

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



TRABZON

Bu belge güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Doğrulama Kod: D02C0DB7-F6FC-4786-815A-3143185A9ACF

Doğrulama Adres: <https://www.turkiye.gov.tr/karadeniz-teknik-universitesi-ebys>





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon



ÖNSÖZ

Araçlar-arası haberleşme giderek daha büyük bir problem haline gelen trafik kazaları ve sıkışıklıkları gibi problemlerin önlenmesi ve azaltılması açısından akıllı ulaşım sistemleri içerisinde önemli bir yere sahiptir. Bu doktora tezi çalışmasında farklı ortamlarda araçlar-arası haberleşme ölçümleri gerçekleştirilerek, ortamlara en uygun yol kaybı modelleri önerilmiştir.

Doktora KTU’de başlamama vesile olan rahmetli Prof. Dr. Sefa AKPINAR hocama bana göstermiş olduğu babacan akademisyen tavırlarından ötürü saygı ve rahmetle anıyorum. Sefa hocamın beni kendisine emanet ettiği, danışmanlığımı üstlenen, yorucu uzun süren doktoramda beni yalnız bırakmayan ve yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAVDAR’a çok teşekkür ederim. Tez izleme jürimde kıymetli bilgilerini benimle paylaşan ve yol gösteren Dr. Öğr. Üyesi Haydar KAYA ve Prof. Dr. Murat EKİNCİ hocalarıma da çok müteşekkirim. Tez çalışmalarım süresince ben düştükçe beni kaldırmaktan usanmayan ve sürekli motive eden, ilk bildirimde beni dinleyen, her Trabzon’a ayak bastığımda ailesinden birisini karşılar gibi güler yüz gösteren, bana odasını açan, bilgi ve fikirlerinden daima faydalandığım çok değerli ve nazik hanımefendi Dr. Öğr. Üyesi Zeynep HASIRCI TUĞCU hocama çok teşekkür ederim.

Tez çalışmasının çok yorucu olan deneysel ölçümlerinin gerçekleştirilmesinde bana yardımcı olan, fikir alışverişinde bulunduğum değerli meslektaşım Öğr. Gör. Sedat ATASEVEN hocama da ayrıca çok teşekkür ederim. Mesleki hayatıma beraber başladığım, eğitim hayatına da Trabzon yollarında beraber devam ettiğim, çok değerli dostum Dr. Öğr. Üyesi Murat AKPULAT’a beni hiçbir zaman yalnız bırakmadığı için çok teşekkür ederim.

Uzun, yorucu ve yıpratıcı tez süresince bana sabreden ve desteğini hep yanımda hissettiğim eşime; geceleri dönmemi bekleyen çocuklarıma ve tüm aileme ne kadar teşekkür etsem azdır. Umarım onlardan çaldığım zaman için beni affederler ve umarım bu tez vatanım ve milletim için bir nebze olsun faydalı olur.

Kenan KUZULUGİL
Trabzon 2021



TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum ‘‘Araçlar-arası (V2V) haberleşme kanalının ölçülmesi ve modellenmesi’’ başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAVDAR‘ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 23/03/2021

Kenan KUZULUGİL



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iii
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ.....	xiii
SEMBELLOR DİZİNİ	xiv
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Araçlar-Arası Haberleşme Kanalı	3
1.2.1. Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS).....	3
1.2.2. DSRC (Dedicated Short Range Communication).....	4
1.3. Araçlar-Arası Haberleşme Kanalı Modelleme.....	7
1.3.1. Büyük-Ölçekli Modelleme.....	8
1.3.1.1. Log-mesafe Yol Kaybı Modeli	8
1.3.1.2. İki-ışın Yol Kaybı Modeli.....	9
1.3.1.3. Çift-Eğimli Yol Kaybı Modeli	11
1.3.2. Küçük-Ölçekli Modelleme.....	12
1.3.2.1. Weibull Dağılımı.....	13
1.3.2.2. Rayleigh Dağılımı	14
1.3.2.3. Nakagami-m Dağılımı.....	14
1.3.2.4. Rician Dağılımı	15
1.3.3. Model Seçim Kriterleri	16
1.4. Literatürdeki Araçlar-Arası Haberleşme Çalışmaları	18
1.4.1. Deneysel Çalışmalar	18
1.4.1.1. SÜ-SA Ölçüm Düzenegini Kullanan Çalışmalar	19
1.4.1.1.1. Kent Ortamı.....	19
1.4.1.1.2. Yarıkent Ortamı	22
1.4.1.1.3. Anayol Ortamı.....	23



1.4.1.1.4. Kırsal Ortamı.....	24
1.4.1.1.5. Diğer Ortamlar	25
1.4.1.2. RSSI Ölçüm Düzenliğini Kullanan Çalışmalar	25
1.4.1.2.1. Kent Ortamı.....	26
1.4.1.2.2. Yarıkent Ortamı	27
1.4.1.2.3. Anayol Ortamı.....	28
1.4.1.2.4. Kırsal Ortamı.....	28
1.4.1.2.5. Diğer Ortamlar	29
1.4.2. Teorik Çalışmalar.....	30
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	31
2.1. Ölçüm çalışmaları	32
2.1.1. Ölçüm Düzenliği	32
2.1.2. Ölçüm Ortamları	34
2.1.3. Ölçüm Senaryoları	38
2.1.4. Ölçüm Çıktıları	40
2.1.4.1. CW14TX Uzantılı Dosyalar.....	40
2.1.4.2. CW14RX Uzantılı Dosyalar	41
2.1.4.3. GPSTX ve GPSRX Uzantılı Dosyalar	41
2.1.5. Ham Ölçüm Sonuçları.....	42
2.2. Modelleme	44
2.2.1. Yol Kaybı Modelleme.....	48
2.2.1.1. Optimum Referans Mesafe (d_0) Değerine Dayalı En Uygun Yol Kaybı Üssü (n) Değerini Bulma	49
2.2.2. Çokyolluluk Modelleme	54
2.2.3. Gölgeleme Modelleme.....	57
2.2.4. En Uygun Model.....	57
2.3. Ölçümlerin Modelleme Sonuçları.....	58
2.3.1. Anayol Senaryoları	59
2.3.1.1. Serbest Senaryolar.....	59
2.3.1.2. Sabit Senaryolar	63
2.3.2. Kent Senaryoları	81
2.3.3. Yarıkent Senaryoları	84
2.3.4. Bina Senaryoları.....	88
2.3.5. Kırsal Senaryoları	92



2.3.6.	Dağ Senaryoları.....	96
2.3.7.	Ağaç Senaryoları.....	100
2.4.	Ölçümlerin Sayısal Sonuçları.....	104
2.5.	Modellemenin Sayısal Sonuçları	113
2.6.	Önerilen Model	121
2.6.1.	Log-ray Modeli	123
2.6.2.	Log-ray Modeli Sonuçları	125
2.7.	Ortamlara Göre Önerilen Ortalama Modeller	133
3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	139
4.	KAYNAKLAR	145

ÖZGEÇMİŞ



Doktora Tezi

ÖZET

ARAÇLAR-ARASI (V2V) HABERLEŞME KANALININ ÖLÇÜLMESİ VE
MODELLENMESİ

Kenan KUZULUGİL

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik–Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAVDAR
2021, 152 Sayfa

Araçlar-arası (V2V) haberleşme can ve mal güvenliğini sağlamak temel amacıyla geliştirilen, Tahsis Edilmiş Kısa Mesafe Haberleşme (DSRC) teknolojisine dayalı kablosuz haberleşme ağıdır. V2V haberleşmede hem verici hem de alıcı hareketli olduğu için alınan sinyal gücü çok hızlı değişmektedir. Bu değişimin sebebi ortamlardaki araç, bina, ağaç gibi nesnelerin yoğunluğunun farklı olmasıdır. Bu tez çalışmasında farklı ortamlarda 113 ölçüm gerçekleştirilmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir. Ölçüm sonuçlarından elde edilen alınan sinyal gücü verisi yol kaybı, gölgeleme ve çokyolluluk olmak üzere üç temel bileşene ayrılmıştır. Bu üç bileşen ayrı ayrı modellendikten sonra birleştirilerek ölçüm senaryolarına en uygun model önerilmiştir. Özellikle anayol gibi ortamlarda iki-ışın yol kaybı modelinin daha uygun olmasına rağmen model ve veri arasında bir kayma gerçekleşmiştir. Mevcut yol kaybı parametreleriyle giderilemeyen bu sapma için log-mesafe ve iki-ışın modelinin birleştirilmesiyle elde edilen yeni bir model önerilmiştir. Yeni modelinde sisteme dahil edilmesi ile en uygun modeller tekrar elde edilmiştir. Model parametrelerinden n , d_0 , PL_{d0} ve ϵ_r parametrelerinin ağırlıklı ortalamaları ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Bu parametreler kullanılarak her bir ortam için ortalama yol kaybı modelleri önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Araçlar-arası haberleşme, modelleme, V2V, yol kaybı, gölgeleme, çokyolluluk, DSRC.



