablo 3** sorgusu çalıştırılarak MAKAS\_VERI\_DEPOSU içinde **Şekil 11**' de görüldüğü gibi MAKAS\_VERI\_DEPOSU\_TABLOSU ve tablonun parametreleri oluşturulmuştur.

```
USE [MAKAS_VERI_DEPOSU]
GO

/***** Object: Table [dbo].[MAKAS_VERI_DEPOSU_TABLOSU]      Script Date: 2017-
04-27 10:26:19 PM *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO

CREATE TABLE [dbo].[MAKAS_VERI_DEPOSU_TABLOSU](
    [ID] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [CIHAZ_ID] [nvarchar](50) NULL,
    [NORMALDE] [nvarchar](50) NULL,
    [SAPANDA] [nvarchar](50) NULL,
    [INDIKASYONSUZLUK] [nvarchar](50) NULL,
    [VERIBAGDASIMHATASI] [nvarchar](50) NULL,
    [DURUM_ZAMANI] [datetime2](3) NULL,
    [COMPORT_TX] [datetime2](3) NULL,
    [COMPORT_RX] [datetime2](3) NULL,
    [SUNUCU_ERISIM_ZAMANI] [datetime2](3) NULL,
    CONSTRAINT [PK_BITIRME_TEZI] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [ID] ASC
```

```

)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY = OFF,
ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO

```

**Tablo 3:** Veri deposu içinde tablo oluşturma scripti

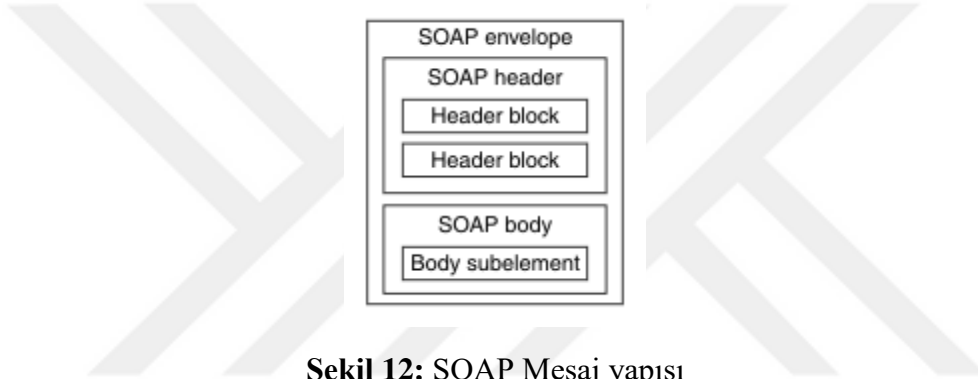
ID	int	<input type="checkbox"/>
CIHAZ_ID	nvarchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
NORMALDE	nvarchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
SAPANDA	nvarchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
INDIKASYONSUZLUK	nvarchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
VERIBAGDASIMHATASI	nvarchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
DURUM_ZAMANI	datetime2(3)	<input checked="" type="checkbox"/>
COMPORT_TX	datetime2(3)	<input checked="" type="checkbox"/>
COMPORT_RX	datetime2(3)	<input checked="" type="checkbox"/>
SUNUCU_ERISIM_ZAMANI	datetime2(3)	<input type="checkbox"/>

**Şekil 11:** Veri deposu tablosunda oluşturulan parametreler

Ayrıca SQL Dependency özelliğini aktif etmek için **MAKAS\_VERI\_DEPOSU** veri deposuna sağ tıklanır → **properties** → **Options** da **Service Broker** seçeneğinde **Broker Enable** = true, State seçeneği de **Restricted Access** = RESTRICTED\_USER yapılır.

#### 4 HABERLEŞME PROTOKOLÜ (SOAP)

Haberleşme protokolü olarak SOAP seçilmiştir. Sebebi ise bu protokol sayesinde güvenli sistemlerin oluşturulabilmesi, C# programlama dili alt yapısıyla oluşturulması, farklı sistemler ile haberleşmeye yardımcı olan web servis yapısının olması ve bu web haberleşmesi için JAVA, Android, vs. dillerin kütüphaneleri bulunan ortak bir dil olmasıdır. SOAP protokolü RPC modelini kullanır ve istemci/sağlayıcı yapısına dayalı bir protokoldür. En önemli özelliklerinden biri ise XML tabanlı cevaplar üretebilmesidir. Genel olarak SOAP yapısını incelemek gerekirse,



Şekil 12: SOAP Mesaj yapısı

SOAP envelope: oluşturulan mesajın temel elemanıdır, iki alt başlığı içerir

1. SOAP header: opsiyoneldir, şifreleme uygulamaları için kullanılabilir
2. SOAP body: zorunludur, gönderilen mesajın içeriği burada tanımlanır.
  - o SOAP fault: işlemler sırasında herhangi bir hata durumunda rapor döner

SOAP'a göre oluşturulabilecek örnek XML yapısı aşağıdaki gibidir:

```
<?xml version="1.0"?>
<SOAP-ENV:Envelope xmlns:SOAP-ENV="http://www.w3.org/2001/12/soap-
envelope" SOAP-ENV:encodingStyle="http://www.w3.org/2001/12/soap-
encoding">

  <SOAP-ENV:Header>
    ...
  </SOAP-ENV:Header>

  <SOAP-ENV:Body>
    ...
    <SOAP-ENV:Fault>
      ...
    </SOAP-ENV:Fault>
  </SOAP-ENV:Body>
</SOAP-ENV:Envelope>
```



```
...
</SOAP-ENV:Body>
</SOAP_ENV:Envelope>
```

Bir SOAP metodunun çağrımı 3 adımdan oluşur:

1. Metot isteği yollanması
2. Metodun cevabının oluşturulması
3. Başarısız durumlarda (iletişim problemleri) hata mesajı oluşturulması.

Yukarıdaki üç adıma göre bakılınca hatada güvenli bir metot çağrımı yapılabilmektedir. Örneğin bir makas verisi üretildikten sonra merkezi sisteme iletilmesi sürecinde:

- Durum tetiklemesi ile metot isteği yollanır,
- Ardından bir hata (verinin iletilmemesi) durumunda sistem bunu algılayabiliyor ve buna göre gerekirse aksiyom alabiliyor ayrıca veri başarılı şekilde iletilince de verinin iletildiğine dair bir doğrulama mesajı da döndürebilmektedir.

Makas Verilerinin iletilmesi için iki adet SOAP web servisi oluşturuldu.

1. Kullanıcı tarafı durum bilgisini gönderme yöntemi, internet üzerinden yapılan çağrılarda kullanılır
2. Kullanıcı tarafı durum bilgisini “ComPort” üzerinden gönderme yöntemi, birinci yöntemden farklı UHF cihazının TX/RX zamanlamalarını da parametre olarak almasıdır.

#### **4.1 Kullanıcı tarafı durum bilgisini internet üzerinden gönderme yöntemi**

Metot dört adet parametre alır. Ayrıca sunucu üzerinden: **localhost/rsmwebservice.asmx/KullaniciTarafiDurumBilgisiniGonder.asmx** adresinden erişilebilir. **Şekil 13** 'de web tarayıcısından veri girişi yapılabilen web form metot ve parametreleri görülmektedir.

# rsmwebservice

Click [here](#) for a complete list of operations.

## KullanıcıTarafıDurumBilgisiniGonder

### Test

To test the operation using the HTTP POST protocol, click the 'Invoke' button.

Parameter	Value
CIHAZID:	<input type="text" value="1"/>
Sapanda:	<input type="text" value="1"/>
Normade:	<input type="text" value="0"/>
DurumZamani:	<input type="text" value="12-12-12 12:12:12.122"/>

Şekil 13: “Browser” üzerinden servisin test arayüzü

Metodun yazılımsal olarak çağırılması SOAP 1.1, SOAP 1.2, HTTP GET ve HTTP POST ile yapılabilmektedir. Bu metodların hangi parametreler ile çağırıldığı ve buna karşın üretilen cevabın formatının detayları aşağıdaki gibidir.

#### 4.1.1 SOAP 1.1

SOAP 1.1 protokolünü kullanarak aşağıdaki parametreler ile metod çağırımı yapılmaktadır:

- CIHAZID: Her bir makas için verilen benzersiz ad
- Sapanda: Makas sapanda biti 1, normalde biti 0
- Normalde: Makas sapanda biti 0, normalde biti 1
- DurumZamani: Makasın durum bilgisinin oluştuğu milisaniye hassasiyetindeki zaman bilgisi

Yukarıdaki parametreler yapılan metod çağırımına *String (metin)* formatında sistemin veriyi başarılı şekilde iletip ilemediğinin cevabı oluşturulur.

The following is a sample SOAP 1.1 request and response. The placeholders shown need to be replaced with actual values.

```
POST /rsmwebservice.asmx HTTP/1.1
Host: localhost
Content-Type: text/xml; charset=utf-8
Content-Length: length
```

```

SOAPAction:
"http://www.serhatboynukalin.com/KullaniciTarafiDurumBilgisiniGonder"

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<soap:Envelope xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
xmlns:soap="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/">
  <soap:Body>
    <KullaniciTarafiDurumBilgisiniGonder
xmlns="http://www.serhatboynukalin.com/">
      <CIHAZID>string</CIHAZID>
      <Sapanda>string</Sapanda>
      <Normalde>string</Normalde>
      <DurumZamani>string</DurumZamani>
    </KullaniciTarafiDurumBilgisiniGonder>
  </soap:Body>
</soap:Envelope>
HTTP/1.1 200 OK
Content-Type: text/xml; charset=utf-8
Content-Length: length

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<soap:Envelope xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
xmlns:soap="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/">
  <soap:Body>
    <KullaniciTarafiDurumBilgisiniGonderResponse
xmlns="http://www.serhatboynukalin.com/">
      <KullaniciTarafiDurumBilgisiniGonderResult>string</KullaniciTarafiDur
umBilgisiniGonderResult>
    </KullaniciTarafiDurumBilgisiniGonderResponse>
  </soap:Body>
</soap:Envelope>

```

**Tablo 4:** kullanıcı tarafı durum bilgisini internet üzerinden gönderme yönteminin SOAP 1.1 için haberleşme yapısı

#### 4.1.2 SOAP 1.2

SOAP 1.2 protokolünü kullanarak aşağıdaki parametreler ile metot çağırımı yapılmaktadır:

- CIHAZID: Her bir makas için verilen benzersiz ad
- Sapanda: Makas sapanda biti 1, normalde biti 0
- Normalde: Makas sapanda biti 0, normalde biti 1
- DurumZamani: Makasın durum bilgisinin oluştuğu milisaniye hassasiyetindeki zaman bilgisi

Yukarıdaki parametreler yapılan metot çağırımına *String (metin)* formatında sistemin veriyi başarılı şekilde iletip ilemediğinin cevabı oluşturulur.

The following is a sample SOAP 1.2 request and response. The placeholders shown need to be replaced with actual values.

```
POST /rsmwebservice.asmx HTTP/1.1
Host: localhost
Content-Type: application/soap+xml; charset=utf-8
Content-Length: length

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<soap12:Envelope xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-
instance" xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
xmlns:soap12="http://www.w3.org/2003/05/soap-envelope">
  <soap12:Body>
    <KullaniciTarafiDurumBilgisiniGonder
xmlns="http://www.serhatboynukalin.com/">
      <CIHAZID>string</CIHAZID>
      <Sapanda>string</Sapanda>
      <Normalde>string</Normalde>
      <DurumZamani>string</DurumZamani>
    </KullaniciTarafiDurumBilgisiniGonder>
  </soap12:Body>
</soap12:Envelope>
HTTP/1.1 200 OK
Content-Type: application/soap+xml; charset=utf-8
Content-Length: length

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<soap12:Envelope xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-
instance" xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
xmlns:soap12="http://www.w3.org/2003/05/soap-envelope">
  <soap12:Body>
    <KullaniciTarafiDurumBilgisiniGonderResponse
xmlns="http://www.serhatboynukalin.com/">
      <KullaniciTarafiDurumBilgisiniGonderResult>string</KullaniciTarafiDur
umBilgisiniGonderResult>
    </KullaniciTarafiDurumBilgisiniGonderResponse>
  </soap12:Body>
</soap12:Envelope>
```

**Tablo 5:** kullanıcı tarafi durum bilgisini internet üzerinden gönderme yönteminin SOAP 1.2 için haberleşme yapısı

#### 4.1.3 HTTP GET

HTTP GET protokolünü kullanarak aşağıdaki parametreler ile metot çağırımı yapılmaktadır:

- CIHAZID: Her bir makas için verilen benzersiz ad
- Sapanda: Makas sapanda biti 1, normalde biti 0

- Normalde: Makas sapanda biti 0, normalde biti 1
- DurumZamani: Makasın durum bilgisinin oluştuğu milisaniye hassasiyetindeki zaman bilgisi

Yukarıdaki parametreler bağlantıdaki yerine yapılarak metot çağırımı yapılabilir, bağlantı adresi:

*localhost/rsmwebservice.asmx/KullaniciTarafiDurumBilgisiniGonder?CIHAZID=string&Sapanda=string&Normalde=string&DurumZamani=string*

The following is a sample HTTP GET request and response. The placeholders shown need to be replaced with actual values.

```
GET
/rsmwebservice.asmx/KullaniciTarafiDurumBilgisiniGonder?CIHAZID=string&Sapanda=string&Normalde=string&DurumZamani=string HTTP/1.1
Host: localhost
HTTP/1.1 200 OK
Content-Type: text/xml; charset=utf-8
Content-Length: length

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<string xmlns="http://www.serhatboynukalin.com/">string</string>
```

**Tablo 6:** kullanıcı tarafi durum bilgisini internet üzerinden gönderme yönteminin HTTP GET için haberleşme yapısı

#### 4.1.4 HTTP POST

HTTP POST protokolünü kullanarak aşağıdaki parametreleri kullanarak metot çağırımı yapılmaktadır:

- CIHAZID: Her bir makas için verilen benzersiz ad
- Sapanda: Makas sapanda biti 1, normalde biti 0
- Normalde: Makas sapanda biti 0, normalde biti 1
- DurumZamani: Makasın durum bilgisinin oluştuğu milisaniye hassasiyetindeki zaman bilgisi

Web servis bağlantısına ek olarak yukarıda belirlenen değerler aşağıdaki şekilde eklenerek metot çağırımı yapılır:

*CIHAZID=string&Sapanda=string&Normalde=string&DurumZamani=string*

Yukarıdaki parametreler yapılan metot çağırımına *String (metin)* formatında sistemin veriyi başarılı şekilde iletip ilemediğinin cevabı oluşturulur.

The following is a sample HTTP POST request and response. The placeholders shown need to be replaced with actual values.

```
POST /rsmwebservice.asmx/KullaniciTarafiDurumBilgisiniGonder HTTP/1.1
Host: localhost
```

```
Content-Type: application/x-www-form-urlencoded
Content-Length: length

CIHAZID=string&Sapanda=string&Normalde=string&DurumZamani=string
HTTP/1.1 200 OK
Content-Type: text/xml; charset=utf-8
Content-Length: length

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<string xmlns="http://www.serhatboynukalin.com/">string</string>
```

**Tablo 7:** kullanıcı tarafı durum bilgisini internet üzerinden gönderme yönteminin HTTP POST için haberleşme yapısı

#### 4.2 Kullanıcı tarafı durum bilgisini “ComPort” üzerinden gönderme yöntemi

Metot altı adet parametre alır. Ayrıca sunucu üzerinden: **localhost/rsmwebservice.asmx/KullaniciTarafiDurumBilgisiniVeComPortOperasyonlariniGonder.asmx** adresinden erişilebilir. **Şekil 14'** da web tarayıcısından veri girişi yapılabilen web form metot ve parametreleri görülmektedir.

## rsmwebservice

Click [here](#) for a complete list of operations.

### KullaniciTarafiDurumBilgisiniVeComPortOperasyonlariniGonder

#### Test

To test the operation using the HTTP POST protocol, click the 'Invoke' button.

Parameter	Value
CIHAZID:	<input type="text" value="1"/>
Sapanda:	<input type="text" value="1"/>
Normade:	<input type="text" value="0"/>
DurumZamani:	<input type="text" value="12-12-12 12:12:12.122"/>
ComPortTXZamani:	<input type="text" value="12-12-12 12:12:12.123"/>
ComPortRXZamani:	<input type="text" value="12-12-12 12:12:12.222"/>

**Şekil 14:** “Browser” üzerinden servisin test ara yüzü

Metodun yazılımsal olarak çağırılması SOAP 1.1, SOAP 1.2, HTTP GET ve HTTP POST yöntemi ile yapılabilir. Bu metodların hangi parametreler ile çağırıldığı ve buna karşın üretilen cevabın formatının detayları ise aşağıdaki gibidir.

#### 4.2.1 SOAP 1.1

SOAP 1.1 protokolünü kullanarak aşağıdaki parametreler ile metod çağırımı yapılmaktadır:

- CIHAZID: Her bir makas için verilen benzersiz ad
- Sapanda: Makas sapanda biti 1, normalde biti 0
- Normalde: Makas sapanda biti 0, normalde biti 1
- DurumZamani: Makasın durum bilgisinin oluştuğu milisaniye hassasiyetindeki zaman bilgisi
- ComPortTXZamani: Gönderici kısmındaki verinin UHF cihazından yayını başlangıcı milisaniye hassasiyetindeki zaman bilgisi
- ComPortRXZamani Alıcı kısmındaki UHF cihazından verinin alındığı zamanın milisaniye hassasiyetindeki bilgisi

Yukarıdaki parametreler yapılan metod çağırımına *String (metin)* formatında sistemin veriyi başarılı şekilde iletip ilemediğinin cevabı oluşturulur.

The following is a sample SOAP 1.1 request and response. The placeholders shown need to be replaced with actual values.

```
POST /rsmwebservice.asmx HTTP/1.1
Host: localhost
Content-Type: text/xml; charset=utf-8
Content-Length: length
SOAPAction:
"http://www.serhatboynukalin.com/KullaniciTarafiDurumBilgisiniVeComPortOperasyonlariniGonder"

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<soap:Envelope xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
xmlns:soap="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/">
  <soap:Body>
    <KullaniciTarafiDurumBilgisiniVeComPortOperasyonlariniGonder
xmlns="http://www.serhatboynukalin.com/">
      <CIHAZID>string</CIHAZID>
      <Sapanda>string</Sapanda>
      <Normalde>string</Normalde>
      <DurumZamani>string</DurumZamani>
      <ComPortTXZamani>string</ComPortTXZamani>
      <ComPortRXZamani>string</ComPortRXZamani>
    </KullaniciTarafiDurumBilgisiniVeComPortOperasyonlariniGonder>
  </soap:Body>
</soap:Envelope>
```

```
HTTP/1.1 200 OK
Content-Type: text/xml; charset=utf-8
Content-Length: length

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<soap:Envelope xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
xmlns:soap="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/">
  <soap:Body>

<KullaniciTarafiDurumBilgisiniVeComPortOperasyonlariniGonderResponse
xmlns="http://www.serhatboynukalin.com/">

<KullaniciTarafiDurumBilgisiniVeComPortOperasyonlariniGonderResult>string</KullaniciTarafiDurumBilgisiniVeComPortOperasyonlariniGonderResult>

</KullaniciTarafiDurumBilgisiniVeComPortOperasyonlariniGonderResponse
>
  </soap:Body>
</soap:Envelope>
```

**Tablo 8:** Kullanıcı tarafı durum bilgisini “ComPort” üzerinden gönderme yönteminin SOAP 1.1 için haberleşme yapısı

#### 4.2.2 SOAP 1.2

SOAP 1.2 protokolünü kullanarak aşağıdaki parametreler ile metot çağırımı yapılmaktadır:

- CIHAZID: Her bir makas için verilen benzersiz ad
- Sapanda: Makas sapanda biti 1, normalde biti 0
- Normalde: Makas sapanda biti 0, normalde biti 1
- DurumZamani: Makasın durum bilgisinin oluştuğu milisaniye hassasiyetindeki zaman bilgisi
- ComPortTXZamani: Gönderici kısmındaki verinin UHF cihazından yayını başlangıcı milisaniye hassasiyetindeki zaman bilgisi
- ComPortRXZamani Alıcı kısmındaki UHF cihazından verinin alındığı zamanın milisaniye hassasiyetindeki bilgisi

Yukarıdaki parametreler yapılan metot çağırımına *String (metin)* formatında sistemin veriyi başarılı şekilde iletip ilemediğinin cevabı oluşturulur.

The following is a sample SOAP 1.2 request and response. The placeholders shown need to be replaced with actual values.

```
POST /rsmwebservice.asmx HTTP/1.1
Host: localhost
Content-Type: application/soap+xml; charset=utf-8
```



```

Content-Length: length

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<soap12:Envelope xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-
instance" xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
xmlns:soap12="http://www.w3.org/2003/05/soap-envelope">
  <soap12:Body>
    <KullaniciTarafiDurumBilgisiniVeComPortOperasyonlariniGonder
xmlns="http://www.serhatboynukalin.com/">
      <CIHAZID>string</CIHAZID>
      <Sapanda>string</Sapanda>
      <Normalde>string</Normalde>
      <DurumZamani>string</DurumZamani>
      <ComPortTXZamani>string</ComPortTXZamani>
      <ComPortRXZamani>string</ComPortRXZamani>
    </KullaniciTarafiDurumBilgisiniVeComPortOperasyonlariniGonder>
  </soap12:Body>
</soap12:Envelope>
HTTP/1.1 200 OK
Content-Type: application/soap+xml; charset=utf-8
Content-Length: length

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<soap12:Envelope xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-
instance" xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
xmlns:soap12="http://www.w3.org/2003/05/soap-envelope">
  <soap12:Body>

    <KullaniciTarafiDurumBilgisiniVeComPortOperasyonlariniGonderResponse
xmlns="http://www.serhatboynukalin.com/">

      <KullaniciTarafiDurumBilgisiniVeComPortOperasyonlariniGonderResult>st
ring</KullaniciTarafiDurumBilgisiniVeComPortOperasyonlariniGonderResu
lt>

    </KullaniciTarafiDurumBilgisiniVeComPortOperasyonlariniGonderResponse
>
  </soap12:Body>
</soap12:Envelope>

```

**Tablo 9:** Kullanıcı tarafı durum bilgisini “ComPort” üzerinden gönderme yönteminin SOAP 1.2 için haberleşme yapısı

### 4.2.3 HTTP GET

HTTP GET protokolünü kullanarak aşağıdaki parametreler ile metot çağırımı yapılmaktadır:

- CIHAZID: Her bir makas için verilen benzersiz ad
- Sapanda: Makas sapanda biti 1, normalde biti 0
- Normalde: Makas sapanda biti 0, normalde biti 1

- DurumZamani: Makasın durum bilgisinin oluştuğu milisaniye hassasiyetindeki zaman bilgisi
- ComPortTXZamani: Gönderici kısmındaki verinin UHF cihazından yayını başlangıcı milisaniye hassasiyetindeki zaman bilgisi
- ComPortRXZamani Alıcı kısmındaki UHF cihazından verinin alındığı zamanın milisaniye hassasiyetindeki bilgisi

Yukarıdaki parametreler bağlantıdaki yerine yapılarak metot çağırımı yapılabilir, bağlantı adresi:

*localhost/rsmwebservice.asmx/KullaniciTarafiDurumBilgisiniVeComPortOperasyonlariGonder?CIHAZID=string&Sapanda=string&Normalde=string&DurumZamani=string&ComPortTXZamani=string&ComPortRXZamani=string*

The following is a sample HTTP GET request and response. The placeholders shown need to be replaced with actual values.

```
GET
/rsmwebservice.asmx/KullaniciTarafiDurumBilgisiniVeComPortOperasyonlariGonder?CIHAZID=string&Sapanda=string&Normalde=string&DurumZamani=string&ComPortTXZamani=string&ComPortRXZamani=string HTTP/1.1
Host: localhost
HTTP/1.1 200 OK
Content-Type: text/xml; charset=utf-8
Content-Length: length

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<string xmlns="http://www.serhatboynukalin.com/">string</string>
```

**Tablo 10:** Kullanıcı tarafı durum bilgisini “ComPort” üzerinden gönderme yönteminin HTTP GET için haberleşme yapısı

#### 4.2.4 HTTP POST

HTTP POST protokolünü kullanarak aşağıdaki parametreleri kullanarak metot çağırımı yapılmaktadır:

- CIHAZID: Her bir makas için verilen benzersiz ad
- Sapanda: Makas sapanda biti 1, normalde biti 0
- Normalde: Makas sapanda biti 0, normalde biti 1
- DurumZamani: Makasın durum bilgisinin oluştuğu milisaniye hassasiyetindeki zaman bilgisi
- ComPortTXZamani: Gönderici kısmındaki verinin UHF cihazından yayını başlangıcı milisaniye hassasiyetindeki zaman bilgisi
- ComPortRXZamani Alıcı kısmındaki UHF cihazından verinin alındığı zamanın milisaniye hassasiyetindeki bilgisi

Web servis bağlantısına ek olarak yukarıda belirlenen değerler aşağıdaki şekilde eklenerek metot çağrımı yapılır:

```
CIHAZID=string&Sapanda=string&Normalde=string&DurumZamani=string&ComPortTXZamani=string&ComPortRXZamani=string
```

Yukarıdaki parametreler yapılan metot çağrımına *String (metin)* formatında sistemin veriyi başarılı şekilde iletip iletemediğinin cevabı oluşturulur.

The following is a sample HTTP POST request and response. The placeholders shown need to be replaced with actual values.

```
POST
/rsmwebservice.asmx/KullaniciTarafiDurumBilgisiniVeComPortOperasyonlariGonder HTTP/1.1
Host: localhost
Content-Type: application/x-www-form-urlencoded
Content-Length: length

CIHAZID=string&Sapanda=string&Normalde=string&DurumZamani=string&ComPortTXZamani=string&ComPortRXZamani=string
HTTP/1.1 200 OK
Content-Type: text/xml; charset=utf-8
Content-Length: length

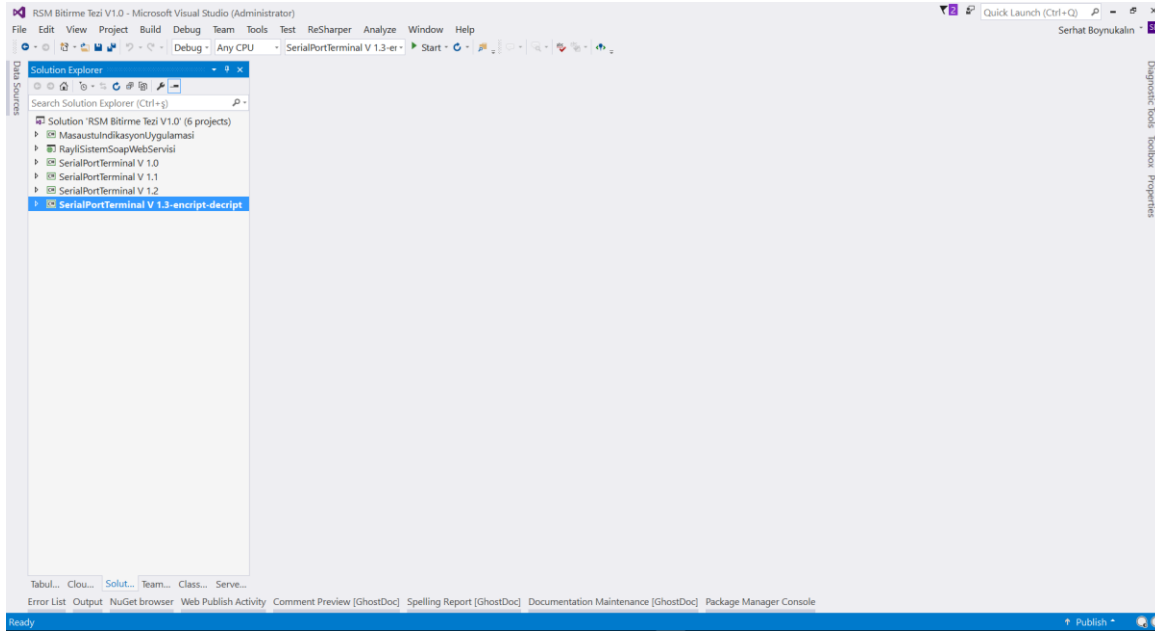
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<string xmlns="http://www.serhatboynukalin.com/">string</string>
```

**Tablo 11:** Kullanıcı tarafı durum bilgisini “ComPort” üzerinden gönderme yönteminin HTTP POST için haberleşme yapısı

## 5 GELİŞTİRİLEN YAZILIMLAR VE SİL GÜVENLİK TESTLERİ

Tez için kullanılan yazılımlar Visual Studio 2015 ortamında geliştirilmiştir. **Şekil 15'** da proje geliştirme ortamında görülmektedir ve üç adet uygulama geliştirilmiştir:

1. Terminal uygulaması [8]
2. Web servis uygulaması
3. Makas konum indikasyon uygulaması

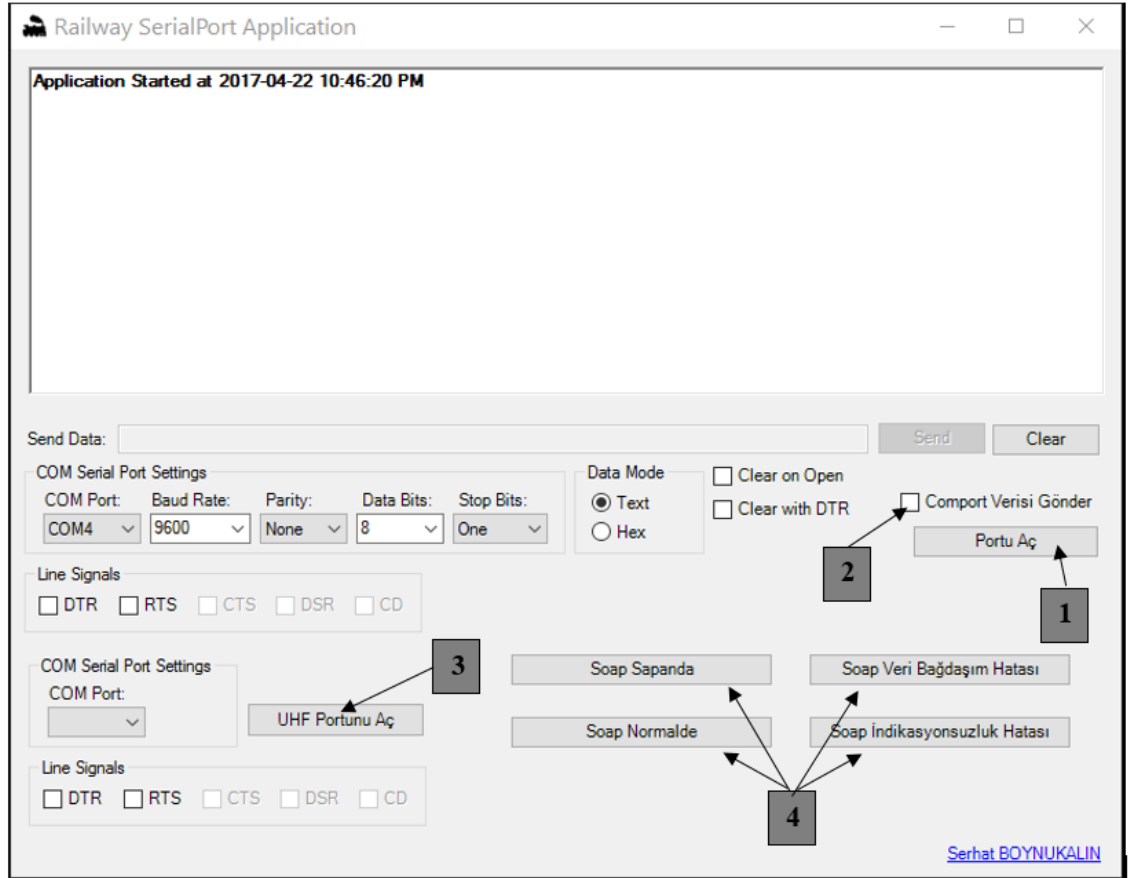


**Şekil 15:** Visual Studio 2015 uygulamaların projesi

Makas konum bilgisini röle üzerinden okuyan seri port uygulaması **Şekil 16'**de görülmektedir. Port seçimi, seçilen portun bağlantı ayarları yapılabileceği gibi çalışma şekline göre (UHF cihazı ile veya internet üzerinden) değişiklik yapılabilecek uygulamanın belirteçleri aşağıdaki tabloda görülmektedir.

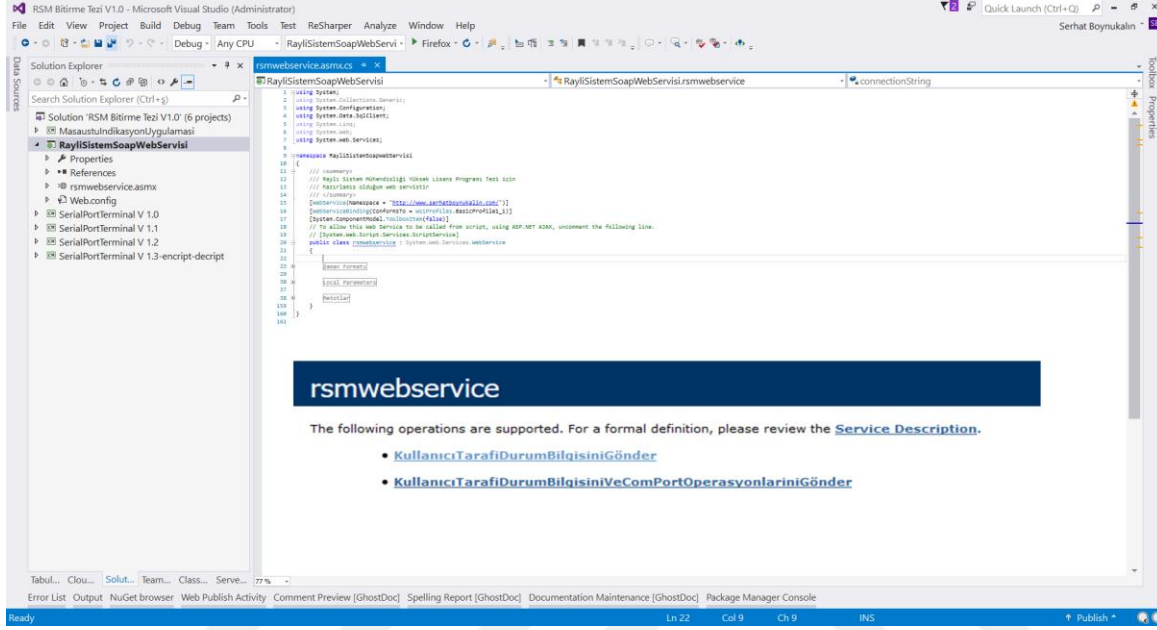
İndikasyon Numarası	Anlamı
1	Makas konum durumunu dinleyen port. (UHF üzerinden veri gönderimi için UHF destekli cihaz uç nolu yerden açılacaktır)
2	UHF Cihazı kullanılarak veri gönderimi yapılacağı zaman seçilecek checkbox
3	UHF cihazının bağlı olacağı durumda UHF portunun açılacağı yer
4	Web üzerinde veri gönderimi röle geri beslemesinden olabileceği gibi dördün işaret ettiği test butonları ile de yapılabilir

**Tablo 12:** Şekil 9'un İndikasyonları



**Şekil 16:** Seri port terminal uygulaması

Raylı sistem saha elemanlarını dinleyen uygulamanın veri depolaması için kullandığı web servis **Şekil 17**'de görülmektedir. Bu web servisin özelliği XML yapısı ile çalıştığı için diğer yazılım dilleri ile kolayca haberleşebilmesidir. Ayrıca bu haberleşmeleri desteklemek için kütüphaneleri de bulunmaktadır [9].



**Şekil 17:** Web servis uygulaması

Makas konumu veri deposuna kayıt edildikten sonra bunu sürekli takip edip değişimlerin anlaşılır şekilde ekranda gösterilmesi için yazılmış uygulama **Şekil 18**'de görülmektedir. Uygulama beş tane bilgi gösterir:

- Makas durumu: sapanda, normalde, hem sapanda hem normalde (hata durumu) ve sapanda ve normalde olmaması durumu(genelde makas hareket edince ya da hata durumunda olur) ekranda metin olarak gösterir.
- Durum zamanı: makas konum değişikliği bitince 24V geri beslemenin röleyi çektiği anı ifade eder.
- ComPort Tx Zamanı: UHF cihazı kullanılırken cihazdan verinin gönderildiği zamandır ve herhangi bir yazılımsal gecikme olmamasında ise “durum zamanı” ile aynıdır.
- ComPort Rx Zamanı: UHF cihazı kullanılırken havadaki verinin alıcı kısımda alınmaya başladığı zamanı ifade eder.
- DB Yazma Zamanı: Gerek UHF cihazı gerekse internet üzerinden gelen verilerin veri deposuna kayıt edilme işlemi bittiği zamanı ifade eder.



**Şekil 18:** Makas durumunu değiştiği anda ekranda gösteren uygulama

Geliştirilen yazılımlara, BS EN 50128:2011 [5] standartlarına göre yapılan SIL testleri **Tablo 13'** te görölmektedir. Yeşil arka planı olanlar test edilen ve genel anlamda başarılı şekilde testi geçen kısımları ifade etmektedir.

	Software maintenance, Criteria for the Selection of Techniques and Measures (yazılım bakımı, test ve ölçü birimlerinin seçilme kriteri)		
Tablolar	Tablo Açıklaması	Tablo Bilgilendirme Numarası veya (D)	Bilgilendirme açıklaması
Table A.6	Integration (7.6)	Table A.14 Table A.18	
Table A.7	Overall Software Testing (6.2 and 7.7)	Table A.18 Table A.14 Table A.17	
Table A.8	Software Error Effect Analysis	D.25 SEEA – Software Error Effect Analysis	Yazılım paraları tanımlanmalı, kritik yerler ve hatalı kısımlar tespit edilerek yazılım güçlendirilmeli.
Table.12	Coding Standards	D.15 Coding Standards and Style Guide D.38 Modular Approach	Yazılım hata yapmayacak şekilde tasarlanmalı. Karmaşıklığı gidermek için yazılım anlamlı küçük parçalara bölünmeli ve her detayın ayrıntısı verilmeli.
Table A.13		D.4 Boundary Value Analysis	Aşırı durumlardaki girdilerin testi.

	Dynamic Analysis and Testing	D.20 Error Guessing	Genel programlama hatalarını kaldırma testi.
		D.21 Error Seeding	Var olan test sisteminin yeterli olup olmadığı test edilmeli.
		D.39 Performance Modelling	Sistem tasarımı oluşturarak sistemin etkileşimi tanımlan-malı kaynakların ayrıntıları belirlenmeli, bant genişliği, depolama... gibi ihtiyaçlara göre en kötü durum belirlenmeli.
		D.18 Equivalence Classes and Input Partition Testing	Yazılım minimum düzeyde test verileri kullanılarak test edilmeli.
		D.50 Structure Based Testing	Subsetlere göre yazılım test edilmeli.
Table A.14	Functional/Black Box Test	D.6 Cause Consequence Diagrams	Sıralı bir ilişki kurularak neden sonuç ilişkisi test edilmeli.
		D.43 Prototyping / Animation	Yanlış anlaşılmalari ortadan kaldırmak için alıcıyla görüşülmeli.
		D.4 Boundary Value Analysis	Aşırı durumlardaki girdiler ve çıktılar test edilmeli.
		D.18 Equivalence Classes and Input Partition Testing	Yazılım minimum düzeyde test verileri kullanılarak test edilmeli.
		D.42 Process Simulation	Yazılım fonksiyonları süreci test edilmeli, benzetim ile gerçek sistemin entegrasyonu test edilmeli.
Table A.15	Textual Programming Languages	D.54 Suitable Programming languages	Önerilir, Yazılımın Avrupa standartlarına uyumlu olmasına dikkat edilmeli. Kolay anlaşılır, yapısal düzeni kurulu, doğrulanabilir ve bakımı yapılabilir yapıda olmalı.
		D.35 Language Subset	Yazılımın içinde oluşabilecek hataları



			algılayabilecek format geliştirilmeli.
Table A.17	Performance Modelling	D.39 Performance Modelling	Sistem tasarımı oluşturarak sistemin etkileşimi tanımlan-malı kaynakların ayrıntılarını belirlenmeli: bant genişliği, depolama... İhtiyaçlara göre en kötü durum belirlenmeli.
Table A.18	Performance Testing	D.3	Veri deposu boyutu testi. Çalışma şekli havuz modunda olunca girdinin aşırı olması durumunda, max ve min hız testi.
		D.45 Response Timing and Memory Constraints	Sistemin kapasite problemi ve RAM sorunu olmayacağından emin olunmalı.
		D.40 Performance Requirements	Başarılı veri aktarım seviyesi referans olarak belirlenmeli ve engellerin tanımlanması ile ölçüm şekilleri belirlenerek proje aşamasına göre test edilmeli.
Table A.22	Object Oriented Software Architecture	Table A.23	
Table A.23	Object Oriented Detailed Design		Güvenli yazılım kurallarına uymalı, bilinmeyen sınıflar-dan kalıtım alınmamalı, çoklu kalıtımı sadece Interface sınıfından yapılmalı ve sınıflar obje tabanlı olmalı.

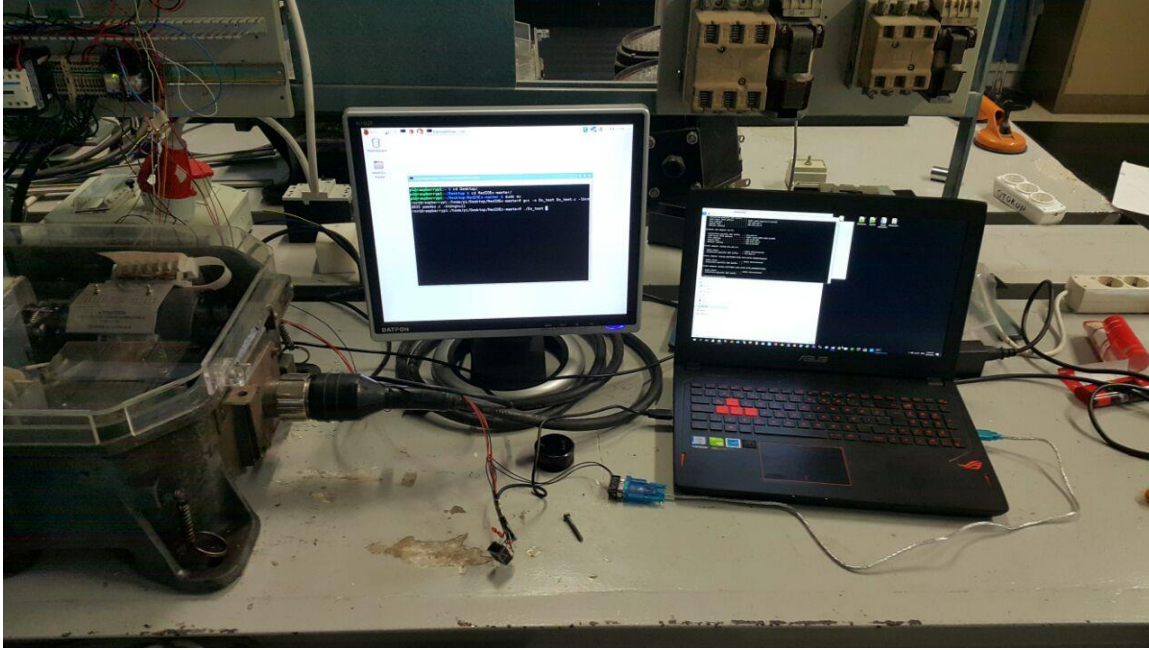
**Tablo 13:** BS EN 50128:2011, SIL standartlarına göre testi yapılan özellikler.