PhD. Thesis

SUMMARY

MEASUREMENT AND MODELING OF VEHICLE-TO-VEHICLE (V2V)
COMMUNICATION CHANNEL

Kenan KUZULUGİL

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical and Electronics Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAVDAR
2021, 152 Pages

Vehicle-to-Vehicle (V2V) communication is a wireless communication network based on Dedicated Short-Range Communication (DSRC) technology developed for the purpose of ensuring the safety of life and property. Since both the transmitter and the receiver are mobile in V2V communication, the received signal strength changes very rapidly. The reason for this change is that the density of objects such as vehicles, buildings and trees in the environment is different. In this thesis, 113 measurements were performed in different environments and the results analyzed. The signal strength data obtained from the measurement results are divided into three basic components: path loss, shadowing and multipath. After these three components were modeled separately, the most suitable model for measurement scenarios was proposed by combining them. Although the two-ray path loss model is more suitable, especially in environments such as highways, there has been a shift between the model and the data. For this deviation, which cannot be compensated by the parameters of existing path loss models, a new model is proposed by combining the log-distance and two-ray model. With the inclusion of the new model in the system, the most suitable models have been obtained again. The weighted means and standard deviations of the n , d_0 , PL_{d0} and ϵ_r parameters were calculated. Using these parameters, average path loss models are proposed for each environment.

Key Words: Vehicle-to-Vehicle communication, modeling, V2V, path loss, shadowing, multipath, DSRC.



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Amerika ve Avrupa'daki DSRC frekans tahsisi [6].....	4
Şekil 2. DSRC'nin katmanlı mimarisi [5].....	6
Şekil 3. İki-ışın yol kaybı modeli	9
Şekil 4. Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu.....	13
Şekil 5. Rayleigh dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu	14
Şekil 6 Nakagami-m dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu.....	15
Şekil 7. Rician dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu	16
Şekil 8. Ölçüm düzeneği.....	32
Şekil 9. Araç üzerine yerleştirilen anten ve Cohda Wireless MK5 OBU (DSRC OBU)....	33
Şekil 10. Verici ve alıcı aracın iç görüntüsü.....	33
Şekil 11. Anten ışın diyagramları (yatay ve düşey düzlem).....	34
Şekil 12. Gümüşhane-Erzincan Anayolu (40.104328, 39.459137).....	35
Şekil 13. Gümüşhane-Bayburt Anayolu (40.135366, 39.490248)	35
Şekil 14. Kelkit-Gümüşhane Anayolu (40.115951, 39.447719).....	35
Şekil 15. Trabzon-Giresun Anayolu (40.996062, 39.666877)	36
Şekil 16. Trabzon-Beşirli Yarıkent (40.995410, 39.670965).....	36
Şekil 17. Trabzon-Kent (Kahramanmaraş Caddesi-41.006241, 39.725968)	36
Şekil 18. Kelkit-Kent (40.127820, 39.435277)	37
Şekil 19. Kelkit-Yarıkent (40.121141, 39.442601).....	37
Şekil 20. Kelkit-Kırsal (40.214127, 39.662922)	37
Şekil 21. CW14TX uzantılı örnek bir dosyanın içeriği.....	40
Şekil 22. CW14RX uzantılı örnek bir dosyanın içeriği.....	41
Şekil 23. GPRSX/GPSTX uzantılı örnek bir dosyanın içeriği	42
Şekil 24. Bazı ölçüm sonuçları	43
Şekil 25. Örnek bir ölçüm sonucu	46
Şekil 26. Ölçüm verilerinin modellenmesinin akış diyagramı	47
Şekil 27. Ölçüm verisi ve log-mesafe ve iki-ışın modeline uydurularak elde edilmiş modeller.....	49
Şekil 28. En iyi n (n_{eni}) değerini bulmanın akış diyagramı.....	52



Şekil 29. Yol kaybı (mavi noktalar), farklı d_0 değerleri için uydurulmuş n eğrileri (siyah çizgiler) ve en uygun d_0 değerine göre elde edilmiş olan <i>neniyi</i> (kırmızı çizgi)	53
Şekil 30. Çokyolluluk etkisi	55
Şekil 31. Çokyolluluk etkisi ve uydurulan istatistiksel dağılımlar	56
Şekil 32 Akaike ağırlıkları	56
Şekil 33. Gölgeleme	57
Şekil 34. Ölçüm verisi ve model	58
Şekil 35. Serbest ölçüm senaryoları	59
Şekil 36. Serbest kapı öncesi (Kelkit-Erzincan Anayolu) veri, model ve AIC ağırlıkları	60
Şekil 37. Serbest kapı sonrası (Kelkit-Erzincan Anayolu) veri, model ve AIC ağırlıkları	61
Şekil 38. Kelkit-Köse anayolu veri, model ve AIC ağırlıkları	61
Şekil 39. Trabzon-Giresun anayolu veri, model ve AIC ağırlıkları	62
Şekil 40. Trabzon anayol 1 dakika senaryosu veri, model ve AIC ağırlıkları	63
Şekil 41. Sabit ölçüm senaryoları	63
Şekil 42. Aynı yön senaryoları (16 Ocak) veri, model ve AIC ağırlıkları	65
Şekil 43. Zıt yön senaryoları (16 Ocak) veri, model ve AIC ağırlıkları	66
Şekil 44. Aynı yön ve zıt yön senaryoları (3 Aralık) veri, model ve AIC ağırlıkları	67
Şekil 45. Aynı yön ve zıt yön senaryoları (Köse) veri, model ve AIC ağırlıkları	68
Şekil 46. Hız20 senaryoları (16 Ocak) veri, model ve AIC ağırlıkları	70
Şekil 47. Hızartan senaryoları (16 Ocak) veri, model ve AIC ağırlıkları	71
Şekil 48. 60 km ve 120 km senaryoları veri, model ve AIC ağırlıkları	72
Şekil 49. Tek anten senaryoları (16 Ocak) veri, model ve AIC ağırlıkları	73
Şekil 50. Anten içeride senaryoları veri, model ve AIC ağırlıkları	75
Şekil 51. Duran hız senaryoları veri, model ve AIC ağırlıkları	76
Şekil 52. Kar ve güneş senaryoları veri, model ve AIC ağırlıkları	77
Şekil 53. Çoklu senaryolar ve serbest senaryo veri, model ve AIC ağırlıkları	78
Şekil 54. Kent senaryosu	82
Şekil 55. Kelkit kent ölçümleri veri, model ve AIC ağırlıkları	83
Şekil 56. Trabzon kent ölçümü veri, model ve AIC ağırlıkları	84
Şekil 57. Yarıkent senaryosu	85
Şekil 58. Kelkit serbest yarıkent veri, model ve AIC ağırlıkları	86
Şekil 59. Trabzon yarıkent veri, model ve AIC ağırlıkları	87
Şekil 60. Kelkit sabit yarıkent veri, model ve AIC ağırlıkları	87



Şekil 61. Bina ölçüm senaryoları.....	89
Şekil 62. Bina senaryolarının veri, model ve AIC ağırlıkları	90
Şekil 63. Eğimli yollardaki çukur ve tümsek ölçüm senaryoları.....	93
Şekil 64. Çukur senaryoları veri, model ve AIC ağırlıkları.....	94
Şekil 65. Tümsek senaryoları veri, model ve AIC ağırlıkları.....	96
Şekil 66. Dağ senaryoları.....	97
Şekil 67. Dağ senaryoları veri, model ve AIC ağırlıkları	98
Şekil 68. Sabit ağaç senaryosu	101
Şekil 69. Kelkit sabit ağaç senaryoları veri, model ve AIC ağırlıkları.....	101
Şekil 70. Serbest ağaç senaryosu	103
Şekil 71. Trabzon serbest ağaç senaryoları veri, model ve AIC ağırlıkları.....	103
Şekil 72. n , $d0$ ve $PLd0$ parametrelerinin histogramları	109
Şekil 73. Kutu grafiğinin gösterimi	110
Şekil 74. Ortamların n değerlerinin kutu grafiği ile gösterimi.....	111
Şekil 75. Ortamların $d0$ değerlerinin kutu grafiği ile gösterimi.....	112
Şekil 76. Ortamların $PLd0$ değerlerinin kutu grafiği ile gösterimi	113
Şekil 77. Ortamların R^2 değerlerinin kutu grafiği ile gösterimi	118
Şekil 78. Ortamların RMSE değerlerinin kutu grafiği ile gösterimi	119
Şekil 79. Ortamlara göre modellerin gölgeleme σ değerlerinin kutu grafiği ile gösterimi	120
Şekil 80. Ortamların çokyolluluk etkilerinin standart sapmalarının kutu grafiği ile gösterimi	121
Şekil 81. Sapma olan modellemelere örnekler	121
Şekil 82 R^2 ve RMSE değeri ile birlikte seçilen en uygun modeller.....	122
Şekil 83. Log-ray modelinin daha uyumlu çıktığı bazı ölçüm sonuçları.....	125
Şekil 84. Ortamlara göre RMSE değerleri (Log-ray modeli dahil edildikten sonra)	133
Şekil 85. Ortamların ortalama modelleri (mavi) ve alt (turuncu) üst (sarı) sınırları	135



TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. AUS uygulamaları [3]	3
Tablo 2. DSRC OBU cihazının teknik özellikleri	33
Tablo 3. Ölçüm ortam ve senaryoları	38
Tablo 4. Hava durumu	39
Tablo 5. Farklı 0değerleri için n , R^2 , RMSE değerleri	54
Tablo 6. Senaryoların n , d_0 ve PLd_0 parametreleri	104
Tablo 7. Ortamların n parametresinin değer aralığı	107
Tablo 8. Ölçümlere en uygun modeller ve sayısal değerleri	113
Tablo 9. En uygun modellerin ortamlara göre dağılımı	116
Tablo 10. Log-ray modeli dahil edildikten sonra en uygun modelleme sonuçları	130
Tablo 11. Ortamlara göre ortalama modeller ve parametre değerleri	134
Tablo 12. Ortamların ortalama, alt ve üst modellerinin parametreleri	136
Tablo 13. Ortalama modeller ile alt ve üst modeller arasındaki farklar	137
Tablo 14. Literatürdeki modeller ile önerilen ortalama modeller arasındaki farklar	137