## 6 HABERLEŞME ÇEŞİTLERİ VE MAKAS VERİLERİNİN TAŞINMASI

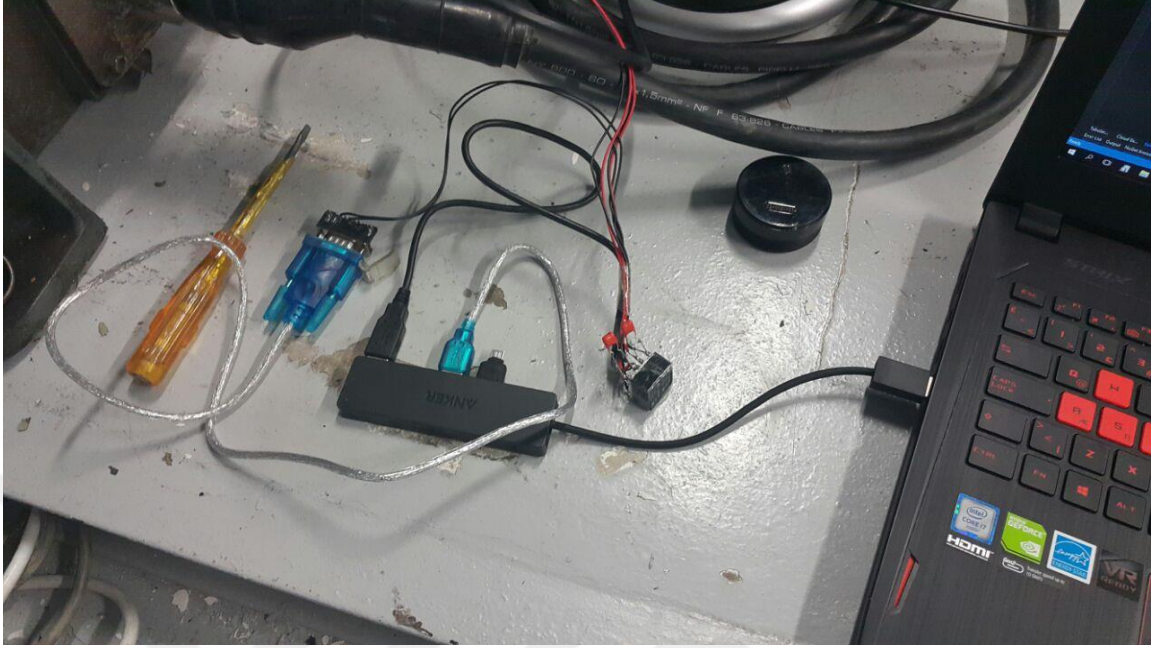
2.1.1' deki makas indikasyonlarını, makas bölgesinden mantık bloğunun olduğu yere farklı haberleşme yolları ile (WiFi IEEE 802.11b/g/n 2.4GHz, LTE, UHF, 802.11p) taşınması incelenmiştir.

Makas motoru oturduğu yöne göre 24V geri besleme vermektedir ve bu geri besleme ile 5V kuru kontak röle çektilir. Rölelerin kuru kontaklarındaki 5V' u (bilgisayar üzerinden alınmıştır) RS232'deki CST(8) ve DSR(6) pinleri ile kısa devre yapılmıştır. Makas motorunun oturma yönüne göre CST(8) veya DSR(6) kısa devre olarak yazılım vasıtasıyla okunur ve bu okunan değerler web servis üzerinden sunucuya iletilir. Böylelikle makasın normalde veya sapanda olduğu yazılımsal olarak algılanır.

**Şekil 19**, Raylı Sistem Laboratuvarı'nda oluşturduğumuz test ortamı görülmektedir. **Şekil 20**, makastan gelen 24V'un çektilirdiği röle ve bu rölenin kuru kontağından tetiklenen RS232 ile bilgisayar görülmektedir.



**Şekil 19:** Makas, röle, RS232 ve bilgisayar test ortamında



**Şekil 20:** RS232-Röle-bilgisayar bağlantısı

Haberleşme şekilleri ve test edilme yöntemleri aşağıda sırası ile anlatılmıştır.

### **6.1 İnternet üzerinden haberleşme**

İnternet haberleşmesi uzak ve yakın alan olarak ikiye ayrılır. Uzak alan LTE ve Ethernet yolu ile yakın alan ise Ethernet ve WiFi yoluyla bir modem üzerinden yapılmıştır. Modem olarak “TP-LINK TL-MR6400 300Mb 4G LTE WiFi N ROUTER SIM” kullanılmıştır. Modemin LTE, WiFi, Ethernet desteği olması ayrıca uygun fiyatlı olması tercih sebebi olmuştur.



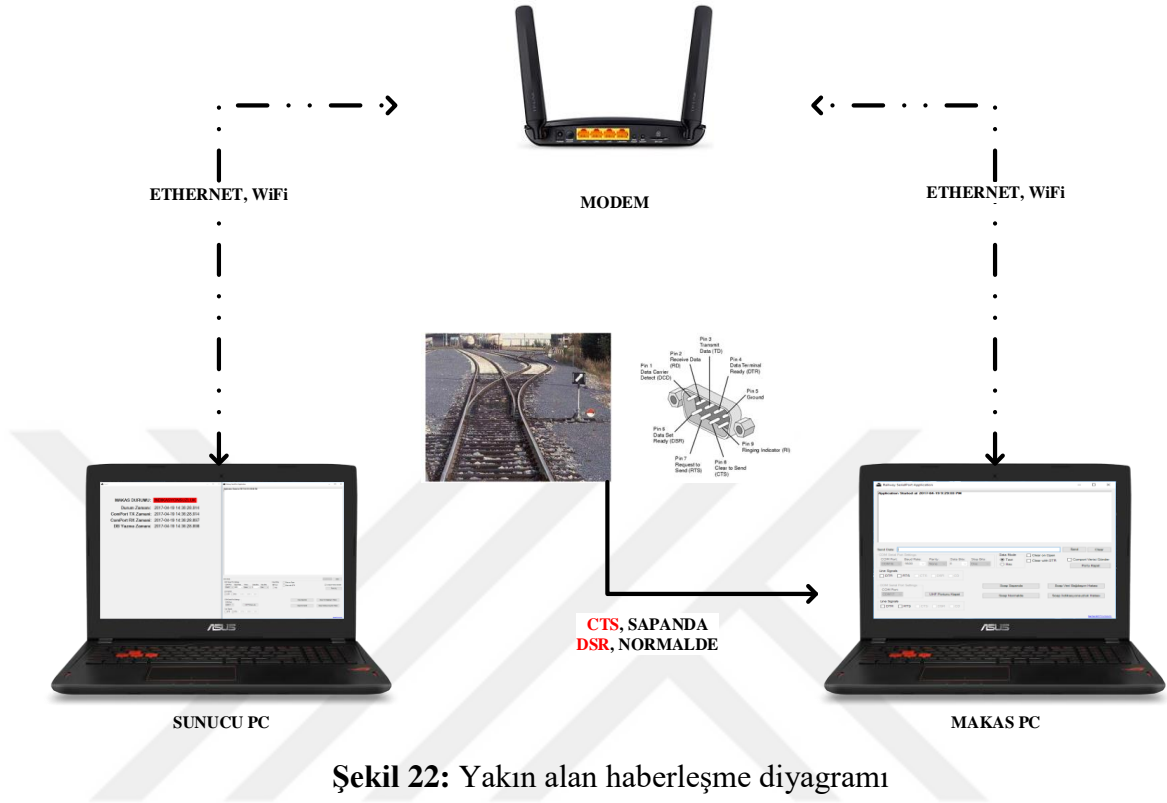
**Şekil 21:** Seçilen modem, TP-LINK TL-MR6400 300Mb 4G LTE WiFi N ROUTER SIM

Temel Özellikleri:

- SIM kart desteği (4.5G,4G,3.5G,3G,2G) (uzak alan)
- WAN desteği (Uzak Alan)
- Kablosuz ağ desteği (Yakın Alan), IEEE 802.11b/g/n 2.4GHz
- Kablolu ağ desteği (Yakın Alan)

### 6.1.1 İnternet yakın alan haberleşmesi

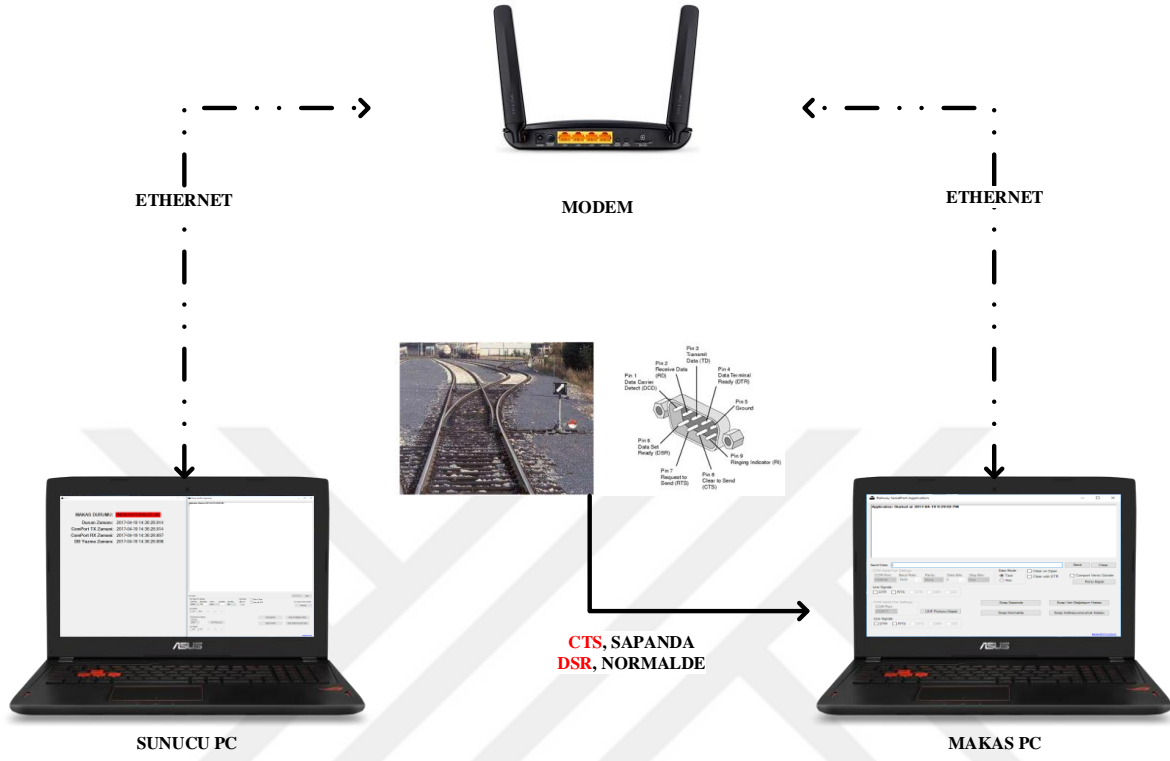
Makastan gelen verilerin PC1'den işlenerek PC1-Modem-PC2 sıralaması ile PC2'e ulaştırılması için yakın alan kullanılmıştır. **Şekil 22'** de diyagramı görülmektedir. Bilgisayarlarda zaman eşitliği bakımından saniye kadar fark olabilmesine karşın NTP [16] gibi uygulamalar ile bu fark ciddi (1-2 ms) ölçüde azaltılabilmektedir.



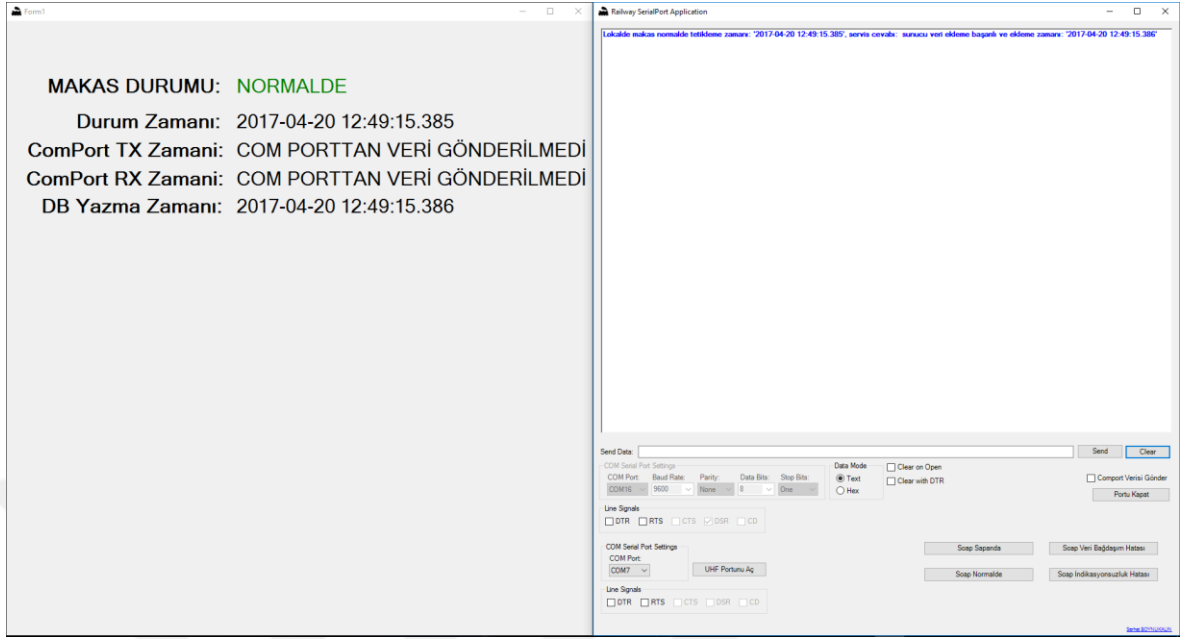
Şekil 22: Yakın alan haberleşme diyagramı

### 6.1.1.1 Yakın alan kablolu haberleşme

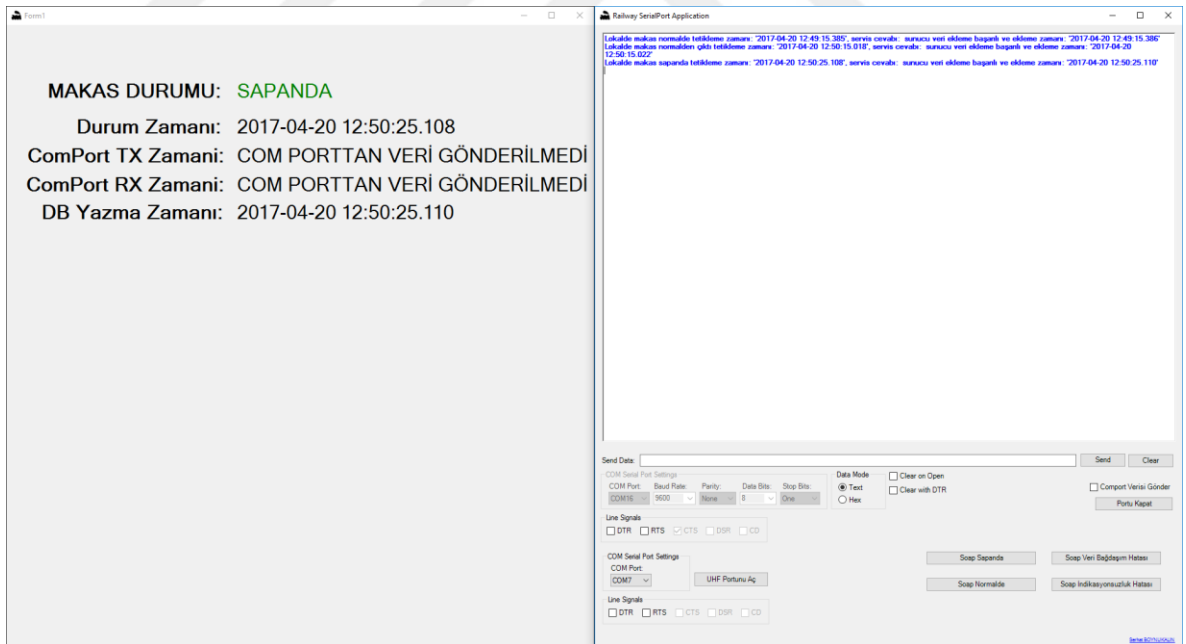
Makasta oluşan bilginin PC de işlenerek sunucuya kablolu yakın alan üzerinden aktarılması Şekil 23'deki gibidir. Bu haberleşmenin örnek verileri Şekil 24, Şekil 25, Şekil 26 ve Şekil 27' te gösterilmektedir. Şekillerin sağ tarafındaki kısım Makas PC'yi sol tarafındaki indikasyon kısmı ise Sunucu PC' i ifade etmektedir.



Şekil 23: Kablolü yakın alan yoluyla haberleşme diyagramı.

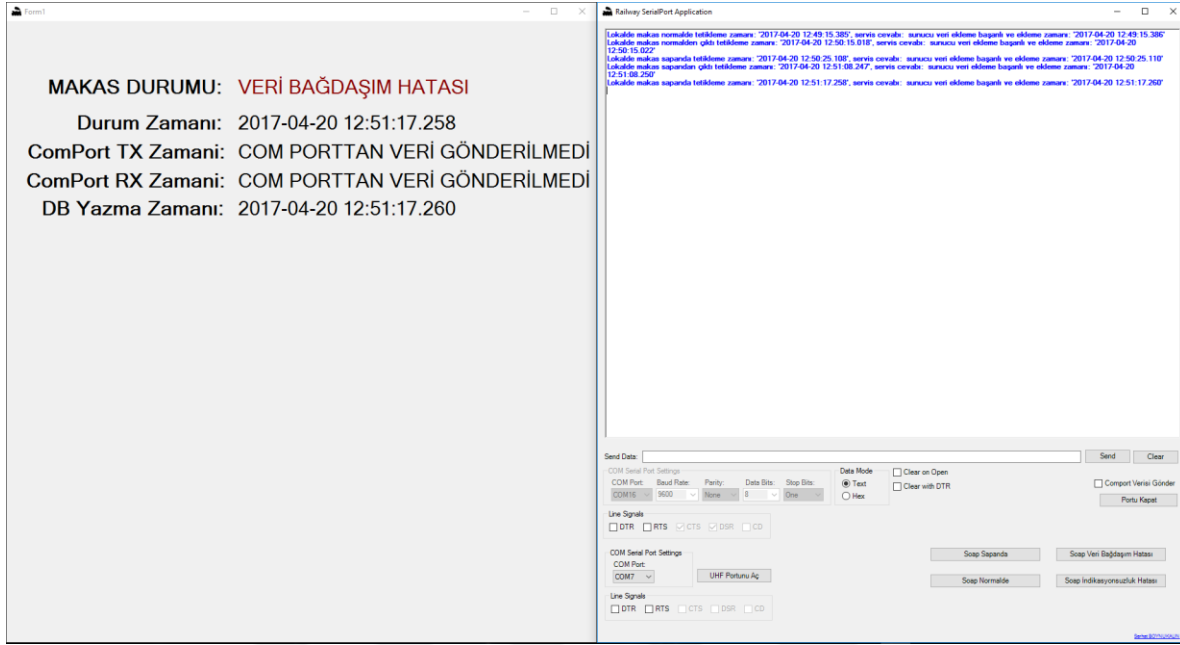


Şekil 24: Makasın normale çekilmesinin sonucu tarafında kayıt altına alınması ve indikasyon uygulaması ile gösterilmesi.

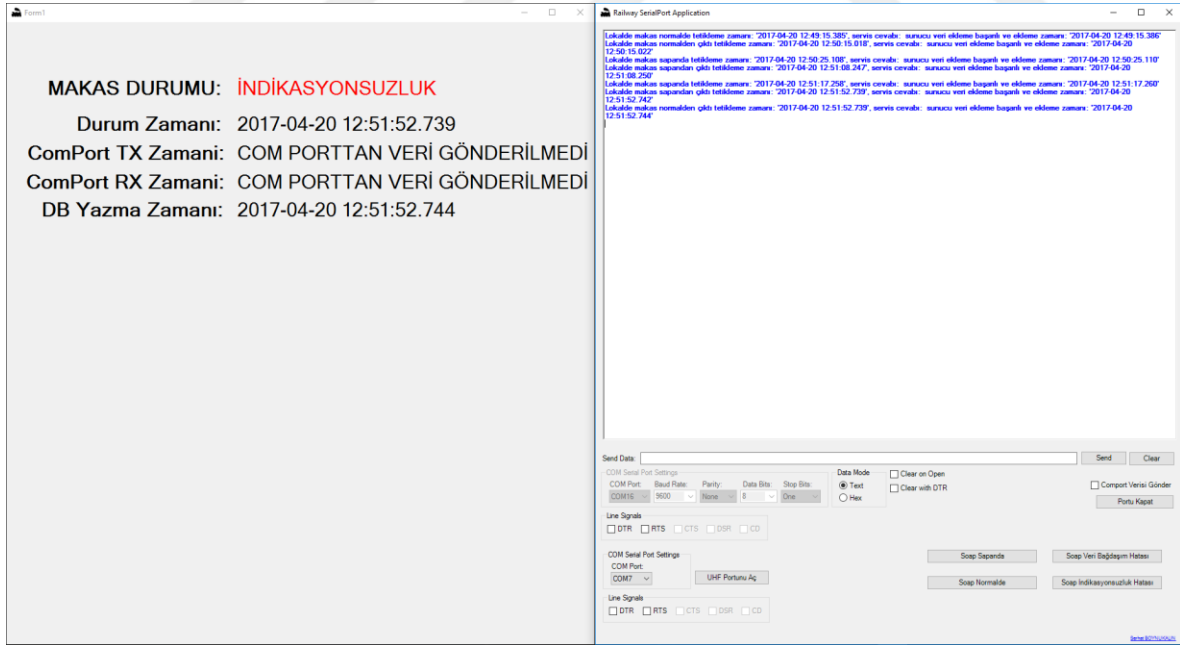


Şekil 25: Makasın sapana çekilmesinin sonucu tarafında kayıt altına alınması ve indikasyon uygulaması ile gösterilmesi.





**Şekil 26:** Makasın hem sapan hem de normal geri besleme vermesinin sunucu tarafında kayıt altına alınması ve indikasyon uygulaması ile gösterilmesi.



**Şekil 27:** Makasın hem sapan veya normal geri besleme vermemesinin sunucu tarafında kayıt altına alınması ve indikasyon uygulaması ile gösterilmesi.



ID	CIHAZ_ID	NORMALDE	SAPANDA	INDIKASYONSUZLUK	VERIBAGDASIMHATASI	DURUM_ZAMANI	SUNUCU_ERISIM_ZAMANI
60	1180	1	0	0	0	2017-04-20 12:48:58.704	2017-04-20 12:48:58.705
61	1181	0	0	1	0	2017-04-20 12:48:59.698	2017-04-20 12:48:59.699
62	1182	1	0	0	0	2017-04-20 12:49:15.385	2017-04-20 12:49:15.386
63	1183	0	0	1	0	2017-04-20 12:50:15.018	2017-04-20 12:50:15.022
64	1184	0	1	0	0	2017-04-20 12:50:25.108	2017-04-20 12:50:25.110
65	1185	0	0	1	0	2017-04-20 12:51:08.247	2017-04-20 12:51:08.250
66	1186	1	1	0	1	2017-04-20 12:51:17.258	2017-04-20 12:51:17.260
67	1187	0	0	1	0	2017-04-20 12:51:52.739	2017-04-20 12:51:52.742
68	1188	0	0	1	0	2017-04-20 12:51:52.739	2017-04-20 12:51:52.744

**Şekil 28:** SQL verileri

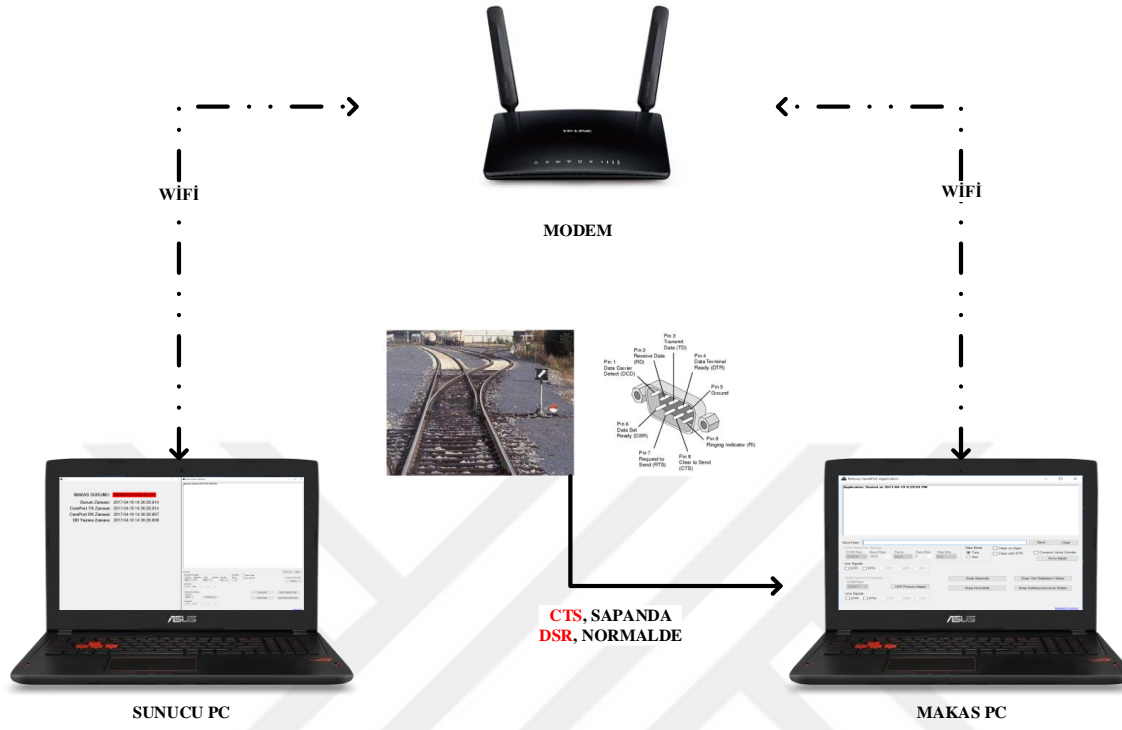
Şekil 28’de makas verisinin Makas PC’de oluşması ve Sunucu PC’ye erişmesinin zaman kayıtları görülmektedir:

- Sapanda, 2 ms
- Normalde, 1 ms
- Veri bağdaşım hatası, 2 ms
- İndikasyonsuzluk, 5 ms

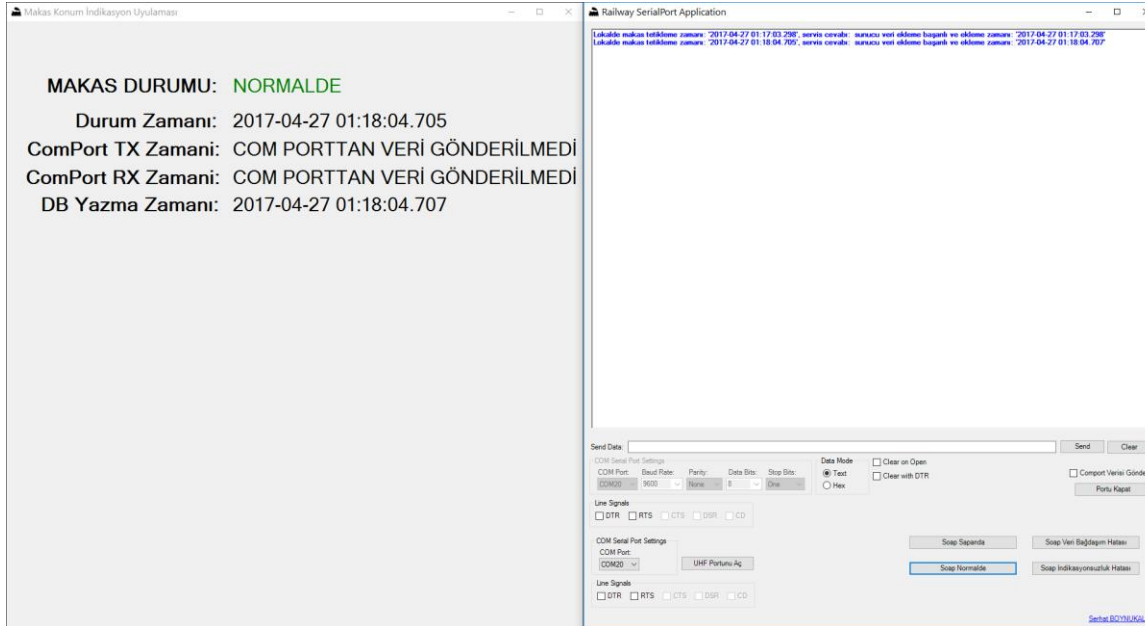
Sürelerinde aktarılmıştır.

#### 6.1.1.2 Yakın alan kablosuz haberleşme (IEEE 802.11b/g/n 2.4GHz)

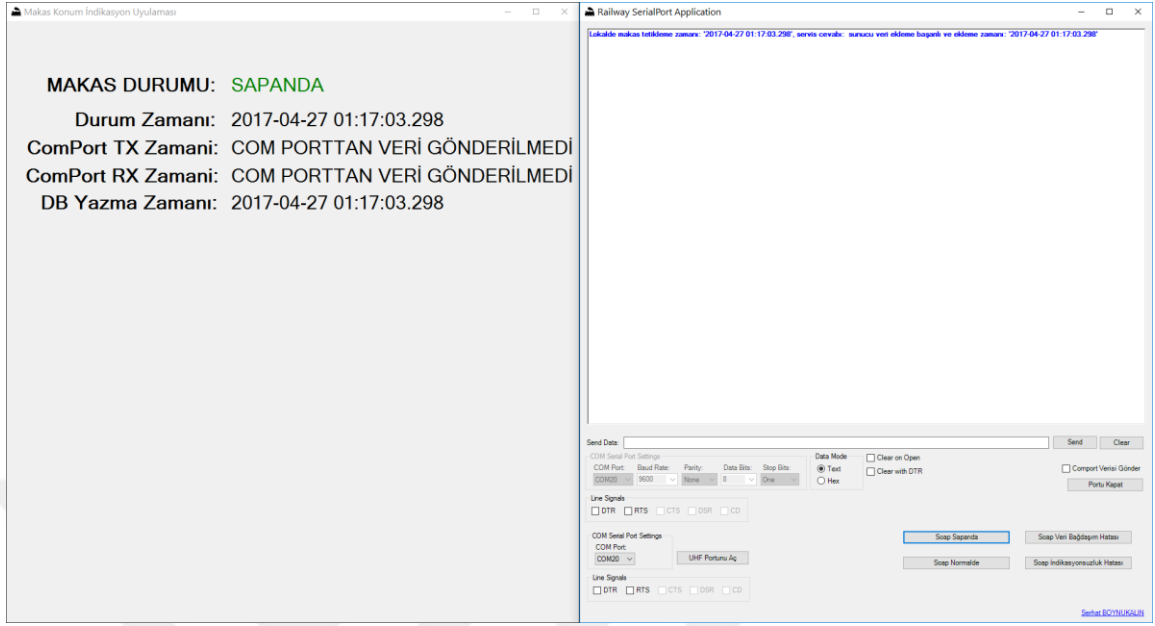
Makasta oluşan bilginin PC de işlenerek sunucuya kablosuz yakın alan üzerinden aktarılması Şekil 29’daki gibidir. Bu haberleşmenin örnek verileri Şekil 30, Şekil 31, Şekil 32 ve Şekil 33’te gösterilmektedir. Şekillerin sağ tarafındaki kısım Makas PC’yi sol tarafındaki indikasyon kısmı ise Sunucu PC’ i ifade etmektedir.



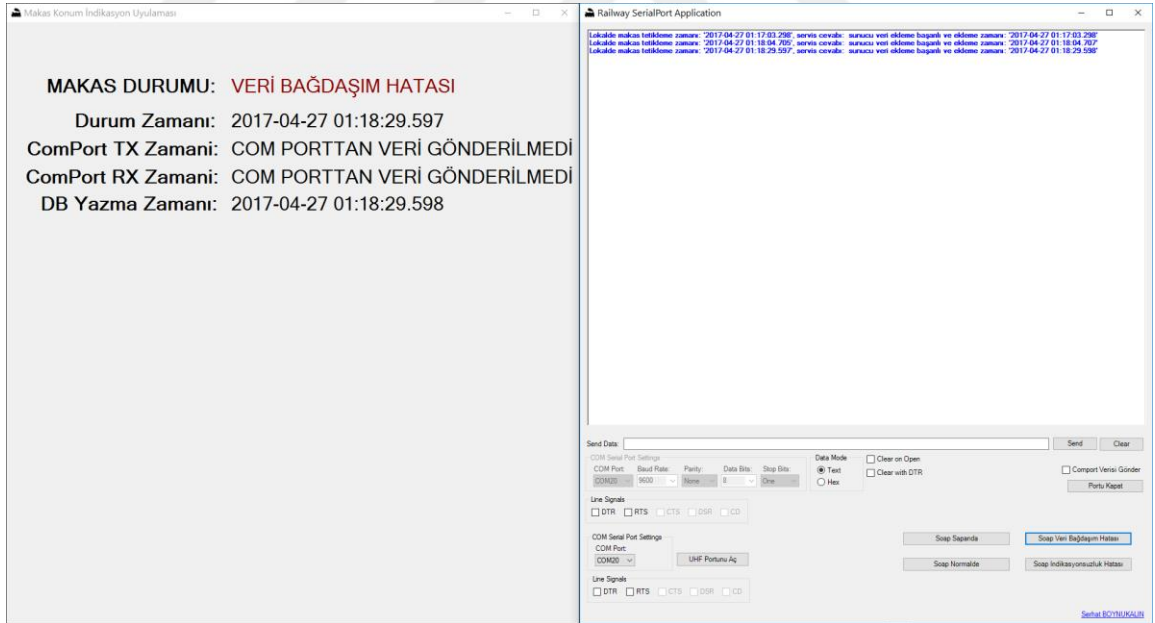
Şekil 29: Kablolı yakın alan yoluyla haberleşme diyagramı.



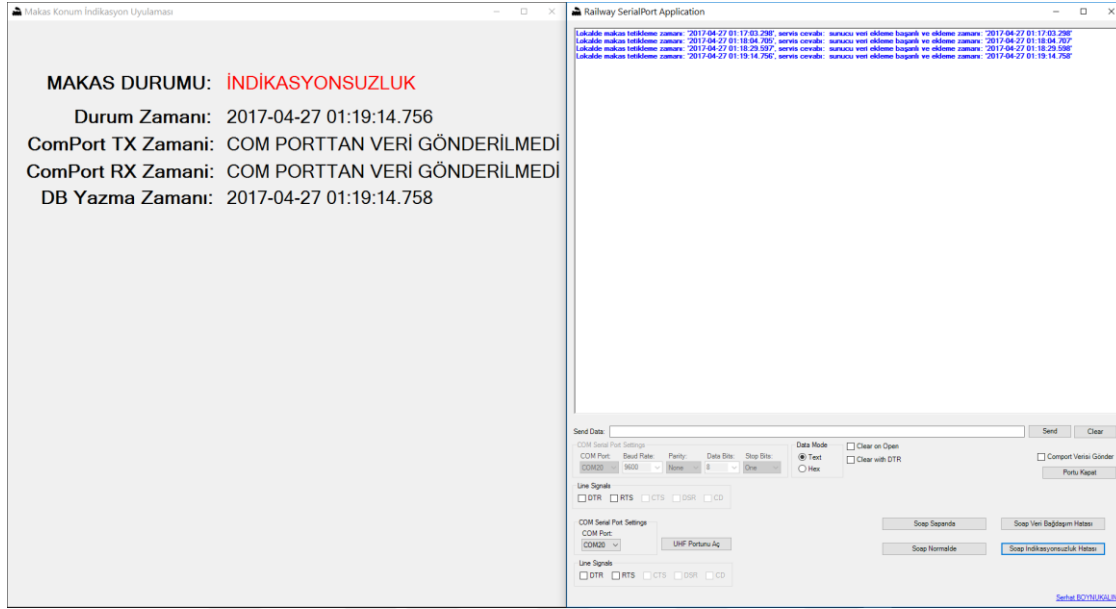
Şekil 30: Makasın normale çekilmesinin sunucu tarafında kayıt altına alınması ve indikasyon uygulaması ile gösterilmesi.



Şekil 31: Makasın sapanı çekilmesinin sonucu tarafında kayıt altına alınması ve indikasyon uygulaması ile gösterilmesi.



Şekil 32: Makasın hem sapanı hem de normal geri besleme vermesinin sonucu tarafında kayıt altına alınması ve indikasyon uygulaması ile gösterilmesi.



**Şekil 33:** Makasın hem sapan veya normal geri besleme vermemesinin sunucu tarafında kayıt altına alınması ve indikasyon uygulaması ile gösterilmesi.

ID	CIHAZ_ID	NORMALDE	SAPANDA	İNDİKASYONSUZLUK	VERİBAĞDASIMHATASI	DURUM_ZAMANI	SUNUCU_ERISIM_ZAMANI
275	1375	1	0	0	0	2017-04-27 01:17:03.298	2017-04-27 01:17:03.298
276	1376	1	0	0	0	2017-04-27 01:18:04.705	2017-04-27 01:18:04.707
277	1377	1	1	0	1	2017-04-27 01:18:29.597	2017-04-27 01:18:29.598
278	1378	1	0	0	1	2017-04-27 01:19:14.756	2017-04-27 01:19:14.758

**Şekil 34:** SQL kayıtları

**Şekil 34'**de makas verisinin Makas PC'de oluşması ve Sunucu PC'ye erişmesinin zaman kayıtları görülmektedir:

- Sapanda, 1 ms
- Normalde, 2 ms
- Veri bağdaşım hatası, 1 ms
- İndikasyonsuzluk, 2 ms

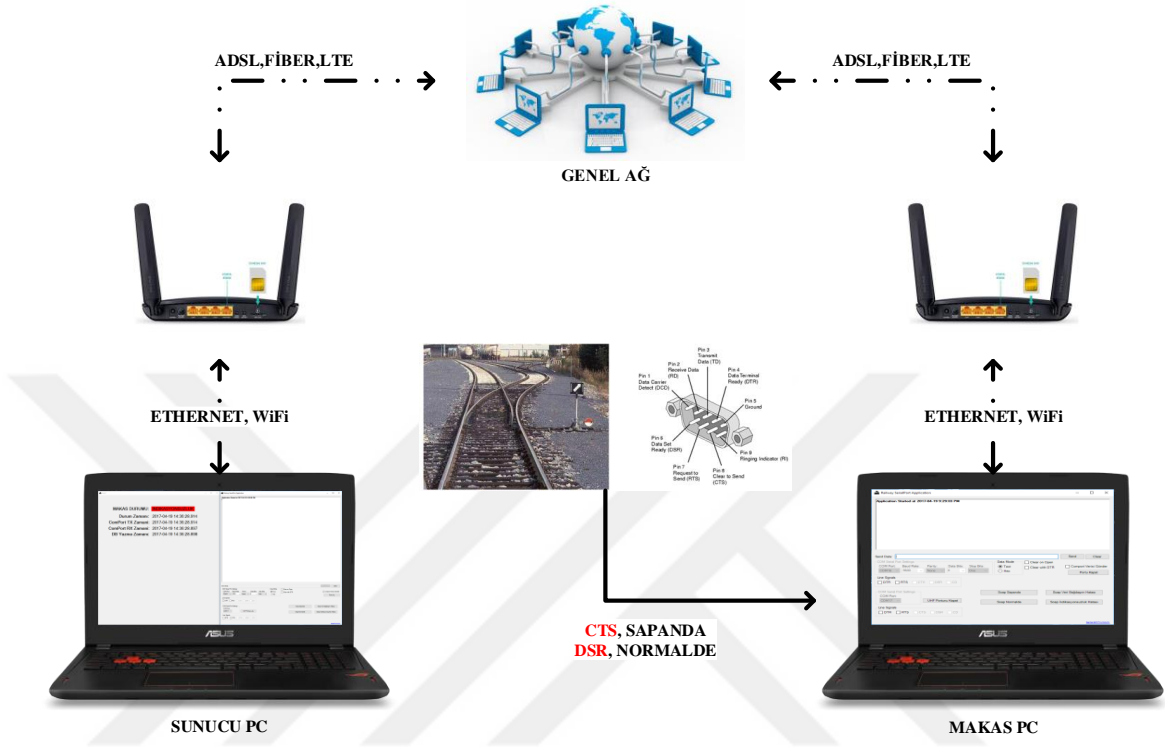
Sürelerinde aktarılmıştır.

### 6.1.2 İnternet uzak alan haberleşmesi

Makastan gelen verilerin PC1'den işlenerek PC1-Modem-Sağlayıcı-Modem-PC2 sıralaması ile PC2'e ulaştırılması için LTE ve Kablolu uzak alan bağlantısı kullanılmıştır.

**Şekil 35'** de diyagramı görülmektedir. Bilgisayarlarda zaman senkronizasyonu bakımından saniyelik fark olabilmesine karşın NTP [16] gibi

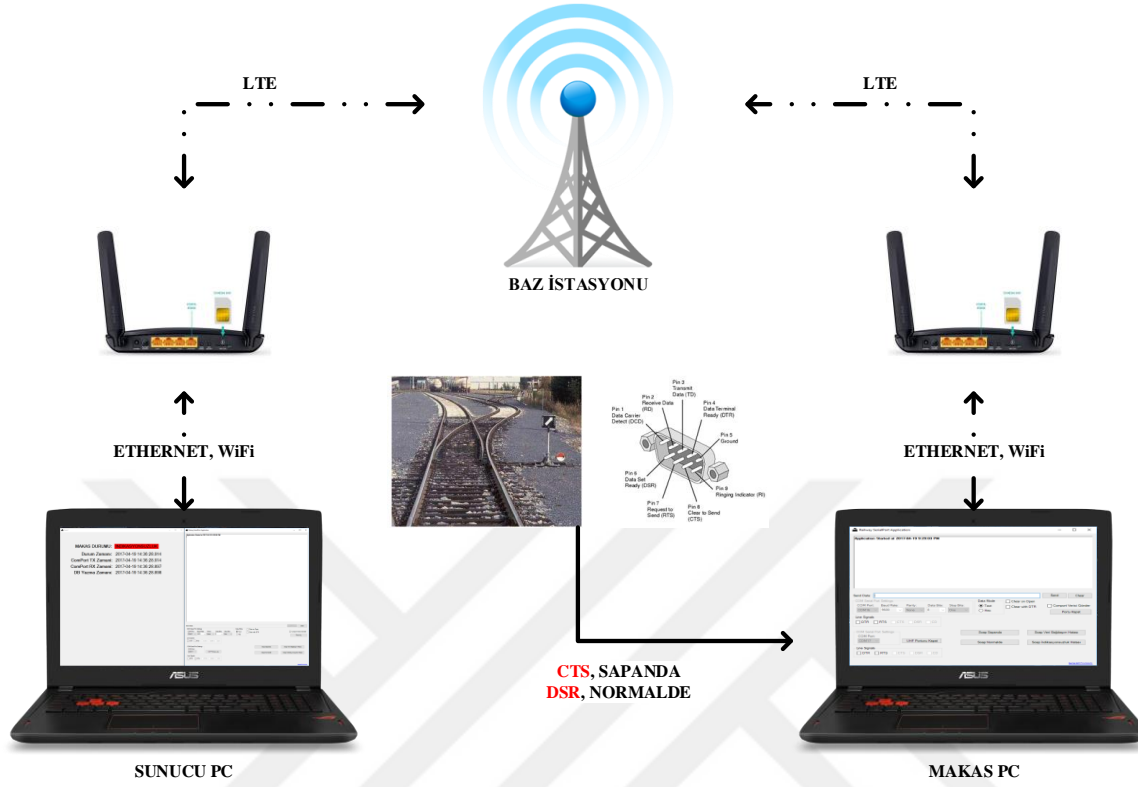
uygulamalar ile bu fark ciddi ölçüde (1-2 ms) azaltılabilmektedir. Bu yüzden haberleşen bilgisayarlara NTP uygulaması kurulmuştur.



Şekil 35: Uzak alan haberleşme diyagramı

### 6.1.2.1 LTE haberleşmesi

Makasta oluşan bilginin PC de işlenerek sunucuya LTE üzerinden gelen ağın aktarılmasının diyagramı Şekil 36' teki gibidir. Sunucu PC ile Makas PC, LTE üzerinden modeme gelen veriyi WiFi veya Ethernet protokolü üzerinden almaktadır.