SEMBELLOR DİZİNİ

$^{\circ}\text{C}$: Santigrat derece
Δ_i	: Akaike farkları
ϵ_r	: Efektif elektriksel bağıl geçirgenlik
λ	: Dalga boyu
Γ	: Yerden yansıma katsayısı
σ	: Standart sapma
ω_i	: Akaike ağırlıkları
A_e	: Etkin anten açıklığı
AIC	: Akaike Information Criteria
AUS	: Akıllı Ulaşım Sistemleri
BSM	: Temel Güvenlik Mesajı
c	: Işık hızı
CSMA/CA	: Taşıyıcı Dinleyen Çoklu Erişim/Çarpışma Önleme
d	: Verici ve alıcı arasındaki mesafe
d'	: Direk dalganın katettiği mesafe
d''	: Yerden yansıyan dalganın katettiği mesafe
d_0	: Referans mesafe
d_c	: Kritik mesafe
dB	: Decibel
DSRC	: Dedicated Short Range Communication
E_0	: Referans mesafedeki elektrik alan
E_{yerden}	: Yerden yansıyan dalganın elektrik alanı
E_{direk}	: Direk dalganın elektrik alanı
$E_{log-ray}$: Log-ray modelinde alıcıdaki toplam elektrik alan
E_{toplam}	: Alıcıdaki toplam elektrik alan
f	: Frekans
GPS	: Global Positioning System
G_r	: Alıcı anten kazancı
G_t	: Verici anten kazancı
h_t	: Verici aracın anten yüksekliği



h_r	: Alıcı aracın anten yüksekliği
$I_0(.)$: Sıfıncı derece birinci tür değiştirilmiş Bessel fonksiyonunu
IEEE	: The Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	: İnternet Mühendisliği Görev Grubu
IPv6	: İnternet Protokol Versiyon 6
LOS	: Direkt görüş hattı
Mbps	: Mega bits per second
n	: Yol kaybı üssü
NLOS	: Direkt olmayan görüş hattı
OBU	: On-Board Unit
P_d	: Güç akı yoğunluğu
P_t	: Gönderilen sinyal gücü
P_r	: Alınan sinyal gücü
PL	: Yol kaybı
PL_{do}	: Referans mesafedeki yol kaybı
r	: Korelasyon katsayısı
R^2	: Belirlilik katsayısı
RSS	: Artık Kareler Toplamı
RSU	: Road Side Unit
RSSI	: Received Signal Strength Indicator
RMSE	: Root Mean Square Error
TCP	: İletim Kontrol Protokolü
UDP	: Kullanıcı Veri Bloğu Protokolü
V2V	: Vehicle-to-Vehicle
WAVE	: Wireless Access for Vehicular Environments



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Dünya Sağlık Örgütü'nün 2020'de yayınlanan raporuna [1] göre 2016 yılında dünya genelinde 1.35 milyon insan trafik kazalarından ölmüş ve 50 milyondan fazla insan ise yaralanmıştır. 2018 yılında yayınlanan raporda [2] ise trafik kazaları dünya genelindeki ölüm sebeplerinde 8. sırayı almıştır. Aynı raporda çok dikkat çekici bir husus ise 5-29 yaşları arasındaki çocuk ve gençlerin ölüm sebeplerinde trafik kazalarının 1. sırayı almasıdır. Her yıl gerçekleşen milyonlarca kaza sonucu oluşan bu maddi ve manevi kayıplar; devletleri, üniversitelerdeki araştırmacıları ve otomotiv endüstrisini bu konuda ciddi adımlar atmaya zorlamıştır. Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) bu kapsamda ortaya çıkmıştır. Bu sistemde ulaşım sistemlerinin her bir birimi yani araçlar, yayalar, uçaklar, gemiler, trenler, trafik merkezleri, yol kenarına yerleştirilmiş birimler birbirleriyle iletişim içerisinde olması amaçlanmıştır. Bunu sağlamak içinde standartlar geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam edilmektedir. Bu standartlara dayalı teknolojilerden biri de araçlar-arası haberleşmedir (Vehicle-to-Vehicle Communication–V2V).

Araçlar-arası haberleşmede öncelikli amaç trafikte bulunan her bir aracın, çevresindeki diğer araçlarla haberleşmesini sağlayarak; kazaları önlemek, trafik karmaşıklığını azaltmak ve trafik ortamını en düzenli hale getirmektir. Bunun için her bir araç üzerine, Tahsis Edilmiş Kısa Mesafeli Haberleşme (Dedicated Short Range Communication–DSRC) teknolojisine dayalı araca monteli birimlerin (On-Board Unit–OBU) yerleştirilmesi gerekir. Bu DSRC OBU kitleri sayesinde, araçlar hücreli haberleşmede olduğu gibi sabit istasyonlara ihtiyaç duymadan, birbirleri ile belirli bir mesafe içerisinde kablosuz haberleşebilmektedir. Bu haberleşmede gönderilen paketlerde; araçların hızları, konumları ve rotası gibi bilgiler bulunmaktadır. Böylece bir araç, çevresindeki diğer araçların konum, hız ve rota gibi bilgilerini aldığı anda kendi konum, hız ve rota bilgileri ile beraber işleyerek çeşitli bilgiler üretir. Elde edilen bu bilgiler, araçlarda gömülü aktif ve pasif birçok güvenlik veya konfor uygulamasının hayata geçmesini imkan sağlar. Örneğin; kaza olması açısından riskli bir durum söz konusu ise sürücüye riskin derecesine göre panelden yazı, ışık, ses veya bunların bir veya birkaçının birleşimi şeklinde uyarı verilir. Sürücü verilen uyarıya tepki göstermesi gereken riskli bir durumda tepki göstermemişse (ya



da kalp krizi ve dalgınlık gibi bir durumda gösterememişse) araç kendiliğinden güvenli bir şekilde frenleme mekanizmasını çalıştırabilir. Bu bahsi geçen durum araçlar-arası haberleşmede sadece kaza önleme senaryolarına bir örnek uygulama olarak verilmiştir. Araçlar-arasında paylaşılan veriler, kullanılacak uygulamalar ve alınacak pasif/aktif önlemler geliştirilmekte olup bazıları mevcut araçlarda kullanılmakta, bazıları ise ilerleyen yıllarda araçlara dahil edilecektir.

Trafik ortamı ülkelerin coğrafik yapısından, trafik düzeninden, yol yapısından, araç, bina, yaya ve çevreleyen nesnelerin yoğunlukları gibi birçok parametreden dolayı farklılık göstermektedir. Araçlar-arası haberleşme üzerine yapılan çalışmalarda bu ortamlar kent, yarıkent/banliyö, kırsal, anayol, otoyol, açık yol, park alanı, tünel, üst geçitler gibi farklı gruplara ayrılmıştır. Buna rağmen bir ülkedeki kent olarak adlandırılan ortam başka bir ülkenin yarıkent ortamına denk gelebilmektedir. Ayrıca bir çalışmada kent olarak adlandırılan ortamdaki araç sayısı, bina yapısı ve yoğunluğu, yaya yoğunluğu, şerit sayısı, yol kenarındaki park etmiş araçlar gibi birçok parametre de farklılık göstermektedir. Bu ve benzeri birçok farklılık gösteren durumdan dolayı araçlar-arası haberleşme üzerine yapılan ölçüm çalışmaları sınırlandırılmamış ve birçok ülkede gerçekleştirilmesi gerektiği farklı çalışmalarda vurgulanmıştır. Ölçüm çalışmalarından elde edilen bulgular sayesinde; araçlar-arası haberleşme sistemlerinin modellenmesi, tasarımı ve simülasyonu gerçekleştirilmektedir.

Bu tez çalışmasının temel amacı; farklı ülkelerdeki trafik ortamlarında yapılan ölçümlerle mukayese edebilmek için çeşitli ortamlarda araçlar-arası haberleşme ölçümleri gerçekleştirilmesi ve bu ölçümlerden elde edilecek verilere dayalı araçlar-arası haberleşme kanalının modellenmesidir. Tezin birinci bölümünde Akıllı Ulaşım Sistemleri, DSRC, V2V haberleşme kanal modelleri ve literatürdeki deneysel ve teorik çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde; kurulan ölçüm düzeneği, ölçüm ortamları ve ölçüm senaryoları tanıtıldıktan sonra yapılan ölçümlerden elde edilen ham sonuçlar paylaşılmıştır. Daha sonra ölçüm sonuçlarının modellenmesi ve bu model sonuçlarının sayısal değerleri verilmiştir. İkinci bölümün son kısmında önerilen yol kaybı modeli, bu modelle elde edilen sonuçlar ve farklı ortamlar için ortalama yol kaybı modelleri verilmiştir. Üçüncü bölümde elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve öneriler sunulmuştur.



1.2. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Araçlar-Arası Haberleşme Kanalı

1.2.1. Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)

Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS); seyahat sürelerinin azaltılması, trafik güvenliğinin artırılması, mevcut yol kapasitelerinin etkin ve verimli kullanılması, hareketliliğin artırılması, enerji verimliliği sağlanarak ülke ekonomisine katkı sağlanması ve çevreye verilen zararın azaltılması gibi amaçlar doğrultusunda geliştirilen kullanıcı-araç-altyapı-merkez arasında çok yönlü veri alışverişi ile izleme, ölçme, analiz ve kontrol mekanizmaları içeren sistemlerdir [3]. Tablo 1’de AUS uygulamalarının yaygın kullanım alanları ve uygulamaları verilmiştir.