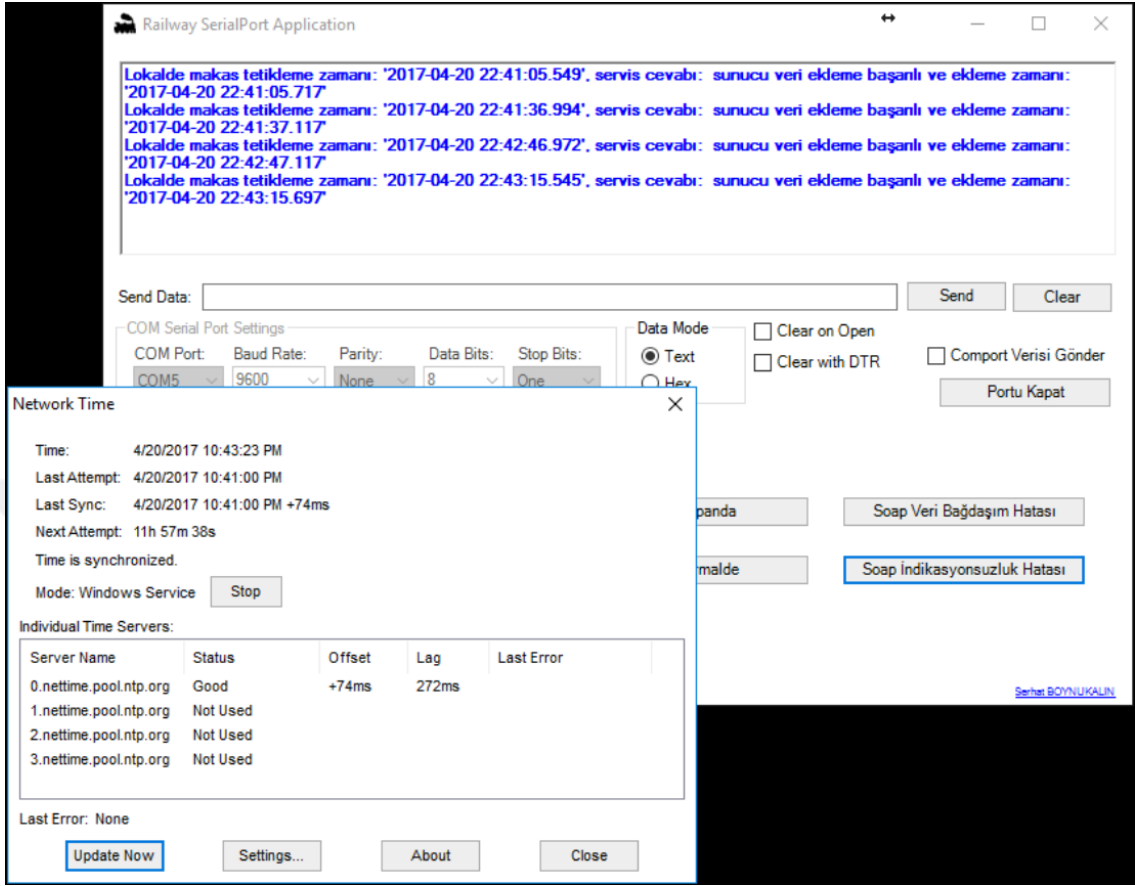


**Şekil 36:** LTE uzak alan yoluyla haberleşme diyagramı.

Aşağıda LTE üzerinden gelen ağır kablolu ve kablosuz olarak dağıtılması ve dağıtılan ağın sayesinde bilgisayarlar arasındaki haberleşme verilerinin detayları anlatılmıştır.

#### 6.1.2.1.1 LTE hattı destekli uzak alan - WiFi haberleşmesi

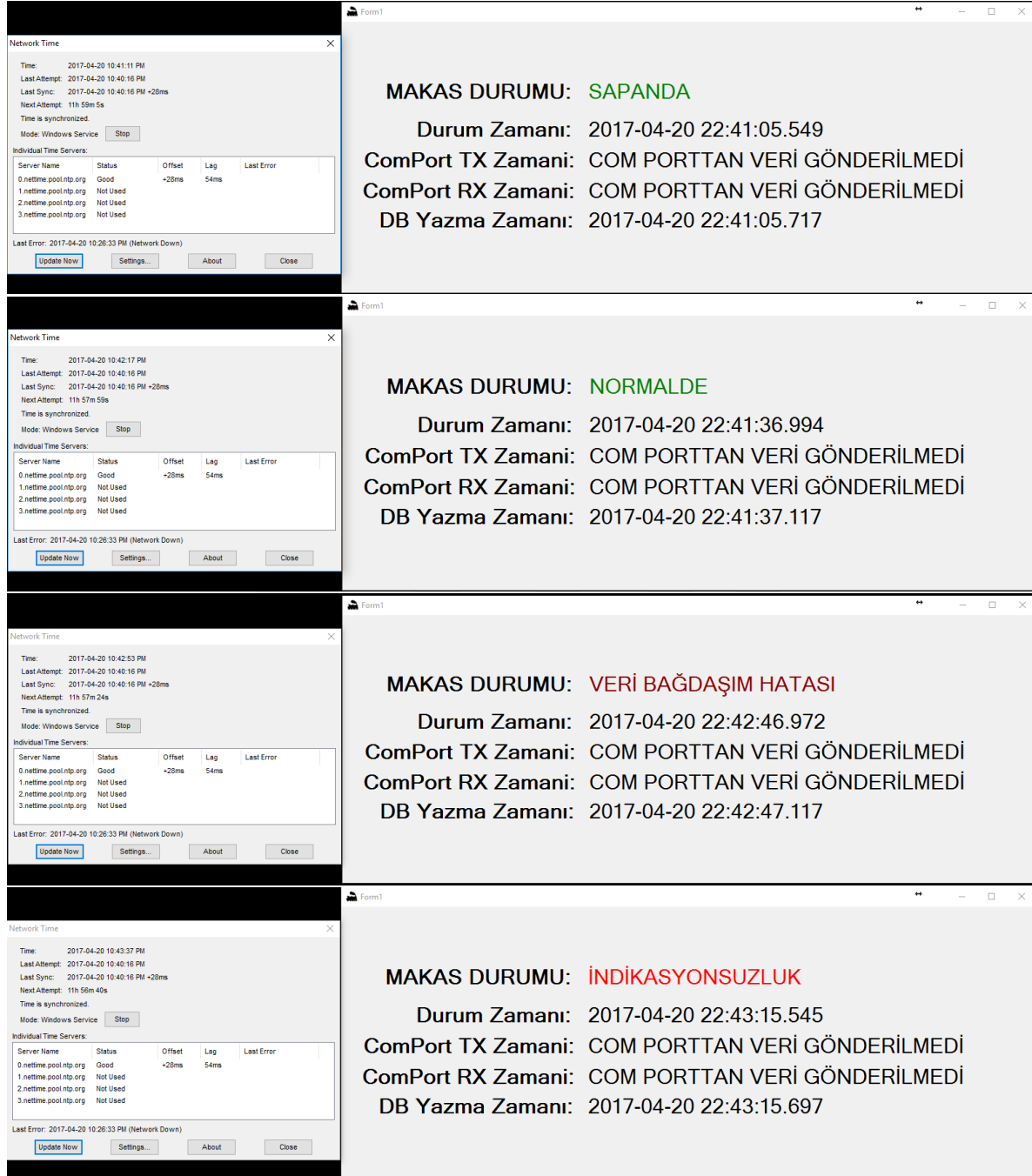
Yakın alanda WiFi ile modeme bağlanılıp modem üzerinden de LTE veri hattı (Turktelekom) üzerinden uzaktaki sunucuya veri gönderimi yapılmıştır. **Şekil 37'** da bu işlemin milisaniye cinsinden hassasiyetle gönderilimi örneklenmiştir.



**Şekil 37:** Makas üzerinden tetiklenen verinin uzak alana WiFi üzerinden çıkıp sunucuya veri göndermesi

Sunucu üzerinde gönderilen verilerin logu SQL Serverde tutulmaktadır. Ayrıca indikasyon için yazılan uygulamada bu değişim anında SQL Dependency tetiklemesi ile gösterilmiştir.

**Şekil 38'**de bu işlemin detayları görülebilir, ayrıca **Şekil 39'**de de SQL'de depolanan veriler görülebilir.



Şekil 38: İndikasyon uygulaması ile veri değişiminin gösterilmesi



ID	CIHAZ_ID	NORMALDE	SAPANDA	INDIKASYONSUZLUK	VERIBAGDASIMHATASI	DURUM_ZAMANI	SUNUCU_ERISIM_ZAMANI
211	1311	1	0	1	0	2017-04-20 22:41:05.549	2017-04-20 22:41:05.717
212	1312	1	1	0	0	2017-04-20 22:41:36.994	2017-04-20 22:41:37.117
213	1313	1	1	1	0	2017-04-20 22:42:46.972	2017-04-20 22:42:47.117
214	1314	1	0	0	1	2017-04-20 22:43:15.545	2017-04-20 22:43:15.697

**Şekil 39:** SQL Server’da depolanan veri

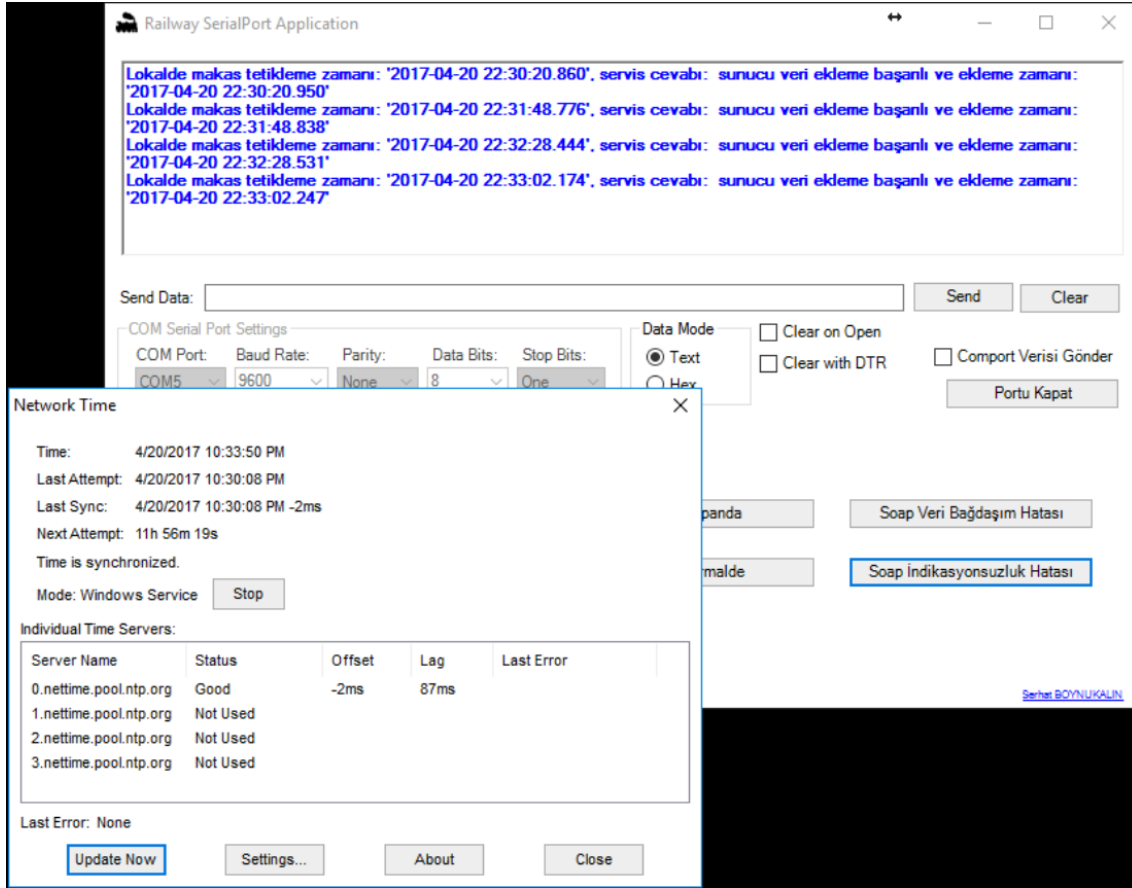
**Şekil 39’**de makas verisinin Makas PC’de oluşması ve Sunucu PC’ye erişmesinin zaman kayıtları görülmektedir:

- Sapanda, 168 ms
- Normalde, 123 ms
- Veri bağdaşım hatası, 145 ms
- İndikasyonsuzluk, 152 ms

Sürelerinde aktarılmıştır.

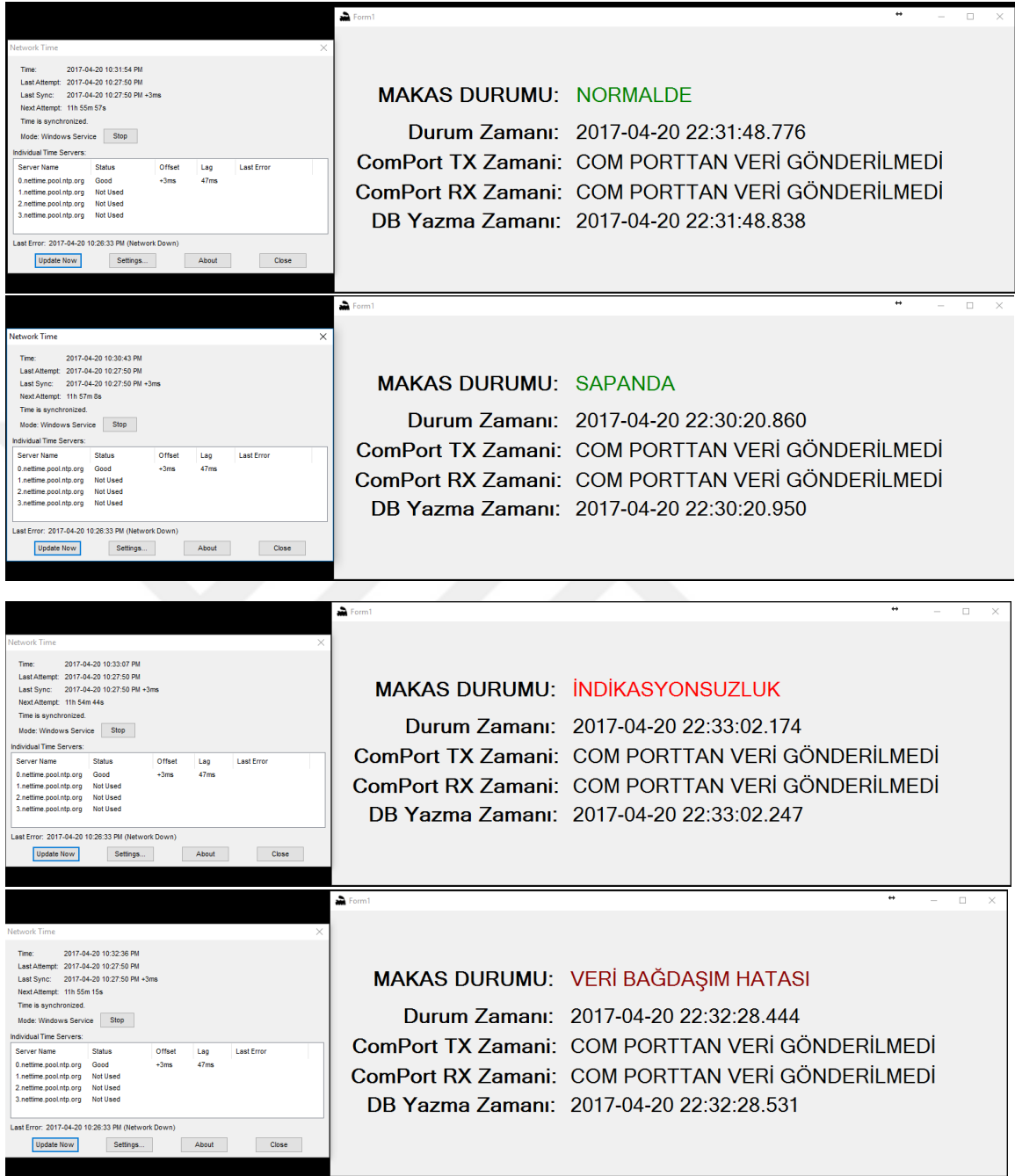
#### **6.1.2.1.2 Lte hattı destekli uzak alan - kablolu haberleşmesi**

Yakın alanda Kablo ile modeme bağlanılıp modem üzerinden de LTE veri hattı (Turktelekom) üzerinden uzaktaki sunucuya veri gönderimi yapılmıştır. **Şekil 40’** de bu işlemin milisaniye cinsinden hassasiyetle gönderilmesi örneklenmiştir.



**Şekil 40:** Makas üzerinden tetiklenen verinin uzak alana WiFi üzerinden çıkıp sunucuya veri göndermesi

Sunucu üzerinde gönderilen verilerin kayıtları SQL’de tutulmaktadır. Ayrıca indikasyon için yazılan uygulamada bu değişim anında SQL Dependency tetiklemesi ile gösterilmiştir. **Şekil 41**’ de bunun detayları görülebilir, ayrıca **Şekil 42** ’de de SQL’de depolanan veriler görülebilir.



Şekil 41: İndikasyon uygulaması ile veri değişiminin gösterilmesi

ID	CIHAZ_ID	NORMALDE	SAPANDA	INDIKASYONSUZLUK	VERIBAGDASIMHATASI	DURUM_ZAMANI	SUNUCU_ERISIM_ZAMANI
207	1307	1	0	1	0	2017-04-20 22:30:20.860	2017-04-20 22:30:20.950
208	1308	1	1	0	0	2017-04-20 22:31:48.776	2017-04-20 22:31:48.838
209	1309	1	1	1	0	2017-04-20 22:32:28.444	2017-04-20 22:32:28.531
210	1310	1	0	0	1	2017-04-20 22:33:02.174	2017-04-20 22:33:02.247

Şekil 42: SQL Server'da depolanan veri

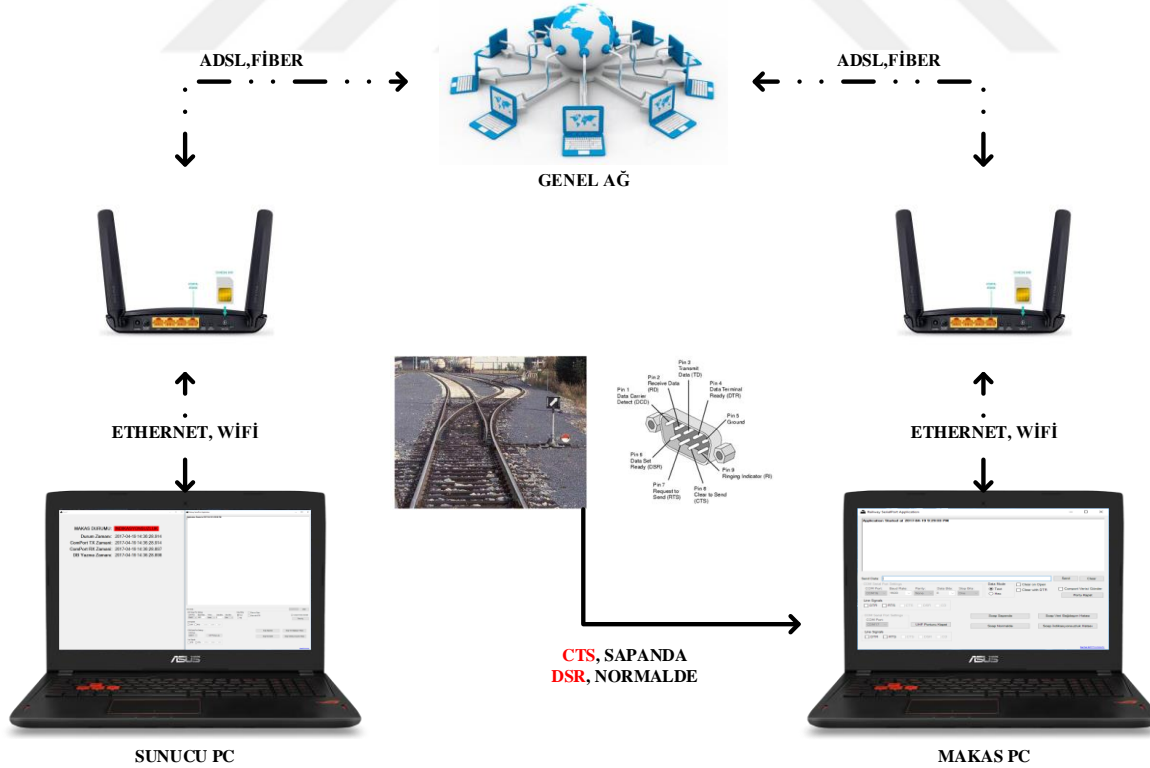
Şekil 42 'de makas verisinin Makas PC'de oluşması ve Sunucu PC'ye erişmesinin zaman kayıtları görülmektedir:

- Sapanda, 90 ms
- Normalde, 62 ms
- Veri bağdaşım hatası, 87 ms
- İndikasyonsuzluk, 73 ms

Sürelerinde aktarılmıştır.

### 6.1.2.2 Kablolu (ADSL, fiber) haberleşmesi

Makasta oluşan bilginin PC de işlenerek sunucuya kablolu uzak alan üzerinden aktarılmasına ilişkin diyagram Şekil 43'teki gibidir. Sunucu PC ile Makas PC, ADSL-Fiber üzerinden modeme gelen veriyi WiFi veya Ethernet protokolü üzerinden almaktadır.