Tablo 1. AUS uygulamaları [3]

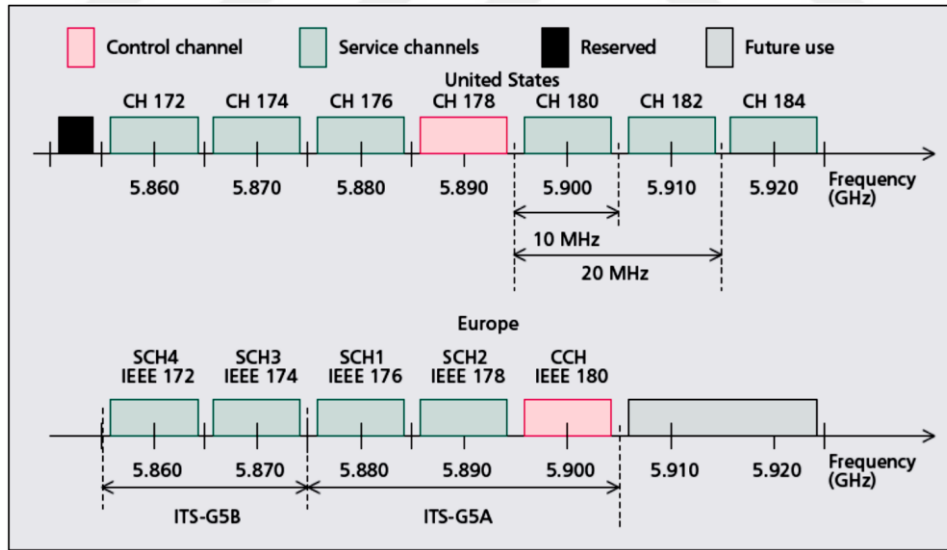
Akıllı araçlar	Akıllı Navigasyon, 360 Derece Çevre Görüşü Sürücü Destek Sistemleri Otomatik Park Otonom Araçlar
Akıllı yollar	Akıllı Kavşaklar Yolcu Bilgilendirme Sistemleri Yeşil Dalga Kameralar Algılayıcılar (Sensörler)
Akıllı şehirler	Akıllı Şehir Yönetim Merkezleri Kaza ve Acil Durum Yönetimi Toplu Taşıma ve Filo Yönetimi Akıllı Otoparklar Güvenli Ulaşım Uygulamaları
Ekonomi ve çevre	Akıllı Enerji Sistemleri Elektrikli Araçlar Çevreye Duyarlı Ulaşım Altyapısı
Entegrasyon sistemleri	Tüm Ulaşım Modlarının Entegrasyonu Ulaşım Kontrol Merkezi Kooperatif AUS Tüm Ulaşım İçin Tek Ödeme
Bilişim ve güvenlik	Tüm Ulaşım Verisi, Büyük Veri Veri Güvenliği ve Paylaşımı Siber Güvenlik Haberleşme Sistemleri



1.2.2. DSRC (Dedicated Short Range Communication)

Araçlar-arası haberleşme AUS'un bir alt bileşenidir ve DSRC (Dedicated Short Range Communication-Tahsis Edilmiş Kısa Mesafe Haberleşme) teknolojisini kullanır. DSRC; 5.9 GHz bandında çalışan, araçlar-arası ve araç-sabit birimler arasında kısa ve orta mesafelerde haberleşmenin gerçekleştirilmesine imkan sağlayan kablosuz haberleşme teknolojisidir. DSRC'nin amacı; trafik akışının, trafik güvenliğinin ve çeşitli kamu ve ticari ortamlardaki diğer akıllı ulaşım hizmetlerinin geliştirilmesini sağlamaktır [4].

“Tahsis edilmiş (Dedicated)” kelimesi, 1999'da Amerika Federal İletişim Komisyonunun (U.S Federal Communications Commission) 5.9 GHz bandının 75 MHz'lik spektrumunu DSRC tabanlı uygulamaların kullanımına izin vermesine işaret eder. DSRC'deki “Kısa Mesafe (Short Range)” terimi ise hücresel ve WiMax servislerinin desteklediği mesafelerden daha kısa mesafelerde, yüzlerce metrede haberleşmenin gerçekleştiğini ifade eder. Bu spektrum birkaç kanala bölünmüştür [5]. Şekil 1'de Amerika'da (üstte) ve Avrupa'da (altta) DSRC için tahsis edilen kanallar gösterilmiştir.



Şekil 1. Amerika ve Avrupa'daki DSRC frekans tahsisi [6].

5.9 GHz bandı; bir kontrol kanalı (CH 178), altı servis kanalı olmak üzere on megahertzlik yedi kanala ve yedekte tutulacak bir beş megahertzlik kanala bölünmüştür. Kontrol kanalı (5.890 GHz'deki CH 178), RSU (Road Side Units) servis sağlayıcıları tarafından yüksek öncelikli güvenlik mesajları iletmek ve duyurmak ya da “tanıtmak” için



tanımlanmıştır. İki kanal (CH 180 ve CH 182) düşük güçlü, kısa mesafeli haberleşme için tasarlanmıştır. İki kanal (CH 174 ve CH 176) orta güçlü, orta mesafe haberleşme için tasarlanmıştır. Kanal 184 özellikle yüksek güçlü, daha uzun menzilli, kavşak çarpışma önleme gibi can güvenliği uygulamaları için tasarlanmıştır [7].

Bant planı Kontrol Kanal Protokolünü destekler. Kabul edilen bant planına göre, Kanal 178 (5.885-5.895 GHz) talimatlar veya kısa, genel güvenlik öncelikli iletimleri tamamlamak için her OBU tarafından periyodik olarak erişilmesi gereken kontrol kanalı olarak tasarlanmıştır. OBU'ların genel güvenlik mesajlarını ya da bir iletimi tamamlamak ve ilgili bilgiyi elde etmek amacıyla servis kanalına geçme talimatlarını kontrol etmeleri için her 50 milisaniyede bir kontrol kanalını dinlemeleri gerekir. Bir kanalda sağlanan hizmetler CH 178'de ilan edilir ve bu ilanlar RSU operatörleri tarafından yönetilir [7].

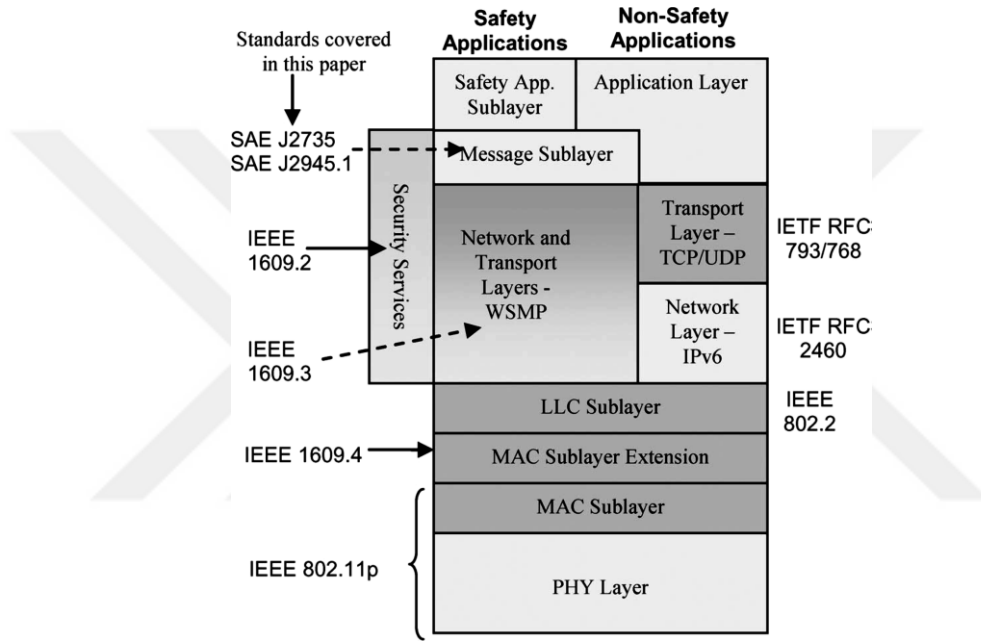
Bir OBU ya da RSU iletimden önce kanalı gözlemeli ve eğer başka bir mesaj iletiliyorsa, iletimi başlatmadan önce onu beklemelidir. Bu, IEEE 802.11-2012 tarafından tanımlanmış "Taşıyıcı Dinleyen Çoklu Erişim/Çarpışma Önleme" (CSMA /CA) olarak adlandırılan bir kanal erişim sürecidir. Bir RSU ya da OBU servis kanalında iletim yapmak için kontrol kanalından ayrılırsa, genel güvenlik mesajları ya da talimatlarını kontrol etmek için kontrol kanalına geri dönmesi gerekir [7].

Bant planı aynı zamanda bir "öncelik çerçevesi"ni yansıtır. FCC'ye göre kontrol kanalı öncelik düzeni, aynı zamanda can güvenliği ve genel güvenlik haberleşmelerine öncelikli erişimi verebilir. Diğer bir ifadeyle, yüksek öncelikli bir haberleşme, gerektiğinde düşük öncelikli veya önceliksiz bir haberleşmeden önce gelecektir. Öncelikli erişim süreci IEEE 802.11-2012 standardında da tanımlanmıştır. Daha düşük ya da önceliksiz haberleşme yüksek öncelikli haberleşme tamamlandıktan sonra gönderilecektir. Öncelikli mesaj protokollerini oluşturmak için ASTM-DSRC standardının üst protokol katmanlarında çalışmanın devam ettiğini kabul ederken, FCC üç seviyeli bir öncelik çerçevesi benimsemiştir [7]:

1. Can güvenliği: Can güvenliğine yönelik yakın bir tehdit içeren DSRC haberleşmeleri diğer tüm DSRC haberleşmelerinden üstün erişim önceliğe sahip olmalıdır. Kamu güvenlik kuruluşları (eyalet veya yerel yönetimler gibi) veya sivil toplum kuruluşları (yol kullanıcıları arasında ve yol kullanıcıları ile yol operatörleri arasında yapılan araçlar-arası kaza önleme mesajları gibi) ile alakalı olup olmadığına bakılmaksızın, bu en yüksek öncelik seviyesi, can güvenliği haberleşmeleri için geçerlidir.



2. Kamu Güvenliği ve Kamu-Dışı Güvenlik: Kamu güvenlik haberleşmeleri, ister kamu güvenliği kuruluşları isterse diğer nitelikli kuruluşlar tarafından olsun, can güvenliği hariç diğer tüm DSRC haberleşmelerine öncelikli erişme sahip olmalıdır.
3. Bir Güvenlik/Kamu Güvenliği ve Diğer Güvenlik/Kamu Güvenliği: Güvenlik ve /veya kamu güvenliği öncelik seviyeleri dahilindeki kuruluşlar-arasındaki haberleşmenin önceliğinin belirlenmesi koordinasyon içinde çalışan Federal, Eyalet ve yerel ulaşım ajansları tarafından belirlenecektir.



Şekil 2. DSRC'nin katmanlı mimarisi [5].

DSRC protokol yığınının fiziksel katmandan başlayarak alttan üste doğru çalışan çeşitli katmanları vardır. Şekil 2, çeşitli katmanlarda kullanılmak amacıyla protokollerin ve standartların kısa isimlerini içeren, DSRC için protokol yığınını göstermektedir. DSRC, PHY ve MAC katmanlarında, bilinen IEEE 802.11 (WiFi) standardının değiştirilmiş bir sürümü olan IEEE 802.11p Araç Ortamları için Kablosuz Erişim (Wireless Access for Vehicular Environments- WAVE)'i kullanır. DSRC yığının ortasında IEEE 1609 çalışma grubu tarafından tanımlanan birtakım standartlar kullanır: Kanal Değiştirme için 1609.4, Ağ Servisleri için 1609.3 (WAVE Kısa Mesaj Protokolü- VWSMP dahil) ve Güvenlik Servisleri için 1609.2. DSRC ayrıca Ağ ve Aktarım için iyi bilinen İnternet protokollerinin, yani İnternet Protokol versiyon 6 (IPv6), Kullanıcı Veri Bloğu Protokolü (UDP) ve İletim Kontrol Protokolü (TCP)'nin kullanımı da destekler. İnternet Mühendisliği Görev Grubu (IETF)



tarafından tanımlanan bu protokoller sabit ve diğer yerlerde iyi bir şekilde belgelendirildiğinden burada daha fazla ele alınmayacaktır. WSMP ya da IPv6+UDO/TCO kullanma arasındaki seçim, belirli bir uygulamanın gereksinimlerine bağlıdır. Çarpışma önleme uygulamalarında olduğu gibi tek-sekmeli mesajlar genelde bant genişliği açısından verimli WSMP'yi kullanırken, çok-sekmeli paketler yönlendirme kapasitesi için IPv6'yı kullanır [5].

Yığının üstündeki SAE J2735 Mesaj Set Sözlüğü standardı, araç tabanlı çeşitli uygulamaları destekleyen bir takım mesaj formatlarını belirtir. Bunların en önemlisi, araçlar-arası haberleşme güvenlik uygulamalarını desteklemek için kritik araç durum bilgilerini taşıyan temel güvenlik mesajıdır (BSM). BSM'leri sık değiştiren araçlar birbirlerinin konum ve hareketini takip edebilir ve olası çarpışmaları önlemek için harekete geçebilir. SAE J2735 mesaj söz dizimini belirler; ancak ortaya çıkan SAE J2945.1 haberleşme minimum performans gereksinim standardında belirlenecek olan araçlar-arası haberleşme güvenliği için diğer normları bırakır. SAE J2945'te ele alınacak konular-arasında; BSM iletim oranı ve gücü, BSM veri elemanlarının doğruluğu ve kanal tıkanıklık kontrolü vardır [5].

1.3. Araçlar-Arası Haberleşme Kanalı Modelleme

Araçlar-arası haberleşme kanalının modellenmesinde ölçümlerden elde edilen alınan sinyal gücü verileri bazı çalışmalarda bir bütün olarak modellenirken, bazı çalışmalarda ise bu veriler sönmülemeye sebep olan özelliklere göre ayrıştırılarak modellenmiştir. Ölçüm verileri genel olarak ele alındığında, büyük-ölçekli sönmüleme ve küçük-ölçekli sönmüleme olmak üzere iki kısımda modellenmiştir. Büyük-ölçekli sönmülemede, verici ve alıcı araç arasındaki mesafeye göre alınan sinyal gücünün değişimi incelenmiştir. Küçük ölçekli sönmüleme de ise alınan sinyal gücünün ortalaması üzerindeki hızlı değişimler olarak bilinen çokyolluluk analiz edilmiştir. Büyük ölçekli sönmülemenin modellenmesinde; log-mesafe yol kaybı modeli, iki-ışın yol kaybı modeli ve çift eğimli yol kaybı modeli gibi modeller kullanılmıştır. Küçük ölçekli sönmüleme ise istatistiksel dağılımlarla modellenmiştir. V2V haberleşmede küçük ölçekli sönmüleme daha çok Weibull, Nakagami-m, Rayleigh ve Rician gibi istatistiksel dağılımlarla modellenmiştir.



1.3.1. Büyük-Ölçekli Modelleme

Ölçüm verilerinden elde edilen alınan sinyal gücü; yol kaybı, gölgeleme ve çokyolluluk parametrelerinin olduğu üç kısma ayrılabilir. Bunlardan yol kaybı ve gölgeleme büyük-ölçekli sönümlenme olarak kabul edilirken; çokyolluluk, küçük-ölçekli sönümlenme olarak kabul edilir. Büyük ölçekli sönümlenmeyi modelleyebilmek için öncelikle ham ölçüm verilerinden çokyolluluk etkisinin çıkarılması gerekiyor. Bu ise alınan sinyal gücü değerlerinin uygun mesafelerde ($5-40 \lambda$ [8]) ortalaması alınarak gerçekleştirilir. Böylece alınan sinyal gücündeki hızlı değişimler ortadan kaldırılarak sadece ortalama değer elde edilir. Bu ortalama değer, yol kaybı ve gölgeleme etkisinden oluşur. Bu iki kısmı birbirinden ayırmak için önce ortalama değere bir yol kaybı modeli uydurulur. Daha sonra bu yol kaybı modeli ortalama değerden çıkarılarak geriye sadece gölgeleme kalır. Gölgeleme ise genellikle sıfır ortalamalı ve σ standart sapmalı Gauss dağılımı ile modellenmiştir.

1.3.1.1. Log-mesafe Yol Kaybı Modeli

Yol kaybı; sinyal zayıflamasını ölçülen pozitif bir miktar olarak dB cinsinden temsil eden, iletilen etkin güç ile alınan güç arasındaki fark (dB cinsinden) olarak tanımlanır [8]. Araçlar-arası haberleşmede en çok kullanılan yol kaybı modellerinden biri log-mesafe yol kaybı modelidir. Bu modelde ortalama alınan sinyal gücü değeri, verici ve alıcı arasındaki mesafenin üssel değişimiyle ifade edilmektedir ve formülü şu şekilde;

$$\overline{PL}(d) \propto \left(\frac{d}{d_0}\right)^n \quad (1.1)$$

ya da

$$\overline{PL}(d) = \overline{PL}(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right), \quad d > d_0 \quad (1.2)$$

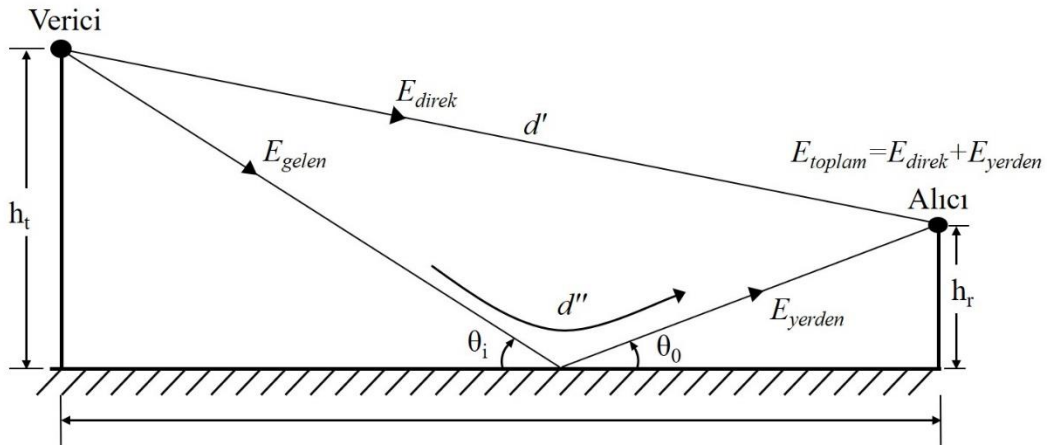
şeklinde gösterilir [8]. $\overline{PL}(d)$, verici ve alıcı arasındaki d mesafesindeki yol kaybını (dB); d_0 , referans mesafeyi (m); $\overline{PL}(d_0)$, referans mesafedeki yol kaybını (dB); n , yol kaybı üssünü gösterir. Yol kaybı üssü değeri hücresel kablosuz haberleşmede 2 ile 5 arasında değişiklik göstermektedir ki 2 serbest uzayda değerine karşılık gelir. Vericiden gönderilen sinyalin alıcıya ulaşmasını engelleyen nesnelerin yoğunluğu arttıkça, yani yol kaybı arttıkça,



yol kaybı üssü değeri de 2'den 5'e doğru artar. Ancak, araçlar-arası haberleşme ölçüm çalışmalarında bu değer bazen 2'nin altında bulunmuşken bazen de 5'in üzerinde sonuçlar elde edilmiştir. Araçlar-arası haberleşme kanalının modellenmesi için yapılan ölçüm çalışmalarının çoğunda, verilerden çıkarılan parametrelerden biri yol kaybı üssüdür. Bu parametre, ölçüm yapılan farklı ortamların (kent, yarı kent, kırsal, otoyol vb.) bir nevi katsayısı olarak literatüre katkı olarak verilmiştir. Böylece, farklı çalışmalardaki benzer ortamların yol kaybı üssü değeri kıyaslanmış ve benzer ortamlar için ortalama bir yol kaybı üssü değeri elde edilmiştir.