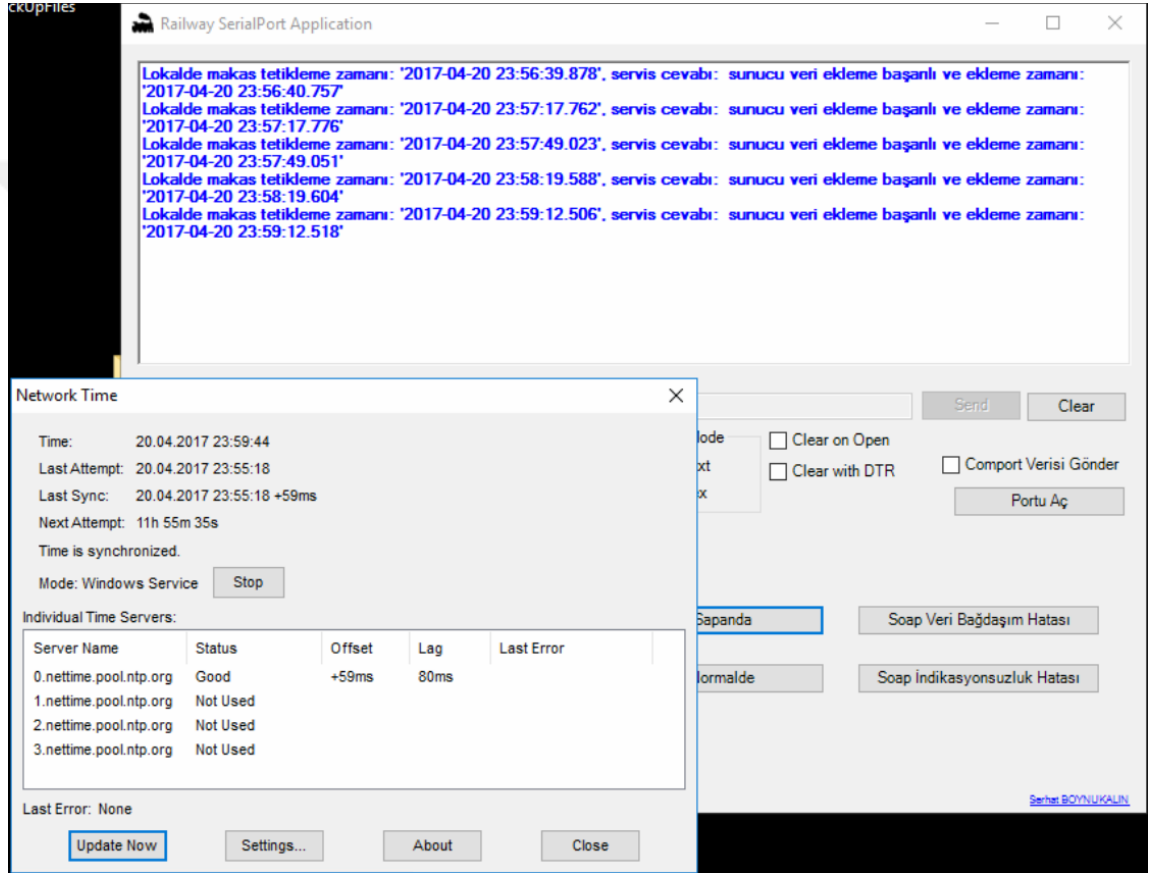


Şekil 43: Kablolu uzak alan yoluyla haberleşme diyagramı.

Aşağıda ADSL-Fiber üzerinden gelen ağın kablolu ve kablosuz olarak dağıtılması ve dağıtılan ağın sayesinde bilgisayarlar arasındaki haberleşme verilerinin detayları anlatılmıştır.

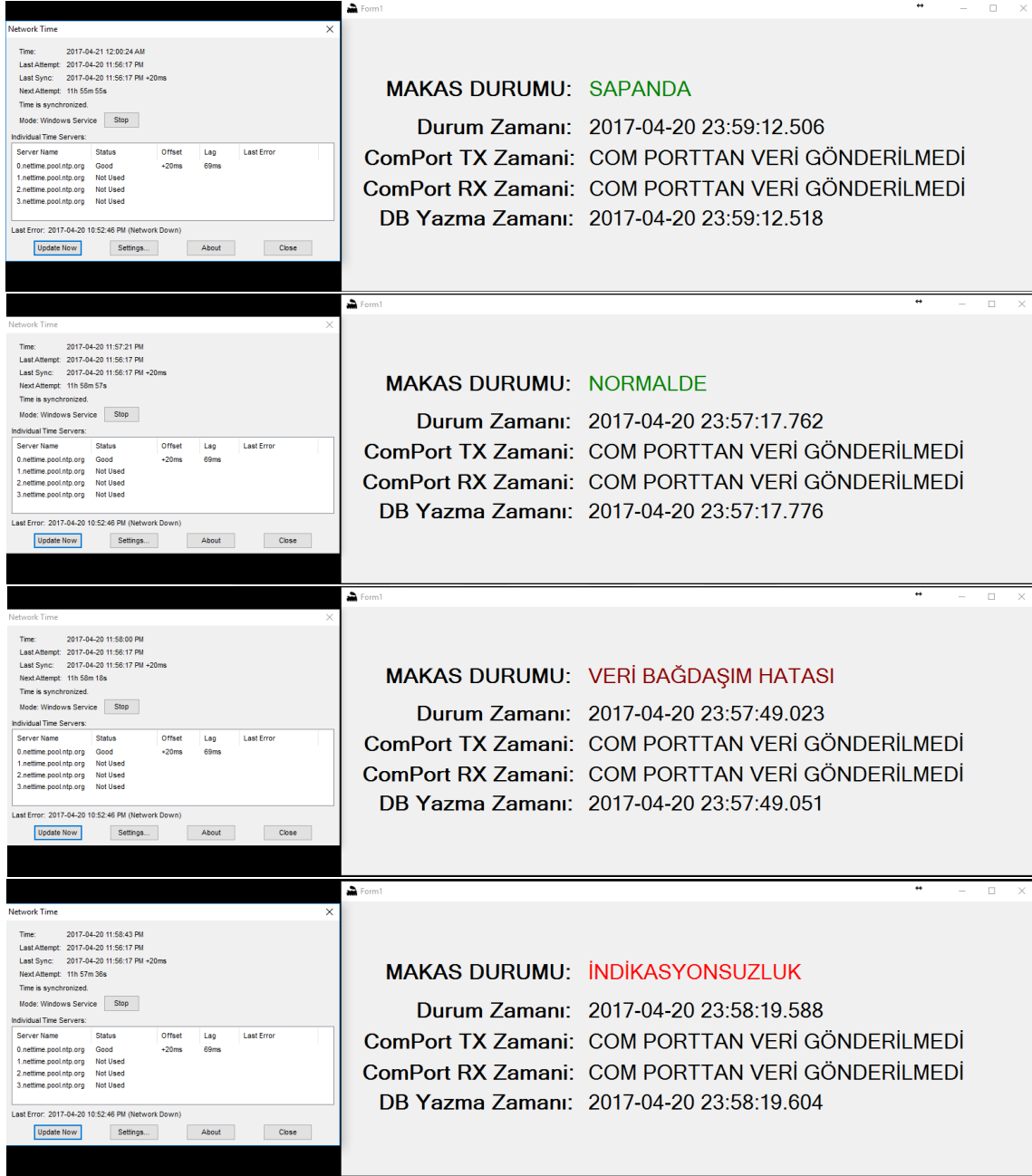
#### 6.1.2.2.1 Kablolu ağ destekli uzak alan - WiFi haberleşmesi

Yakın alanda WiFi ile modeme bağlanılıp modem üzerinden de ADSL, Fiber üzerinden uzaktaki sunucuya veri gönderimi yapılmıştır. Şekil 44’da bu işlemin milisaniye cinsinden hassasiyetle gönderilmesi örneklenmiştir.



Şekil 44: Makas üzerinden tetiklenen verinin uzak alana WiFi üzerinden çıkıp sunucuya veri göndermesi

Sunucu üzerinde gönderilen verilerin kayıtları SQL’de tutulmaktadır. Ayrıca indikasyon için yazılan uygulamada bu değişim anında SQL Dependency tetikleme ile gösterilmiştir. Şekil 45’de bunun detayları görülebilir, ayrıca Şekil 46’da da SQL’de depolanan veriler görülebilir.



Şekil 45: İndikasyon uygulaması ile veri değişiminin gösterilmesi

ID	CIHAZ_ID	NORMALDE	SAPANDA	INDIKASYONSUZLUK	VERIBAGDASIMHATASI	DURUM_ZAMANI	SUNUCU_ERISIM_ZAMANI
215	1315	1	0	1	0	2017-04-20 23:56:39.878	2017-04-20 23:56:40.757
216	1316	1	1	0	0	2017-04-20 23:57:17.762	2017-04-20 23:57:17.776
217	1317	1	1	0	1	2017-04-20 23:57:49.023	2017-04-20 23:57:49.051
218	1318	1	0	1	0	2017-04-20 23:58:19.588	2017-04-20 23:58:19.604
219	1319	1	0	1	0	2017-04-20 23:59:12.506	2017-04-20 23:59:12.518

**Şekil 46:** SQL’ de depolanan veri

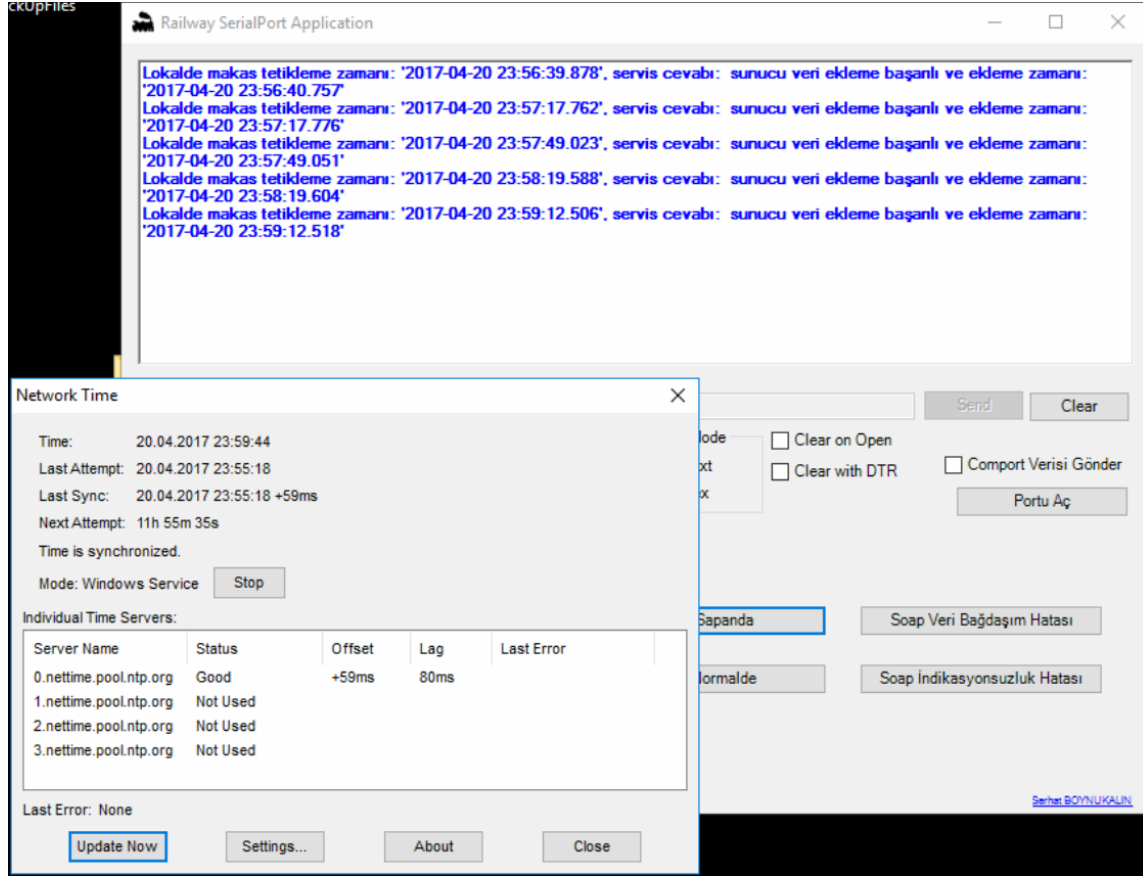
Şekil 46’ de makas verisinin Makas PC’de oluşması ve Sunucu PC’ye erişmesinin zaman kayıtları görülmektedir:

- Sapanda, 12 ms
- Normalde, 14 ms
- Veri bağdaşım hatası, 28 ms
- İndikasyonsuzluk, 16 ms

Sürelerinde aktarılmıştır.

#### **6.1.2.2.2 Kablolu ağ destekli uzak alan ağ kablolu haberleşmesi**

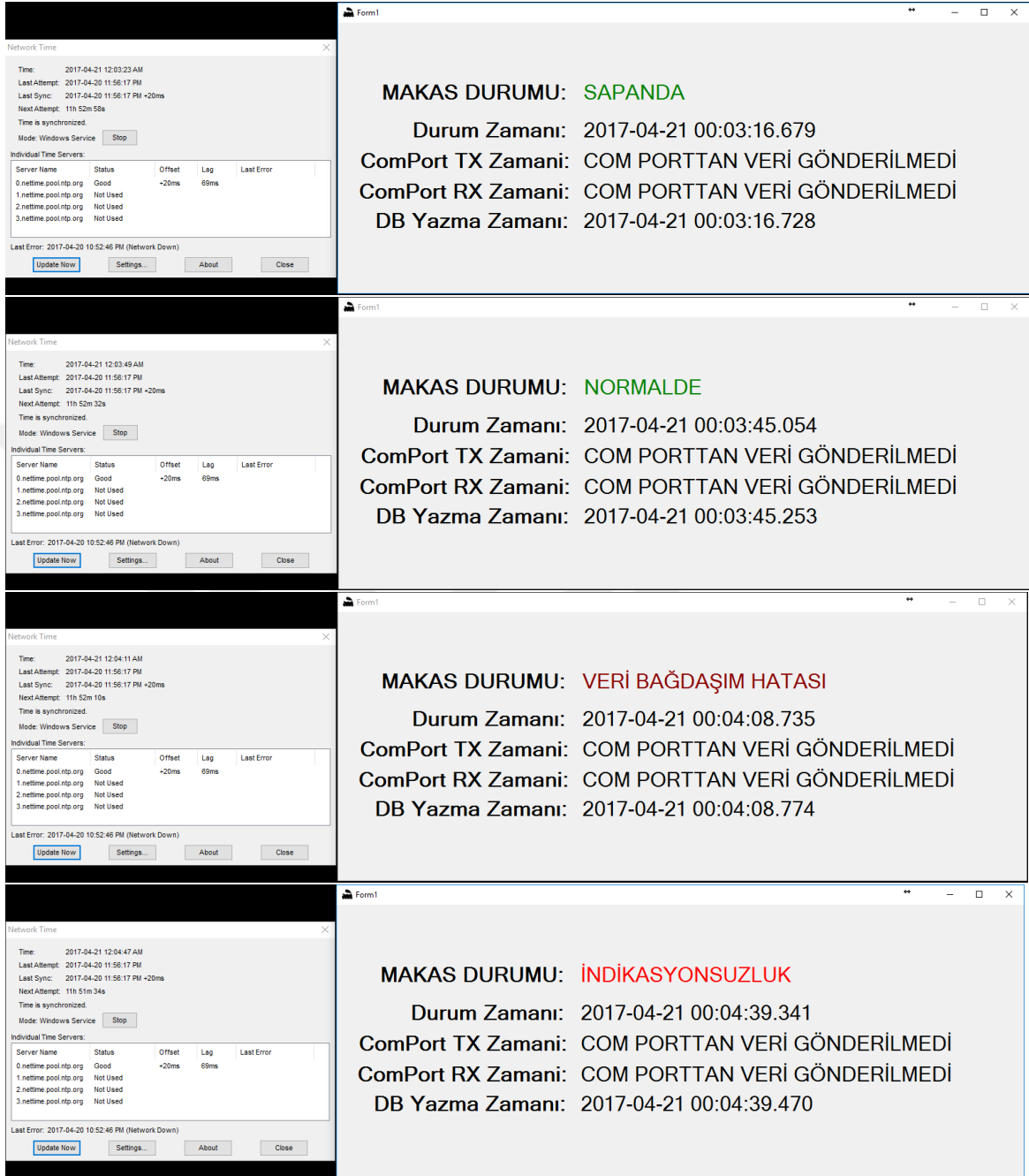
Yakın alanda Ethernet ile modeme bağlanılıp modem üzerinden de ADSL, Fiber üzerinden uzaktaki sunucuya veri gönderimin yapılmıştır. Şekil 47’da bu işlemin milisaniye cinsinden hassasiyetle gönderilimi örneklenmiştir.



**Şekil 47:** Makas üzerinden tetiklenen verinin uzak alana WiFi üzerinden çıkıp sunucuya veri göndermesi

Sunucu üzerinde gönderilen verilerin kayıtları SQL’ de tutulmaktadır. Ayrıca indikasyon için yazılan uygulamada bu değişim anında SQL Dependency tetiklemesi ile gösterilmiştir. **Şekil 48’** da bunun detayları görülebilir, ayrıca **Şekil 49’**de de SQL’de depolanan veriler görülebilir.





Şekil 48: İndikasyon uygulaması ile veri değişiminin gösterilmesi

ID	CIHAZ_ID	NORMALDE	SAPANDA	INDIKASYONSUZLUK	VERIBAGDASIMHATASI	DURUM_ZAMANI	SUNUCU_ERISIM_ZAMANI
196	1296	1	0	1	0	2017-04-20 21:44:25.146	2017-04-20 21:44:25.203
197	1297	1	1	0	0	2017-04-20 21:46:09.857	2017-04-20 21:46:09.923
198	1298	1	1	0	1	2017-04-20 21:47:07.322	2017-04-20 21:47:07.387
199	1299	1	0	0	1	2017-04-20 21:48:02.383	2017-04-20 21:48:02.443

**Şekil 49:** SQL Server’da depolanan veri

**Şekil 48’**da makas verisinin Makas PC’de oluşması ve Sunucu PC’ye erişmesinin zaman kayıtları görülmektedir (veriler **Şekil 48’**daki indikasyonların başka zamanlarda örneklenmiş halidir):

- Sapanda, 57 ms
- Normalde, 66 ms
- Veri bağdaşım hatası, 65 ms
- İndikasyonsuzluk, 60 ms

Sürelerinde aktarılmıştır.

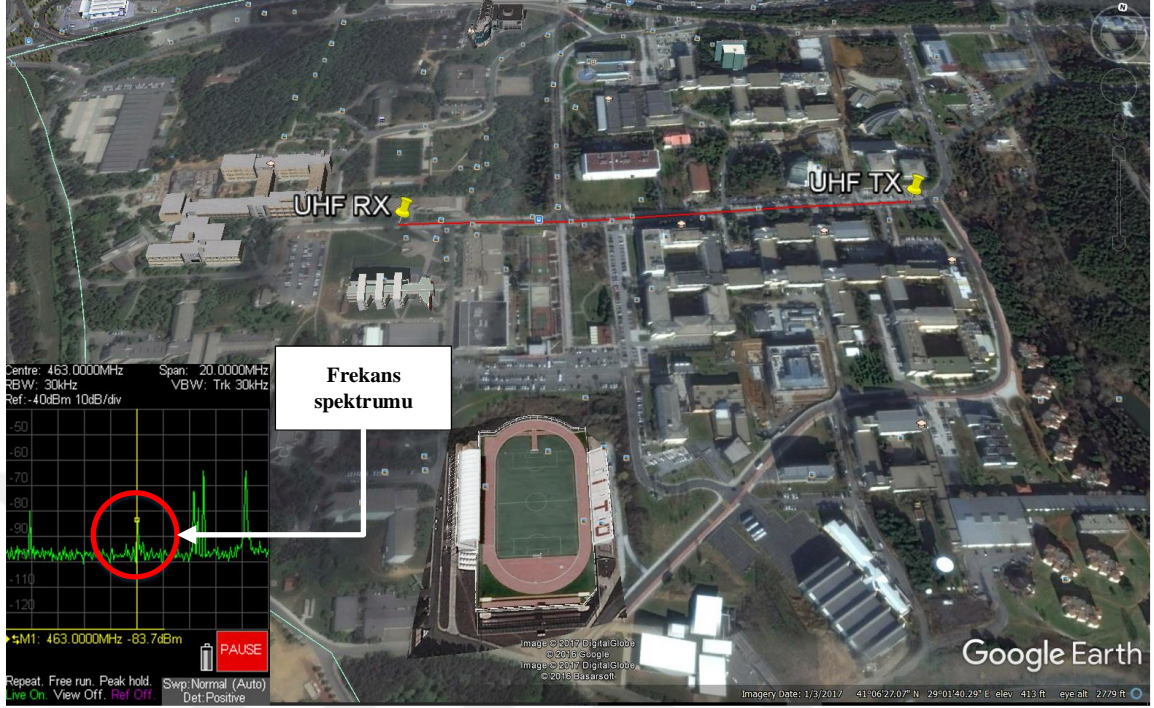
## 6.2 PDR221 ile UHF üzerinden haberleşme

Radius PDR 221 cihazı UHF bandında (463MHz) çalıştırılarak direkt cihaz-cihaz haberleşmesi gerçekleştirildi.



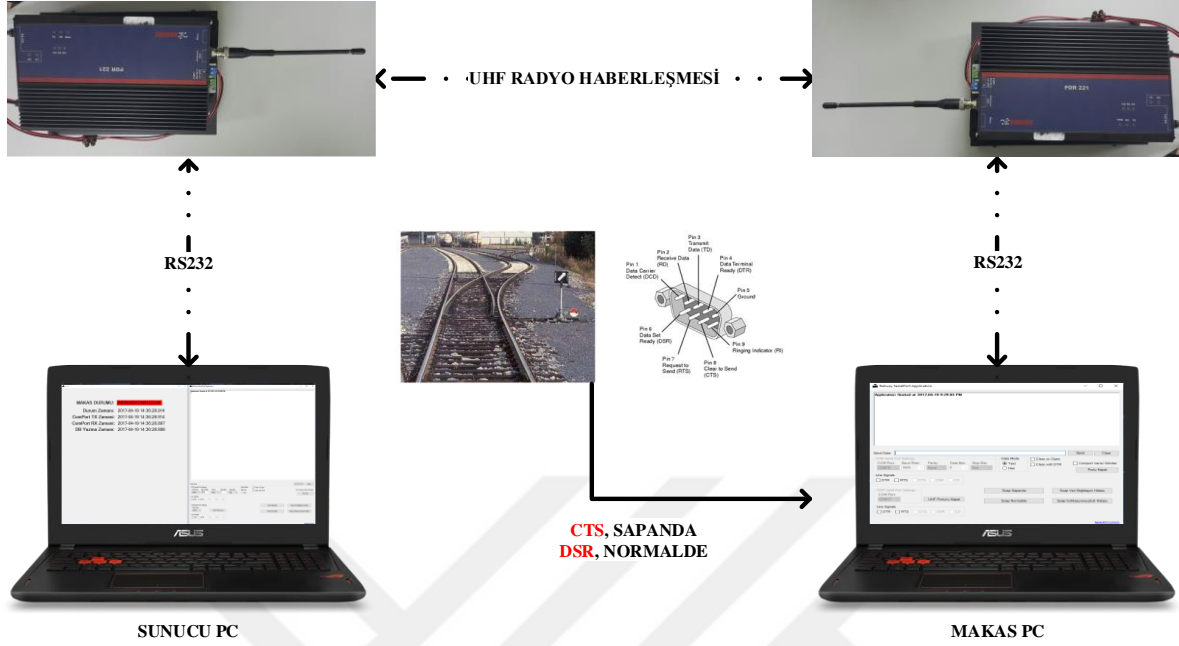
**Şekil 50:** RADIUS PDR 221, UHF radyo cihazı

İTÜ Ayazağa yerleşkesi içinde **Şekil 51’** de görülen sahada haberleşme testi yapıldı ve maksimum haberleşme mesafesi 550 metre olarak ölçüldü.