1.3.1.2. İki-ışın Yol Kaybı Modeli

Log-mesafe yol kaybı modeli genel olarak çok kullanılmasına rağmen bazı senaryolarda (özellikle verici ve alıcı arasında direk görüş hattı varsa) iki-ışın yol kaybı modelinin daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. İki-ışın yol kaybı modelinde, verici ve alıcı arasında direk görüş hattındaki ışın ve yerden yansıyan ışın olmak üzere iki-ışının varlığı kabul edilmektedir. Şekil 3'te iki-ışın yol kaybı modeli gösterilmiştir.



Şekil 3. İki-ışın yol kaybı modeli

İki-ışın modelinde, öncelikle her bir ışının alıcıda oluşturduğu elektrik alan hesaplanır. Daha sonra bu elektrik alanlar toplanarak toplam elektrik alan hesaplanır. Son olarak elde edilen toplam elektrik alandan alınan sinyal gücü hesaplanır.

Vericiden gönderilen bir sinyalin alıcıda oluşturduğu elektrik alan $d > d_0$ için şu formülle hesaplanır;



$$E(d, t) = \frac{E_0 d_0}{d} \cos \left(\omega_c \left(t - \frac{d}{c} \right) \right), \quad d > d_0 \quad (1.3)$$

Burada, d_0 , referans mesafeyi (m); E_0 , referans mesafedeki serbest uzay elektrik alanı (V/m) gösterir. İki-ışın modelindeki direk görüş hattı için (1.3) düzenlenecek olursa;

$$E_{direk}(d', t) = \frac{E_0 d_0}{d'} \cos \left(\omega_c \left(t - \frac{d'}{c} \right) \right) \quad (1.4)$$

elde edilir. d' direk görüş hattındaki verici ve alıcı arasındaki mesafedir. Benzer şekilde yerden yansıyan ışın için ise;

$$E_{yerden}(d'', t) = \Gamma \frac{E_0 d_0}{d''} \cos \left(\omega_c \left(t - \frac{d''}{c} \right) \right) \quad (1.5)$$

formülü elde edilir. d'' , verici ve alıcı arasındaki yerden yansıyan ışının katettiği mesafedir. Γ yerden yansıma katsayısını gösterir ve dikey ve yatay polarizasyon için şu şekilde hesaplanır;

$$\Gamma_{\parallel} = \frac{-\varepsilon_r \sin \theta_i + \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2 \theta_i}}{\varepsilon_r \sin \theta_i + \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2 \theta_i}} \quad (1.6)$$

$$\Gamma_{\perp} = \frac{\sin \theta_i - \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2 \theta_i}}{\sin \theta_i + \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2 \theta_i}}$$

Burada θ_i , geliş açısı ve ε_r , bağıl geçirgenliktir. d' ve d'' mesafeleri alıcı ve verici anten yüksekliği cinsinden şu şekilde hesaplanır;

$$d' = \sqrt{(h_t - h_r)^2 + d^2} \quad (1.7)$$

$$d'' = \sqrt{(h_t + h_r)^2 + d^2}$$



Direk görüş hattından ve yerden yansıyan ışınlarından elde edilen toplam elektrik alan $E_{toplam}(d, t)$;

$$E_{toplam}(d, t) = \frac{E_0 d_0}{d'} \cos\left(\omega_c \left(t - \frac{d'}{c}\right)\right) + \Gamma \frac{E_0 d_0}{d''} \cos\left(\omega_c \left(t - \frac{d''}{c}\right)\right) \quad (1.8)$$

olarak hesaplanabilir [8]. Toplam elektrik alan bulunduğundan sonra iki-ışın modeli için alınan sinyal gücü watt cinsinden şu formülle hesaplanır;

$$Pr(d) = P_d A_e = \frac{|E_{toplam}|^2}{120\pi} A_e = \frac{|E_{toplam}|^2 G_r \lambda^2}{480\pi^2} \quad (1.9)$$

Burada; P_d güç akı yoğunluğunu, A_e etkin anten açıklığını, G_r alıcı antenin kazancını, λ dalga boyunu göstermektedir.

İki-ışın yol kaybı modeli $d \gg h_t + h_r$ olduğu varsayılarak sadeleştirilebilir. Sadeleştirmeler yapıldıktan sonra alınan sinyal gücü şu şekilde elde edilir:

$$Pr_{sadeleştirilmiş} = P_t G_t G_r \frac{h_t^2 h_r^2}{d^4} \quad (1.10)$$

İki-ışın modelinin (1.10)'da verilen sadeleştirilmiş hali bazı yaygın olarak bilinen simülatörlerde [9], [10] kullanılmıştır. Ancak, araçlar-arası haberleşmede hem verici ve alıcı arasındaki mesafe hem de anten yükseklikleri hücreli kablosuz haberleşmeye göre çok düşüktür. Ayrıca anten yüksekliklerindeki küçük değişimlerin bile sonucu ihmal edilemeyecek oranda etkilediğinden sadeleştirilmemiş iki-ışın yol kaybı modeli kullanılması önerilmiştir [11]. Bu tez çalışmasında kullanılan iki-ışın yol kaybı modeli sadeleştirilmemiş modeldir. Yani (1.8) ve (1.9)'da verilen formüller ile hesaplanmıştır.

1.3.1.3. Çift-Eğimli Yol Kaybı Modeli

Log-mesafe yol kaybı modeli tek eğimli bir yol kaybı modelidir. Yani, yol kaybı üssü değeri log-mesafe yol kaybı modelinin aynı zamanda eğimini gösterir. Benzer şekilde, çift-eğimli yol kaybı modelinde ise belirli bir mesafeye kadar veri bir yol kaybı üssü değeriyle ifade edilirken, bu mesafeden sonra başka bir yol kaybı üssü değeri ile ifade edilir. Böylece



iki yol kaybı üssüne sahip bir model elde edilmiş olur. Bu modelde verinin hangi mesafeden sonra farklı bir yol kaybı üssüne sahip olacağı kritik mesafe dayalı olarak yapılır. Çift eğimli yol kaybı modelinin formülü şu şekildedir [12];

$$PL(d) = \begin{cases} PL(d_0) + 10n_1 \log\left(\frac{d}{d_0}\right), & d_0 \leq d \leq d_c \\ PL(d_0) + 10n_2 \log\left(\frac{d_c}{d_0}\right) + & d > d_c \\ PL(d_0) + 10n_2 \log\left(\frac{d}{d_c}\right), & \end{cases} \quad (1.11)$$

Burada, d_0 , referans mesafeyi; $PL(d_0)$, referans mesafedeki yol kaybını; d_c , kritik mesafeyi; n_1 ve n_2 ise sırasıyla birinci ve ikinci yol kaybı üssü değerlerini gösterir. (1.11)'de kritik mesafe teorik olarak şu şekilde hesaplanır:

$$d_c = \frac{4\pi h_t h_r}{\lambda} \quad (1.12)$$

Burada, h_t ve h_r sırasıyla verici ve alıcının anten yüksekliğini gösterirken λ , dalga boyunu göstermektedir. Bazı çalışmalarda [13], [14] buradaki kritik mesafe hesabına göre değil ölçüm verilerine göre en uygun kritik mesafe seçimi gerçekleştirilmiştir.