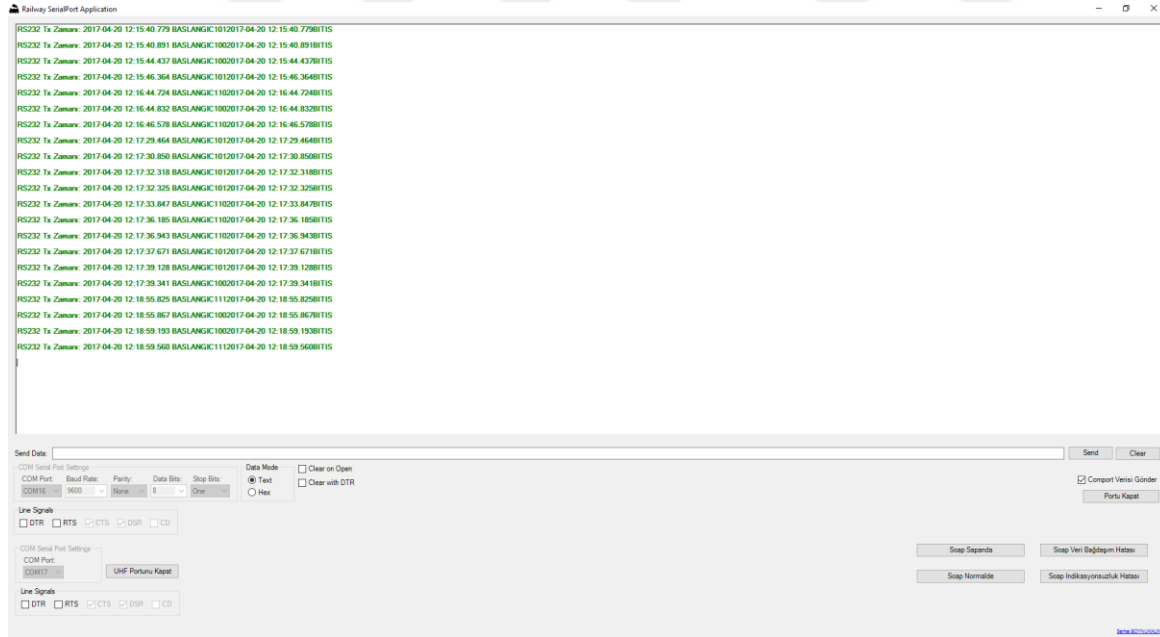


**Şekil 51:** UHF Cihazı saha testi

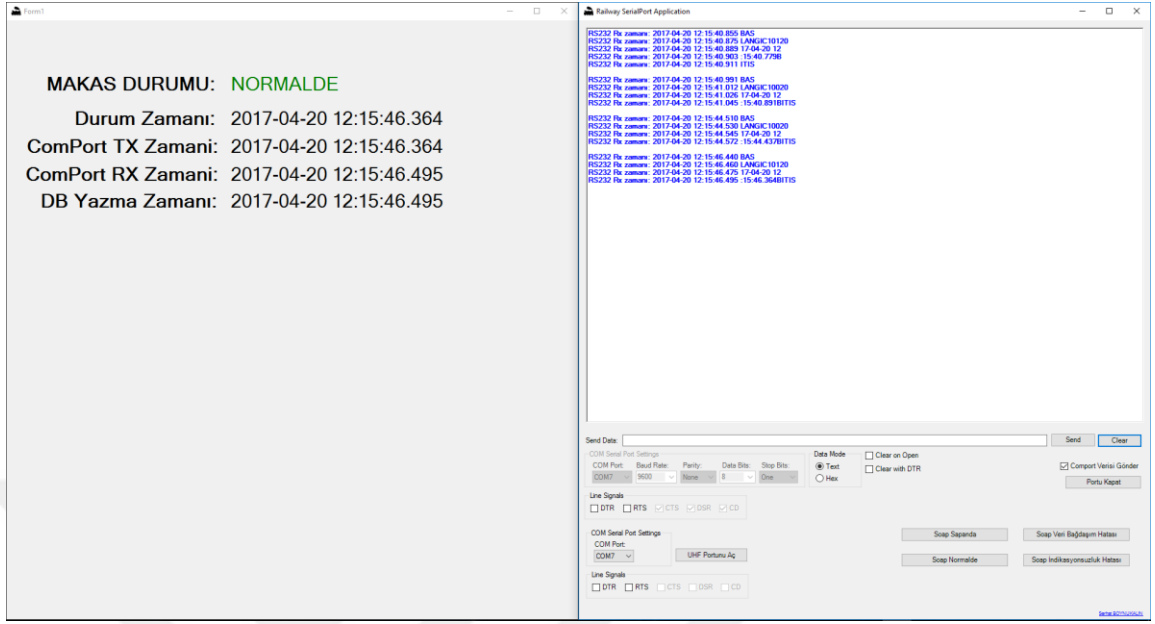
Makasta oluşan bilginin PC’ de işlenerek sunucuya UHF radyosu üzerinden aktarılma diyagramı **Şekil 52’** deki gibidir. Bu haberleşmenin örnek verileri **Şekil 53, Şekil 54, Şekil 55, Şekil 56 ve Şekil 57’** de gösterilmektedir. **Şekil 53** makas tarafından yayın yapan PC, UHF TX radyosunu göstermektedir. **Şekil 54, Şekil 55, Şekil 56 ve Şekil 57** ise alıcı kısmı PC, UHF RX radyosunu gösterir. Alıcı kısmı şekillerinin sağ tarafındaki kısım *COM* porttan gelen veriyi sol kısım ise gelen verinin indikasyonunun uygulama ile anlamlı şekilde gösterimidir.



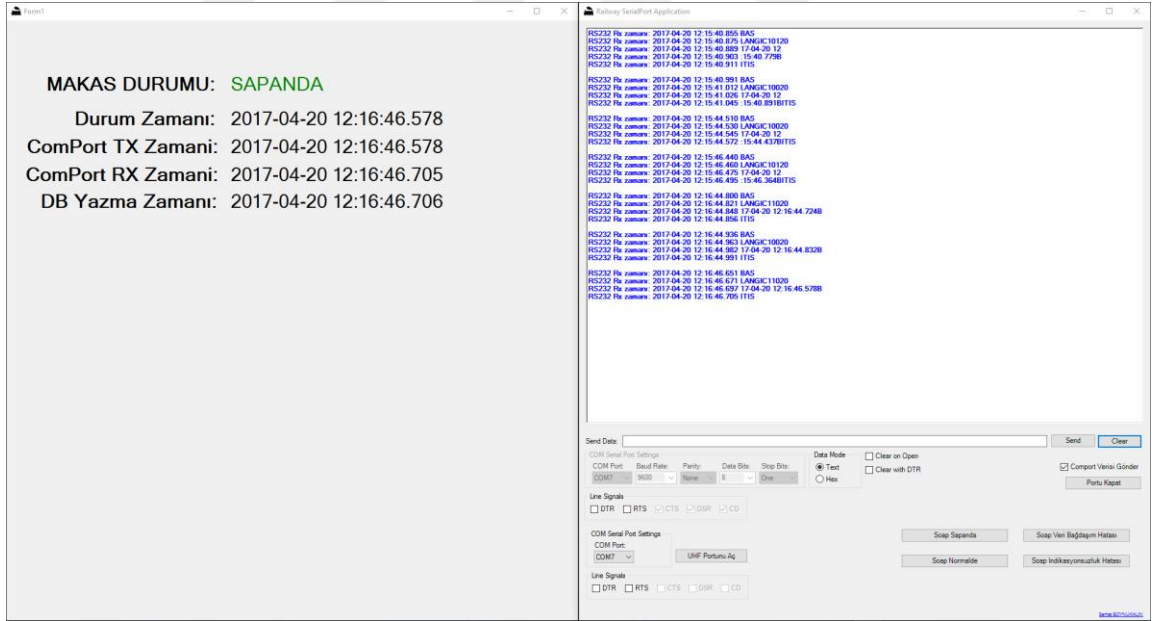
Şekil 52: UHF radyo yoluyla haberleşme diyagramı.



Şekil 53: PDR 221 UHF radyo' dan gönderilen makas konumları

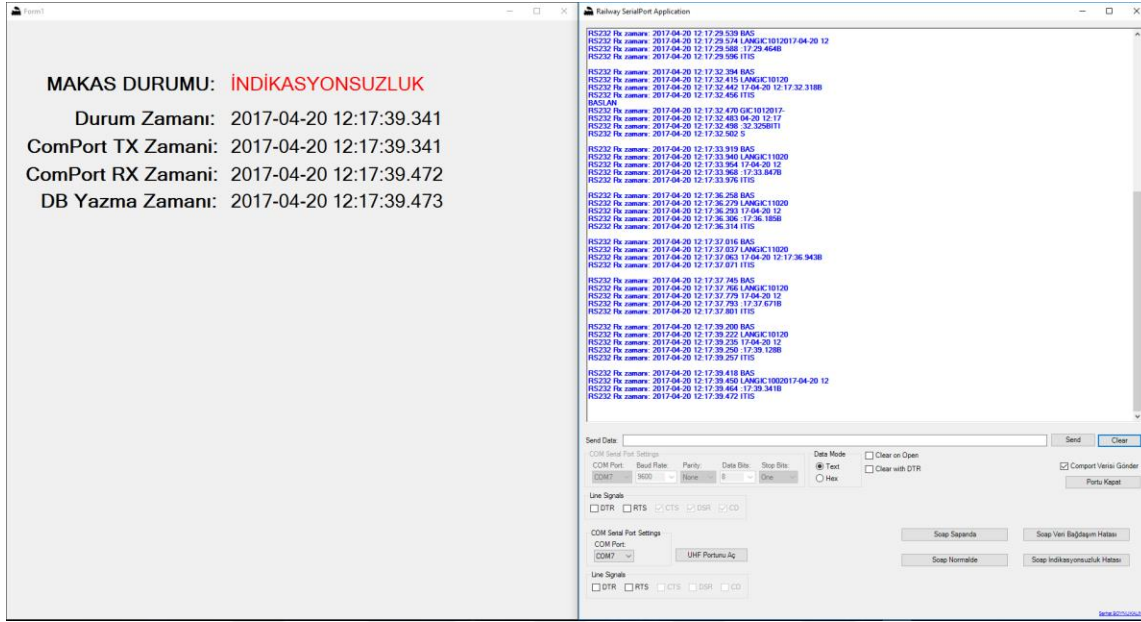


Şekil 54: Makasın normale çekilmesini sunucu tarafının algılaması.

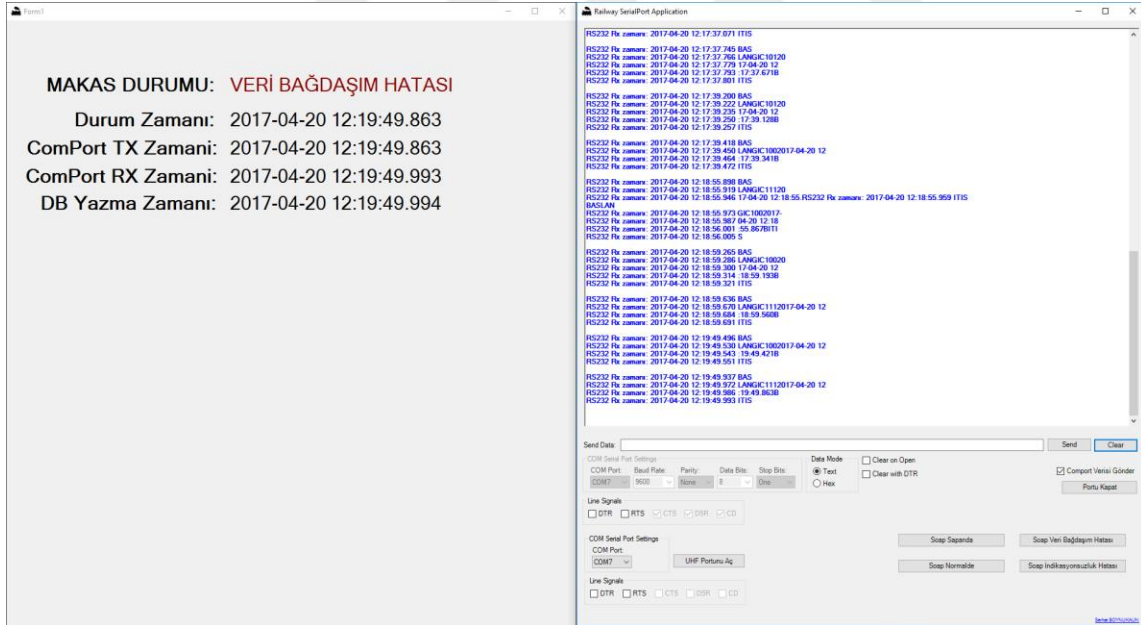


Şekil 55: Makasın sapana çekilmesini sunucu tarafının algılaması.





Şekil 56: Makasın sapanda ve normalde olmasının sunucu tarafından algılanması.



Şekil 57: Makasın hem sapanda hem de normalde olduğunun sunucu tarafından algılanması.

ID	CIHAZ_ID	NORMALDE	SAPANDA	INDIKASYONSUZLUK	VERIBAGDASIMHATASI	DURUM_ZAMANI	COMPORT_TX	COMPORT_RX	SUNUCU_ERISIM_ZAMANI
1	1101	1	0	0	0	2017-04-20 12:15:40.779	2017-04-20 12:15:40.779	2017-04-20 12:15:40.911	2017-04-20 12:15:40.912
2	1102	1	0	0	1	2017-04-20 12:15:40.891	2017-04-20 12:15:40.891	2017-04-20 12:15:41.045	2017-04-20 12:15:41.046
3	1103	1	0	0	1	2017-04-20 12:15:44.437	2017-04-20 12:15:44.437	2017-04-20 12:15:44.572	2017-04-20 12:15:44.572
4	1104	1	0	0	0	2017-04-20 12:15:46.364	2017-04-20 12:15:46.364	2017-04-20 12:15:46.495	2017-04-20 12:15:46.495
5	1105	1	0	1	0	2017-04-20 12:16:44.724	2017-04-20 12:16:44.724	2017-04-20 12:16:44.856	2017-04-20 12:16:44.858
6	1106	1	0	0	1	2017-04-20 12:16:44.832	2017-04-20 12:16:44.832	2017-04-20 12:16:44.991	2017-04-20 12:16:44.992
7	1107	1	0	1	0	2017-04-20 12:16:46.578	2017-04-20 12:16:46.578	2017-04-20 12:16:46.705	2017-04-20 12:16:46.706
8	1108	1	1	0	0	2017-04-20 12:17:29.464	2017-04-20 12:17:29.464	2017-04-20 12:17:29.596	2017-04-20 12:17:29.598
9	1109	1	1	0	0	2017-04-20 12:17:32.318	2017-04-20 12:17:32.318	2017-04-20 12:17:32.502	2017-04-20 12:17:32.503
10	1110	1	0	1	0	2017-04-20 12:17:33.847	2017-04-20 12:17:33.847	2017-04-20 12:17:33.976	2017-04-20 12:17:33.977
11	1111	1	0	1	0	2017-04-20 12:17:36.185	2017-04-20 12:17:36.185	2017-04-20 12:17:36.314	2017-04-20 12:17:36.315
12	1112	1	0	1	0	2017-04-20 12:17:36.943	2017-04-20 12:17:36.943	2017-04-20 12:17:37.071	2017-04-20 12:17:37.071
13	1113	1	1	0	0	2017-04-20 12:17:37.671	2017-04-20 12:17:37.671	2017-04-20 12:17:37.801	2017-04-20 12:17:37.802
14	1114	1	1	0	0	2017-04-20 12:17:39.128	2017-04-20 12:17:39.128	2017-04-20 12:17:39.257	2017-04-20 12:17:39.258
15	1115	1	0	0	1	2017-04-20 12:17:39.341	2017-04-20 12:17:39.341	2017-04-20 12:17:39.472	2017-04-20 12:17:39.473
16	1116	1	0	0	1	2017-04-20 12:18:59.193	2017-04-20 12:18:59.193	2017-04-20 12:18:59.321	2017-04-20 12:18:59.322
17	1117	1	1	1	0	2017-04-20 12:18:59.560	2017-04-20 12:18:59.560	2017-04-20 12:18:59.691	2017-04-20 12:18:59.692
18	1118	1	0	0	1	2017-04-20 12:19:49.421	2017-04-20 12:19:49.421	2017-04-20 12:19:49.551	2017-04-20 12:19:49.554
19	1119	1	1	1	0	2017-04-20 12:19:49.863	2017-04-20 12:19:49.863	2017-04-20 12:19:49.993	2017-04-20 12:19:49.994
20	1120	1	0	0	1	2017-04-20 12:20:20.341	2017-04-20 12:20:20.341	2017-04-20 12:20:20.472	2017-04-20 12:20:20.475

Şekil 58: SQL kayıtları.

Şekil 58’ de makas verisinin Makas PC’de oluşması ve Sunucu PC’ye erişmesinin zaman kayıtları görülmektedir:

- Sapanda, 127 ms
- Normalde, 131 ms
- Veri bağdaşım hatası, 131 ms
- İndikasyonsuzluk, 132 ms

Sürelerinde aktarılmıştır.

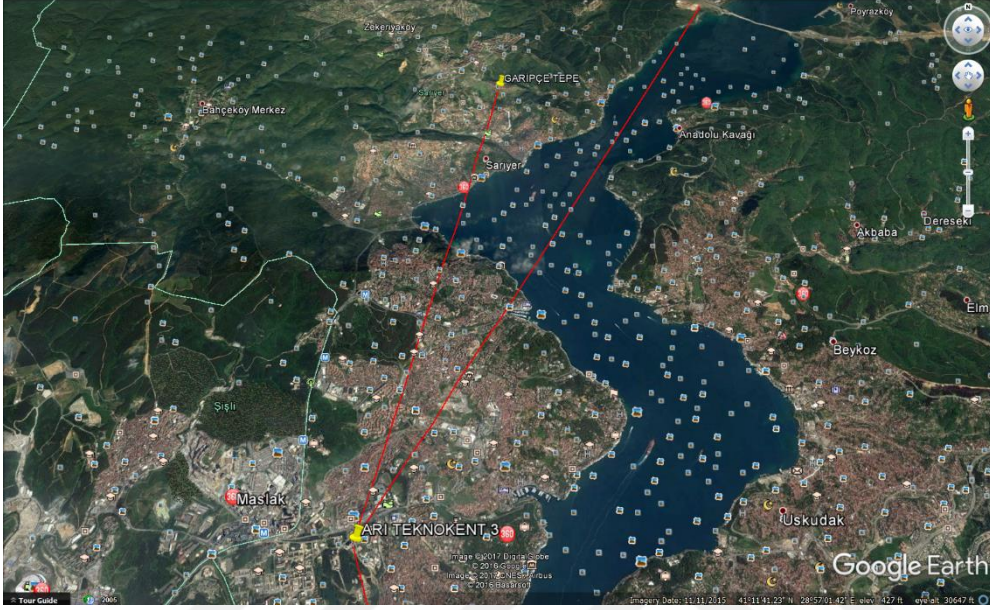
### 6.3 Dorji DRF1278DM(Lora) ile UHF üzerinden haberleşme

Lora data modemi UHF bandında (433 MHz’ de) çalıştırılarak cihaz-cihaz saha teslerine çıkıldı.



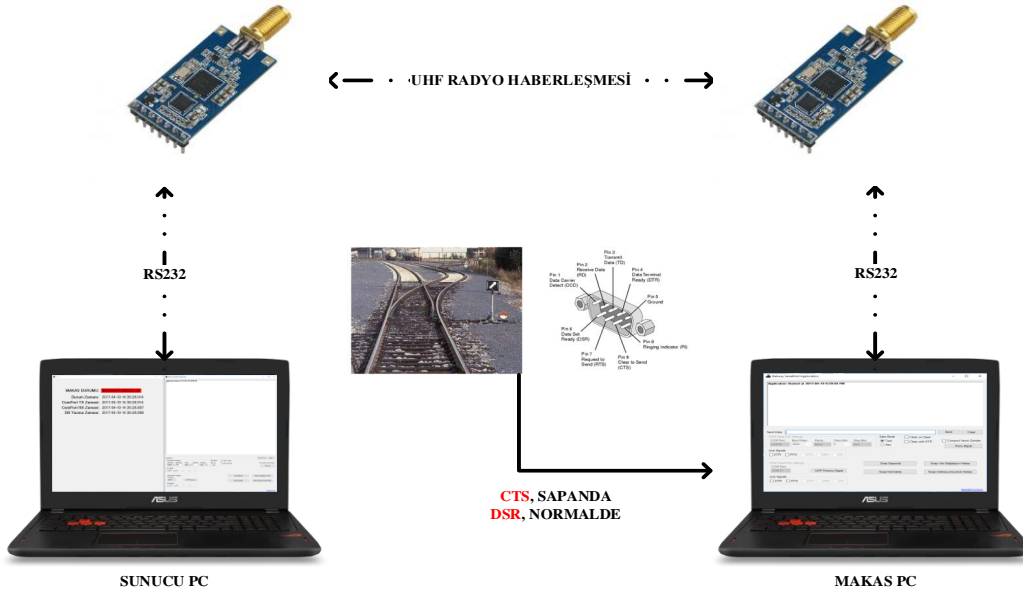
Şekil 59: Lora data (veri) modem

Lora ile yapılan saha testlerinde İTÜ'nün içi tamamen kapsandığı gibi kampüs dışına çıktığında Şekil 60' da görülen saha'da (8486m) başarılı şekilde 40 bitlik bir veri aktarılmıştır.