1.3.2. Küçük-Ölçekli Modelleme

Vericiden gönderilen sinyal alıcıya direk olarak ulaşabildiği gibi çevredeki nesnelere yayılarak da alıcıya ulaşabilir. Bu durum yansıma, kırılma ve saçılma gibi farklı üç yayılım mekanizmasıyla gerçekleşir ve bunlarının bir veya birkaçının birleşerek alıcıda oluşturduğu etkiye çokyolluluk etkisi denir. Vericiden gönderilen sinyalin yansıma, kırılma ve saçılma gibi farklı yayılım mekanizmaları aracılığıyla alıcıya ulaşması durumunda genlik ve fazında değişimler gerçekleşir. Çok yollu bu sinyaller bazen orijinal sinyali güçlendirici bir etkiye sahipken (yapıcı) bazen de zayıflatıcı (yıkıcı) bir etkiye sahiptir. Araçlar-arası haberleşmede; verici ve alıcının yüksek hızlarda hareketli olması, gönderilen sinyalin çevredeki birçok nesneden etkilenmesine sebep olan düşük anten yükseklikleri, ortamdaki yaya ve araç gibi diğer nesnelerin de hareketli olması gibi birçok sebepten dolayı çokyolluluk etkisi çok hızlı değişimler göstermektedir. Araçlar-arası haberleşmede bu

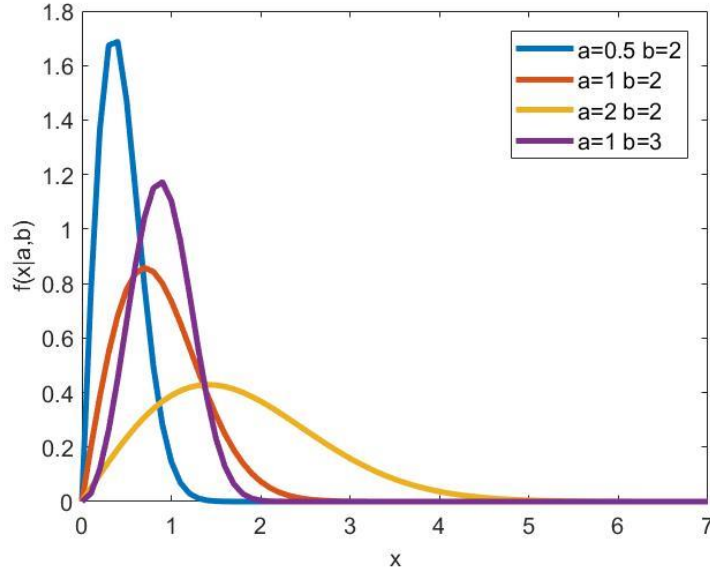


değişimler genellikle küçük ölçekli sönümlenme altında analiz edilir ve istatistiksel modeller kullanılarak modellenir. Araçlar-arası haberleşme ölçüm çalışmalarının önemli bir kısmında büyük ölçekli sönümlenmenin modellenmesi gerçekleştirilmiş ancak küçük ölçekli sönümlenmenin modellenmesi göz ardı edilmiştir. Bu tez çalışmasında, küçük-ölçekli sönümlenme ham ölçüm verisinden ayrıldıktan sonra Weibull, Rayleigh, Rician ve Nakagami-m dağılımları kullanılarak modellenmiştir.

1.3.2.1. Weibull Dağılımı

Araçlar-arası haberleşme ölçüm çalışmalarında küçük ölçekli sönümlenmenin modellenmesinde kullanılan dağılımlardan biridir. Ölçek (a) ve şekil (b) olmak üzere iki parametresi vardır. Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu şu şekildedir [15] :

$$f(x|a, b) = \begin{cases} \frac{b}{a} \left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} e^{-(x/a)^b} & x \geq 0, \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (1.13)$$



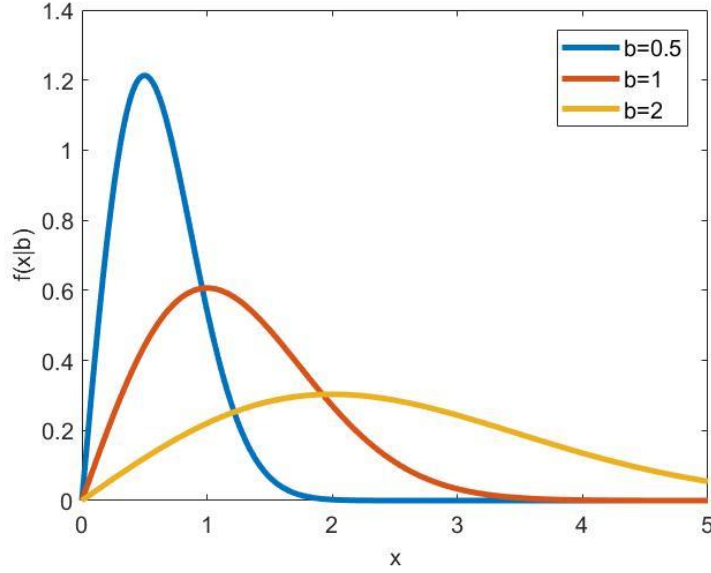
Şekil 4. Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu



1.3.2.2. Rayleigh Dağılımı

Rayleigh dağılımı genellikle görüş hattının olmadığı durumlara daha uygun bir dağılım olup Weibull dağılımının özel bir durumudur. Rayleigh dağılımının olasılık dağılım fonksiyonu şu şekildedir [15];

$$f(x|b) = \begin{cases} \frac{x}{b^2} e^{-x^2/2b^2} & x \geq 0, \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (1.14)$$



Şekil 5. Rayleigh dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu

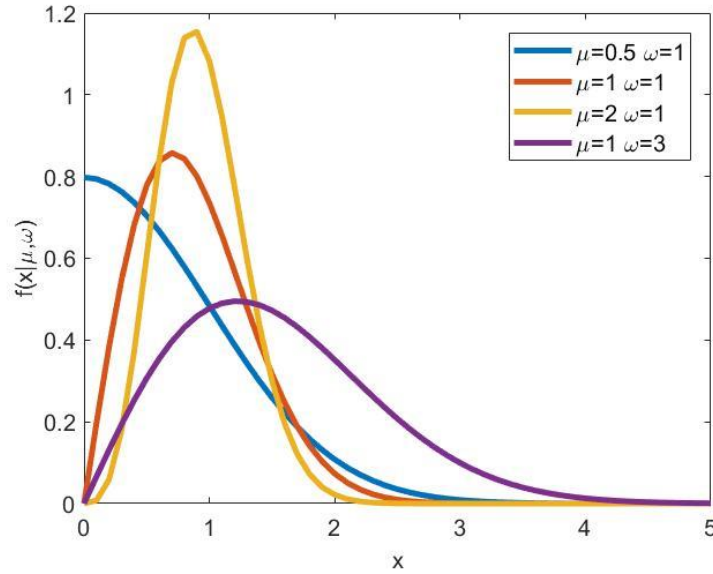
1.3.2.3. Nakagami-m Dağılımı

Nakagami-m dağılımı, Rayleigh dağılımının μ parametresi aracılığıyla geliştirilmiş bir halidir. Olasılık yoğunluk fonksiyonu [15] şu şekildedir:

$$f(x|\mu, \omega) = \begin{cases} 2 \left(\frac{\mu}{\omega}\right)^\mu \frac{1}{\Gamma(\mu)} x^{2\mu-1} e^{-\mu x^2/\omega} & x > 0, \\ 0 & x \leq 0 \end{cases} \quad (1.15)$$



Burada; μ , şekil parametresi ve ω , ölçek parametresidir. Rayleigh dağılımı ile kıyaslandığında, haberleşme teorisinde rastgele dalgalanan kanalları (sönümlenme) modellemede daha büyük esneklik sağlar. (1.15)'te $\mu = 1$ olduğunda Nakagami-m dağılımı Rayleigh dağılımına denk gelir. μ değeri dağılımın kuyruğunu kontrol etmek için kullanılabilir. Şekle bakıldığında $\mu < 1$ olması durumu için kuyruk dağılımı Rayleigh dağılıma göre daha yavaş bozulurken, $\mu > 1$ için daha hızlı bozulduğu görülür.



Şekil 6 Nakagami-m dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu

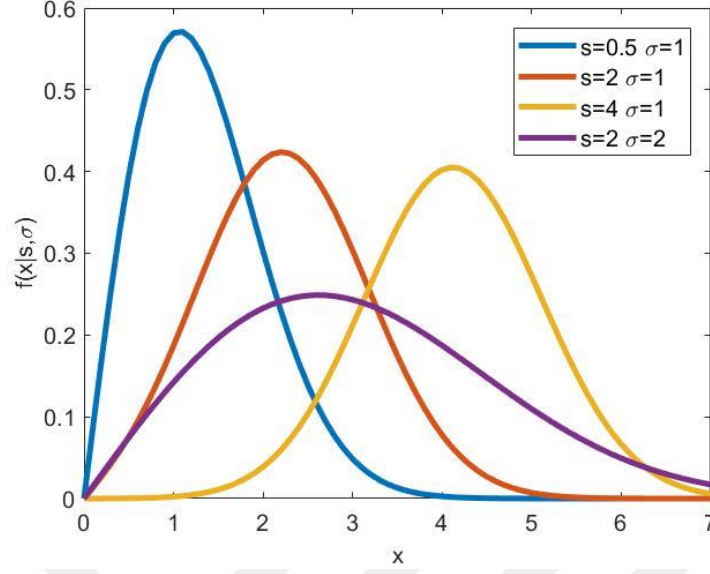
1.3.2.4. Rician Dağılımı

Rician dağılımı genellikle görüş hattının olduğu çokyolluluk sönümlenmenin modellenmesinde kullanılır. Olasılık yoğunluk fonksiyonu ise şu şekildedir [15]:

$$f(x|s, \sigma) = I_0\left(\frac{xS}{\sigma^2}\right) \frac{x}{\sigma^2} e^{\left(\frac{-(x^2+s^2)}{2\sigma^2}\right)} \quad (1.16)$$

Burada; s baskın bileşenin tepe genlik değerini, $I_0(\cdot)$, sıfırıncı derece birinci tür değiştirilmiş Bessel fonksiyonunu ifade etmektedir.





Şekil 7. Rician dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu

Haberleşme teorisinde Nakagami dağılımı, Rician dağılımı ve Rayleigh dağılımları alıcıya çok yolla ulaşan saçılmış sinyallerin modellenmesinde kullanılır. Saçılmanın yoğunluğuna bağlı olarak, sinyal farklı sönümlenme karakteristikleri gösterecektir. Rayleigh ve Nakagami dağılımları yoğun saçılmaları modellemek için kullanılırken; Rician dağılımı güçlü bir direk görüş hattı olan sönümlenmeleri modellemede kullanılır.