Şekil 60: Lora test edilen menzil, İTÜ Arı 3 – Garipçe Sırtları (Sarıyerin Üstü)

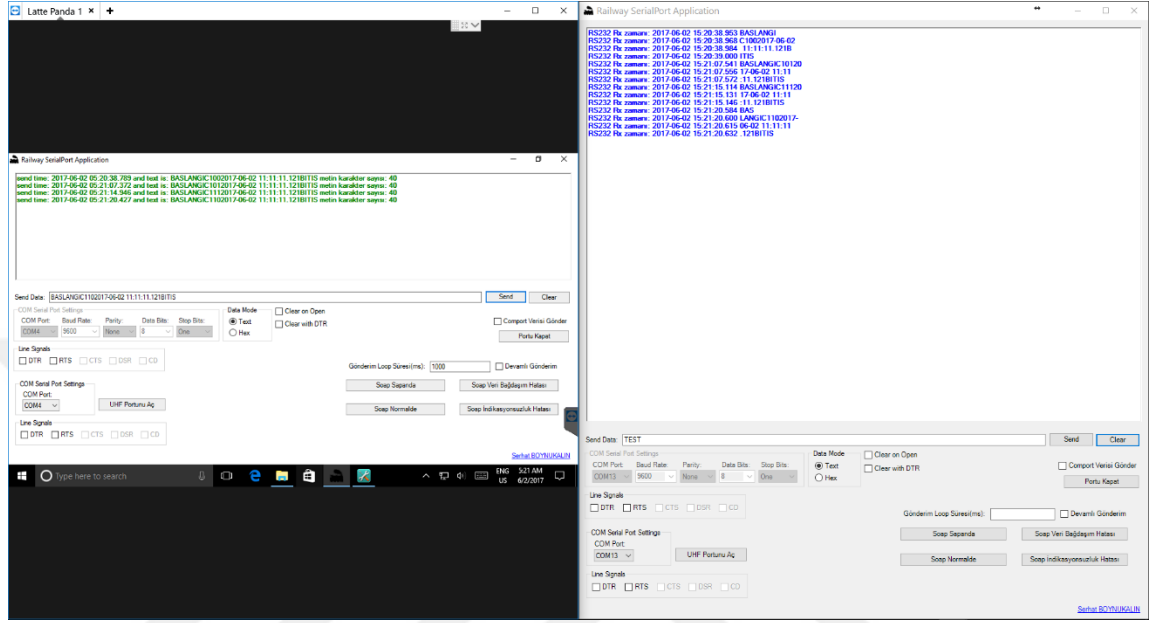
Lora data modem'in haberleşme diyagramı aşağıdaki gibidir.



Şekil 61: Lora haberleşme blok diyagramı



**Şekil 62** makasın simüle edilmesini göstermektedir. Makas normale, sapana, hem normale hem sapana, ne normale ne de sapana bilgisinin UHF üzerinden gönderilmesinin simüle edilmesi görülmektedir.



**Şekil 62:** Makasın Lora üzerinden simüle edilmesi

Makasın sümüle edilmesine ilişkin örnek loglar **Şekil 63** de görülmektedir.

ID	CIHAZ_ID	NORMALDE	SAPANDA	INDIKASYONSUZLUK	VERIBAGDASIMHATASI	DURUM_ZAMANI	COMPORT_TX	COMPORT_RX	SUNUCU_ERISIM_ZAMANI
1...	2647	1	1	0	1	2017-06-06 05:32:07.300	2017-06-06 05:32:07.300	2017-06-06 15:32:09.692	2017-06-06 15:32:09.692
1...	2648	1	1	0	1	2017-06-06 05:32:08.503	2017-06-06 05:32:08.503	2017-06-06 15:32:11.012	2017-06-06 15:32:11.012
1...	2649	1	1	0	1	2017-06-06 05:32:09.692	2017-06-06 05:32:09.692	2017-06-06 15:32:13.258	2017-06-06 15:32:13.258
1...	2650	1	1	0	1	2017-06-06 05:32:12.076	2017-06-06 05:32:12.076	2017-06-06 15:32:14.529	2017-06-06 15:32:14.529
1...	2651	1	1	0	1	2017-06-06 05:32:13.269	2017-06-06 05:32:13.269	2017-06-06 15:32:17.998	2017-06-06 15:32:17.998
1...	2652	1	1	0	1	2017-06-06 05:32:16.861	2017-06-06 05:32:16.861	2017-06-06 15:32:19.280	2017-06-06 15:32:19.280
1...	2653	1	1	0	1	2017-06-06 05:32:18.041	2017-06-06 05:32:18.041	2017-06-06 15:32:20.593	2017-06-06 15:32:20.593
1...	2655	1	1	0	1	2017-06-06 05:32:21.639	2017-06-06 05:32:21.639	2017-06-06 15:32:24.015	2017-06-06 15:32:24.015

**Şekil 63:** Makasın simüle edilmesine ilişkin loglar

Bütün durumlar simüle edildiğinde veri aktarım hızları ortalama aşağıdaki gibi görülmektedir:

- Sapanda, 205 ms
- Normalde, 200 ms
- Veri bağdaşım hatası, 200 ms
- İndikasyonsuzluk, 211 ms

Sürelerinde aktarılmıştır.

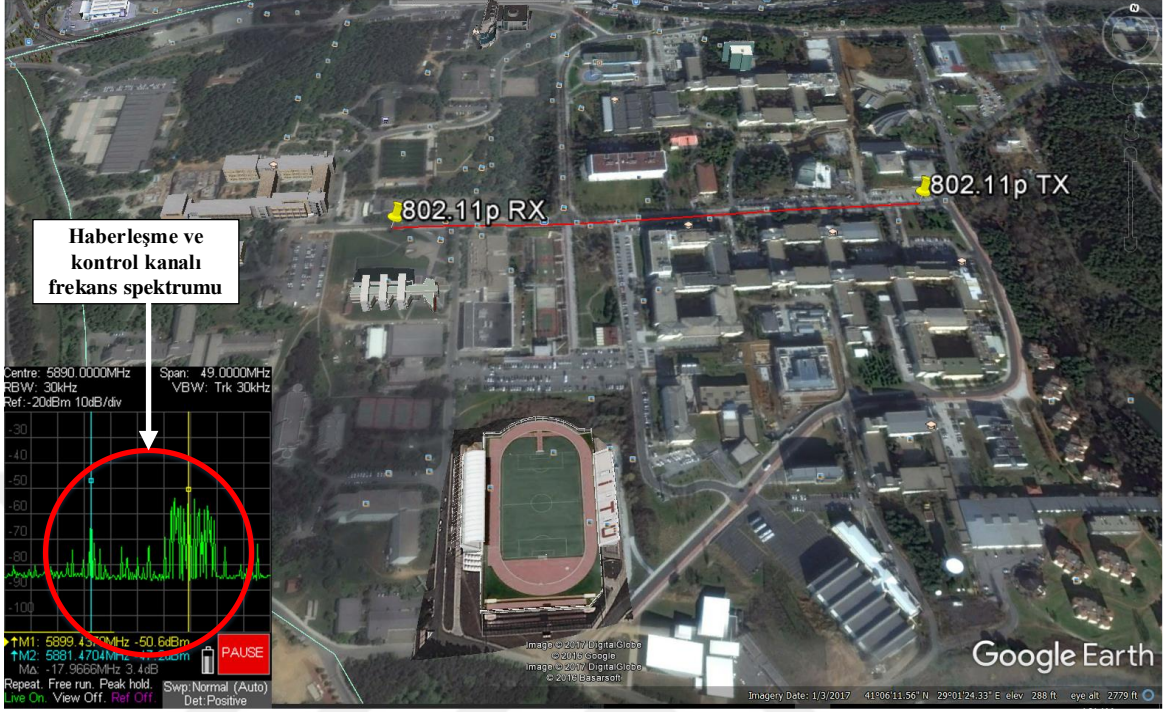
## 6.4 802.11p üzerinden haberleşme

802.11p, IEEE' nin araç-araç haberleşmesi için tanımladığı radyo haberleşme protokolüdür. Cohda Wireless' in geliştirdiği Linux tabanlı MK5 ünitesi 802.11p üzerinden haberleşmektedir. Tasarladığımız test düzeneği ile makas tarafındaki MK5 ünitesi üzerinden durum değişimini araç üstündeki MK5 ünitesine direkt radyo yayınıyla iletilmiştir. Haberleşme diyagramı Şekil 66'deki gibidir.



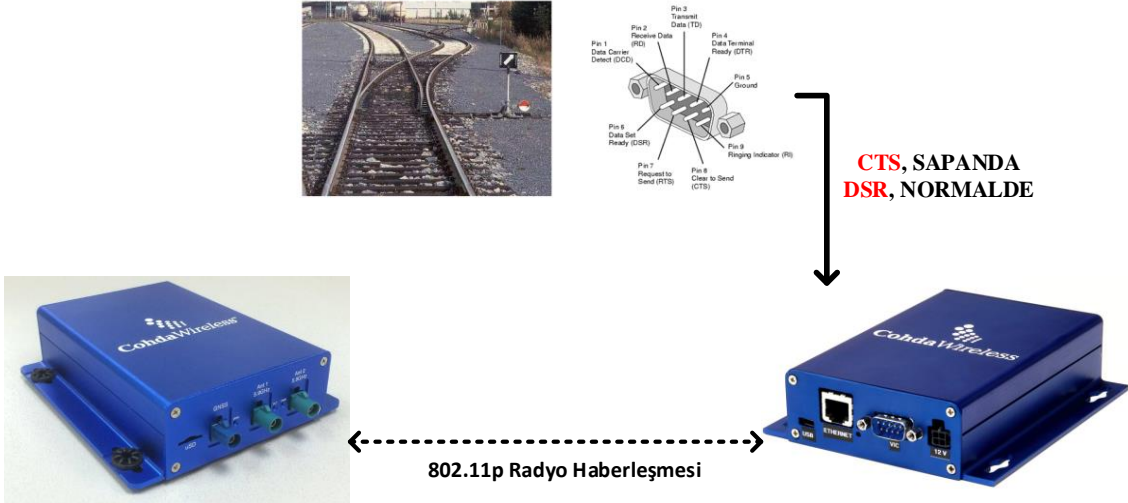
Şekil 64: Cohda Wireless MK5 802.11p cihazı

İTÜ Ayazağa yerleşkesi içinde Şekil 65' ta görülen sahada haberleşme testi yapıldı ve maksimum haberleşme mesafesi 563 metre olarak ölçüldü.

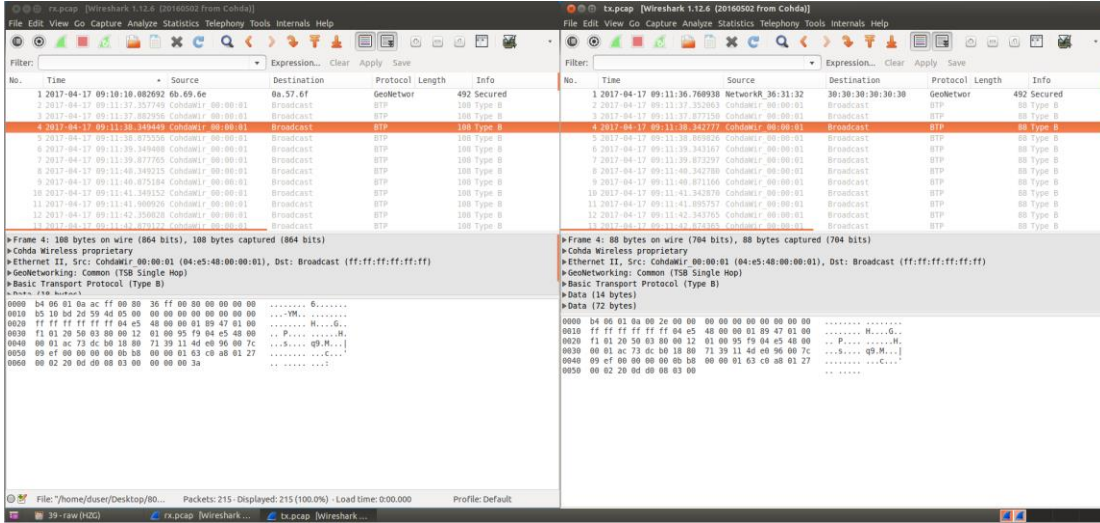


Şekil 65: 802.11p MK5 saha testi

Bu haberleşmenin örnek verileri Şekil 67’ de gösterilmektedir ve “*rx.pcap*” dosyası alıcı kısmındaki PC radyo cihazının verilerini, “*tx.pcap*” ise makas tarafındaki PC’ nin verilerinin wireshark uygulaması ile incelenmesini göstermektedir.



Şekil 66: Cohda Wireless haberleşme blok diyagramı



**Şekil 67:** Makas tarafından gönderilen verilerin kayıtları “*tx.pcap*” (sağ taraftaki), sunucu aldığı kayıtlar “*rx.pcap*” (sol taraftaki) wireshark uygulaması ile incelenmesi.

Şekil 67’de makas verisinin makas tarafındaki 802.11p tarafından radyo vasıtası ile yayınlanması ve sunucu tarafındaki 802.11p radyosuna erişmesinin zaman kayıtları görülmektedir:

- Sapanda, 7 ms
- Normalde, 6 ms
- Veri bağdaşım hatası, 4 ms
- İndikasyonsuzluk, 7 ms

Sürelerinde aktarılmıştır.



## 7 İLETİM ÇEŞİTLERİ KIYASLAMASI

6. Bölümde gerçekleştirilen testler sonucunda haberleşme birimleri arasındaki performansı kıyaslamak için **Tablo 14** oluşturulmuştur. Bu verilere göre ortalama veri aktarım hızları:

$$V_{\text{WiFi(YAKIN ALAN)}} > V_{\text{ETHERNET(YAKIN ALAN)}} > V_{802.11P} > V_{\text{WiFi(UZAK ALAN)}} > V_{\text{ETHERNET(UZAK ALAN)}} > V_{\text{ETHERNET(LTE, UZAK ALAN)}} > V_{\text{UHF}} > V_{\text{WiFi(LTE, UZAK ALAN)}}$$

Şeklinde sıralanır.

TAŞINMA SÜRESİ	WiFi (Uzak Alan) (ms)	ETHERNET (Uzak Alan) (ms)	WiFi (Yakın Alan) (ms)	ETHERNET (Yakın Alan) (ms)	LORA (ms)
SAPANDA	12	57	1	2	205
NORMALDE	14	66	2	1	200
VERİ BAĞDAŞIM HATASI	28	65	1	2	200
İNDİKASYONSUZLUK	16	60	2	5	211
ORTALAMA	17,5	62	1,5	2,5	204
	UHF(ms)	802.11p(ms)	WiFi (LTE) (ms)	ETHERNET (LTE) (ms)	
SAPANDA	127	7	168	90	
NORMALDE	131	6	123	62	
VERİ BAĞDAŞIM HATASI	131	4	145	87	
İNDİKASYONSUZLUK	132	7	152	73	
ORTALAMA	130,25	6	147	78	

**Tablo 14:** Makas verilerinin iletim şekillerinin ms cinsinden hız kıyaslaması.





## 8 SONUÇ

İTÜ RSM Lab'taki makas üzerine kurduğumuz test düzenekleri ile makas verilerinin farklı yollar kullanılarak (direk radyo haberleşmesi veya internet üzerinden SOAP protokolü kullanılarak) bir mantık birimine tekrar kullanılabilir şekilde hatada güvenli olarak depolanması üzerine tez çalışması yapılmıştır. Tezin mantığı oluşan verinin taşınması üzerine kurulduğu için verinin oluşması süreci tezin konusu değildir. Çalışma sekiz farklı yol ile test edilmiş ve yakın alan haberleşme birimleri üzerindeki çalışma en performanslı yapıyı ortaya koysa da (WiFi-yakın alan ortalama 1.5 ms' ye kadar performans elde edilmiştir) genel anlamda kullanılan en gecikmeli sistem GMS (WiFi destekli) olarak tespit edilmiştir. Buna karşın en gecikmeli sistemin çalışma hızı dahi normal şartlarda SOAP protokolü vasıtası ile ortalama 147ms çıkmıştır. Bu da yaklaşık bir saniyede yedi kere haberleşme yapılabildiği anlamına gelmektedir ki bu da makul bir değerdir.

Sonuç olarak ERTMS Seviye 1' deki infill loop için verimli kullanım alanı oluşturulabilir. Bunun için en iyi çözüm DRF1278DM görünmektedir. Line of sight' ta en iyi menzic bu üründe elde edildi. Herhangi bir hemzemin geçitin bilgisini tren üstüne kolaylıkla taşınmasına yardımcı olabilir. Ayrıca ERTMS seviye 2 ve 3'teki GSM-R kapasite problemlerinin üstesinden gelebilmek için temel haberleşme verilerinin farklı yollarla taşınması sağlanabilir. LTE ve Lora temelli çözüm daha çok ulaşılması ve bakım hizmeti zor verilebilen yerlere hitap ederken hızları nispeten az fakat destekledikleri mesafeden dolayı yeterli olabilir. 802.11p, UHF(PDF221) ise yakın mesafede veri aktarımı için tercih edilebilir (özellikle performans gerektiği durumlarda). Nihayetinde hali hazırda sinyalizasyonsuz alanlara GSM-R kurmak yerine alternatif daha ekonomik birimler kurularak yakın zamanda yaygınlaşması öngörülen raylı sistemler için özelleştirilmiş bir sonraki teknolojilere (LTE-R veya sonrası) geçiş beklenebilir veya kurulabilecek alternatif radyo haberleşmeleri ile kalıcı bir çözüm önerilebilir.





## 9 KAYNAKLAR

- [1] **Aleksander, S. & Jose, S.** (2012). An overview of GSM-R technology and its shortcomings. *2012 12th International Conference on ITS Telecommunications.*
- [2] **Aleksander, S. & Jose, S.** (2013). Impact of the traffic load on performance of an alternative LTE railway communication network. *2013 13th International Conference on ITS Telecommunications (ITST).*
- [3] **Aleksander, S. & Jose, S.** (2014). LTE for Railways. *Impact on Performance of ETCS Railway Signaling.* IEEE VEHICULAR TECHNOLOGY MAGAZINE (pp. 69-70, 75).
- [4] **Almudena, D. Z. & Cesar A. G. P. & Pedro M. G.** (2014). Third-Generation Partnership Project Standards. *For Delivery of Critical Communications for Railways.* IEEE VEHICULAR TECHNOLOGY MAGAZINE (pp. 58-60).
- [5] **BSI Standards Publication** (2011). Railway applications - Communication, signaling and processing systems (pp. 64 - 78).
- [6] **Ergün Bozdağ.** (2014) Raylı Sistemler TARİHÇE: RSM 503 dersi sunumu.
- [7] **Ruisi H., Bo A., Gongpu W., Ke G., Zhangdui Z., Andreas F. M., Cesar B.-R. & Claude O.** (2016). High-Speed Railway Communications. *From GSM-R to LTE-R.* IEEE VEHICULAR TECHNOLOGY MAGAZINE (pp. 49-58).
- [8] **Noah COAD.** (2005). SerialPort (RS-232 Serial COM Port) in C# .NET. Bağlantı adresi: <http://blogs.msmvps.com/coad/2005/03/23/serialport-rs-232-serial-com-port-in-c-net/>
- [9] C# tabanlı SOAP haberleşmesi için Android ve Java dilleri kütüphanesi Bağlantı adresi: <http://simplicity.github.io/ksoap2-android/index.html>
- [10] **I. Bibac,** “GSM-Railway as part of European Rail Traffic Management System”, Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies III, Proc. of SPIE Vol. 6635 663515-1, 2007.
- [11] **H. Hofestadt,** “GSM-R: Global System For Mobile Radio Communications For Railways”, Electric Railways in a United Europe, March 1995
- [12] **S. K. Abed,** “European Rail Traffic Management System – An Overview”, 1st International Conference on Energy, Power and Control (EPC-IQ), 2010

- [13] Radio Spectrum Committee, “Working Document: Spectrum Requirements for Railway Applications”, European Commission, 2010.
- [14] P. Winter, et al., “Compendium on ERTMS”, Eurail Press, 2009.
- [15] **S. F. Ruesche, J. Steuer and K. Jobmann**, “The European Switch. Packet-Switched Approach to a Train Control System”, IEEE Vehicular Technology Magazine, September 2008.
- [16] NetTime is a Simple Network Time Protocol (SNTP) client for Windows 95/98/Me/NT/2000/XP/Vista/7/8/10 and Server 2003/2008/2012/2016  
Bağlantı adresi: <http://www.timesynctool.com/>
- Alain BERTOUT.** (2012). Next Generation of Railways and Metros wireless communication systems. *IRSE ASPECT 2012 presentation.*
- Lee J.-S., Su Y.-W., & Shen C.-C.** (2007) A Comparative Study of Wireless Protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi. The 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)
- P. Winter, ed., Compendium on ERTMS. Eurailpress, first ed. 2009. ISBN 978-3-7771-0396-9.
- K. Kastell, S. Bug, A. Nazarov, and R. Jakoby**, “Improvements in Railway Communication via GSM-R,” in Proceedings of the 63rd IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2006-Spring), pp. 3026–3030, IEEE, 2006.

## 10 EKLER

**EK A:** Visual Studio 2015 ortamında geliştirilen proje ve SQL Server 2012 veri deposu dosyaları ekteki CD’ dir.

## ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Serhat BOYNUKALIN

Doğum Tarihi ve Yeri : 02.05.1988, Samandağ / HATAY

E-posta : boynukalin@itu.edu.tr

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Telekomünikasyon Mühendisliği
- **Yüksek lisans** : 2017(Tez Aşamasında), İstanbul Teknik Üniversitesi, Raylı Sistem Mühendisliği Yüksek Lisan Programı

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- (2016-2017) AVRASYA, Selçukgazi ve Belkahve Tünelleri: radyo kontrol arayüzü (Android), sunucu kontrol arayüzü (Windows) ve Web Servis uygulaması (Windows) geliştirildi.
- (2016-2017) Tübitak 1501 projesi: “*Demiryolu Araç Altyapı Yeni Nesil Güvenli Haberleşme Sistemleri*”, konusunda araştırma geliştirme faaliyetlerinde bulunuldu, Web Servis geliştirildi ve Android HMI yazılımı geliştirilmesine katkıda bulunuldu.
- (2014-2016) Araç takip sistemi ve raporlama konusunda telifli yazılım geliştirildi, “*SERVİS TAKİP SİSTEMİ (STS) V3*”.
- (2013) Özel sektörde sunucu kontrolü ve yönetimi üzerine çalışıldı.