1.3.3. Model Seçim Kriterleri

Araçlar-arası haberleşme ölçümlerinden elde edilen veri; yol kaybı, gölgeleme ve sönümlenme olmak üzere üç ayrı kısma ayrıldıktan sonra her biri ayrı bir şekilde modellenmiştir. Bu modelleme sürecinde en uygun modelin bulunmasında; belirlilik katsayısı olarak bilinen R-Square (R^2), RMSE ve Akaike Bilgi Kriteri (Akaike Information Criteria-AIC) kullanılmıştır. R^2 aslında korelasyon katsayısının (r) karesidir ve aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır [16].

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}} \quad (1.17)$$



Burada, n , nokta sayısını; x ve y kıyaslanacak ölçüm ve model verilerini göstermektedir. Korelasyon katsayısı r elde edildikten sonra bu değerın karesi alınarak R^2 değeri hesaplanır. r değeri -1 ile 1 arasında değişirken; R^2 değeri, 0 ile 1 arasında değişir. Kıyaslanan ölçüm ve model verileri birbirine ne kadar uyumlu ise R^2 değeri 1'e o kadar yaklaşır. R^2 değerinin "0" olması veri ve modelin birbirine uymadığını gösterirken; "1" ise veri ve modelin birbirine tam uyduğunu gösterir.

R^2 değeri iki verinin kıyaslanmasında bize uyumlulukları hakkında bilgi vermesine rağmen en uygun modelin seçilmesinde tek başına yeterli değildir. Bunun için ikinci bir değerlendirme kriteri olarak RMSE (Root Mean Square Error–Kök Ortalama Kare Hata) değeri kullanılmıştır. RMSE formülü şu şekildedir:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n}} \quad (1.18)$$

Burada e , ölçüm verileri ile model verileri arasındaki hatadır. RMSE bu hataların standart sapmasını verir.

AIC, özellikle dağılımların kıyaslanmasında ve birçok modelden en uygun olanının seçilmesinde kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Bunun için öncelikle AIC değeri hesaplanır. AIC değerinin formülü [17];

$$AIC = -2 \log L + 2k \quad (1.19)$$

ile hesaplanır. Burada L benzerliği (likelihood) ve k modelde kullanılan parametre sayısını gösterir. AIC artık kareler toplamı kullanılarak şu şekilde de hesaplanabilir;

$$AIC = n \left[\ln \left(\frac{RSS}{n} \right) \right] + 2k \quad (1.20)$$

Burada n , gözlem sayısını; RSS , artık kareler toplamını, k ise parametre sayısını gösterir. Artık, gözlem verilerinden ölçüm verilerinin çıkarılması sonucu elde edilir. (1.20) n/p oranının 40'tan büyük olması durumunda kullanılır. p , parametre sayısıdır. Daha az örneklem olması durumunda yani $n/p < 40$ olması durumunda (1.21) daha hassas bir sonuç verir.



$$AIC_c = AIC + \frac{2p(p+1)}{n-p-1} \quad (1.21)$$

(1.20) veya (1.21) ile hesaplanan en küçük AIC değerine sahip model en uygun modeli gösterir. Modellerin birbirleri ile kıyaslanarak en uygun modelin bulunabilmesi için AIC farklarının (Δ_i) hesaplanması gerekir.

$$\Delta_i = AIC_i - \min(AIC) \quad (1.22)$$

Her bir AIC değerinden AIC değerlerinin en küçüğünün çıkarılması sonucu Δ_i elde edilir. Δ_i kullanılarak Akaike ağırlıkları (Akaike weights) şu şekilde hesaplanır.

$$\omega_i = \frac{e^{-0.5\Delta_i}}{\sum_{r=1}^R e^{-0.5\Delta_r}} \quad (1.23)$$

Akaike ağırlıklarının (ω_i) toplamı 1'e eşittir. En yüksek Akaike ağırlığına sahip olan model, en uygun model olarak seçilir.

1.4. Literatürdeki Araçlar-Arası Haberleşme Çalışmaları

1.4.1. Deneysel Çalışmalar

Araçlar-arası haberleşme kanalının modellenmesi için gerçekleştirilen ilk ölçümler, bu kanalla ilgili yayınlanan bir standart olmadığı için farklı frekanslarda ve farklı ölçüm parametreleriyle gerçekleştirilmiştir. Daha sonra standartlar yayınlanıp, araçlar-arası haberleşmenin gerçekleşeceği bant 5.9 GHz olarak belirlendikten sonra genelde 5 ile 5.9 GHz arasındaki bantta ölçümler yapılmıştır. Ayrıca ölçüm düzenekleri de ölçülecek parametrelerin türüne göre değişiklik göstermektedir. Bazı çalışmalarda darbant bazı çalışmalarda genişbant ölçüm düzeneği kullanılmıştır. Darbant ölçümlerde, elde edilen veriler genelde log-mesafe yol kaybı modeline uydurularak bu modelin bir parametresi olan yol kaybı üssünün değeri verilmiştir. Genişbant ölçümlerde ise Doppler yayılımı, güç gecikme analizi, uyumluluk zamanı gibi parametrelere de ilişkin veriler paylaşılmıştır.



Araçlar-arası haberleşme kanalı ölçüm çalışmaları, kurulan ölçüm düzeneklerinin farklılıklarından dolayı iki ana gruba ayrılmıştır. Bunlardan biri, “SÜ–SA ölçüm düzeneği” olarak adlandırdığımız, verici olarak bir sinyal üretici (SÜ) ve alıcı olarak ise sinyal analizörü (SA) kullanan ölçüm düzenekleridir. Diğer ölçüm düzeneği ise ticari olarak şu an satışta bulunan, DSRC standartlarına uygun olarak üretilmiş, OBU kitleriyle kurulan ölçüm düzenekleridir. Bu kitler alınan sinyalleri RSSI (Received Signal Strength Indicator–Alınan Sinyal Gücü Göstergesi) olarak kaydettikleri için bu ölçüm düzeneklerini de “RSSI ölçüm düzeneği” olarak adlandırıldı. Her iki ölçüm düzeneğinde farklı marka ve modelde cihazlar kullanılmış olsa da inceleme kısmında karmaşıklık oluşmaması açısından tüm ölçüm düzenekleri bu iki ana grup altına toplandı. Araçlar-arası haberleşme kanal ölçüm çalışmalarını birbirinden ayırt etmek için kullanılan diğer parametre ise ölçümün yapıldığı ortamdır. Literatürdeki çalışmalarda kullanılan ortamlar; kent, yarıkent, kırsal, anayol, otoyol, açık yol, tünel, park ve üst geçittir.

1.4.1.1. SÜ-SA Ölçüm Düzeneğini Kullanan Çalışmalar

Sinyal Üretici-Sinyal Analizörü kullanan ölçüm çalışmaları içerisinde RUSK LUND, Değiştirilmiş Raptor, Network Analizör, Berkeley Varitronics Invex.NxG i.Scan, Aalto MIMO, NI PXIe5673E-NI PXIe5663E gibi farklı ölçüm düzenekleri olmasına rağmen hepsi bu başlık altında incelenmiştir. Bu grup haricindeki ölçüm çalışmaları, DSRC standartlarına uygun, araçlar-arası haberleşme için üretilmiş özel kitler kullandığından onlar ayrı bir grup altında incelenmiştir. Bu gruptaki çalışmaların genel bir farklılığı ise ölçüm yapılan frekansın farklılık göstermesidir. Bundan sonraki kısımda, SÜ-SA ölçüm düzeneği kullanan çalışmalar, ölçümlerin yapıldığı ortamlara göre; kent, yarıkent, anayol, kırsal ve diğer ortamlar olmak üzere farklı sınıflara ayrılarak ele alınmıştır.

1.4.1.1.1. Kent Ortamı

Genellikle kent ortamı; yolun etrafında yüksek ve sık binaların bulunduğu, yavaş hızlarda ancak yoğun bir trafiğin olduğu, verici ve alıcı arasına sürekli engel araçların girdiği, yol kenarlarında trafik lambaları, trafik levhaları vb. nesnelerin ve yayaların olduğu, bir veya daha fazla şeritten oluşan bir ölçüm ortamıdır. Bu ortamlardaki araç, yaya ve nesnelerin yoğunluğu her çalışmada farklılık göstermektedir.



Kent ortamında SÜ-SA ölçüm düzeneği ile yapılan çalışmalar 700 MHz ile 5.9 GHz arasında değişmektedir. Bazı çalışmalarda büyük-ölçekli sönümlenmenin modellenmesiyle alakalı bir çalışma yapılmamış ancak bu çalışmalarda Doppler kayması, güç gecikme profili, gecikme yayılmaları, anten konumu ve gölgeleme ile alakalı sonuçlar paylaşılmıştır. [18]'de Doppler spektrumu verilmiş ve verilere en uygun istatistiksel dağılımın Rician dağılımı olduğu belirtilmiştir. [19] ve [20]'de Rayleigh dağılımından daha şiddetli sönümlenmenin görüldüğü ve en uygun Weibull dağılımının olduğu; [21]'de ölçüm verisinin sadece çokyolluluk kısmı değil tamamı istatistiksel olarak uydurulup ve araçlar-arası haberleşme modelleme çalışmalarında ilk defa kullanılan α - μ dağılımının en uygun dağılım olduğunu ancak Weibull, Rician ve Nakagami dağılımlarının da iyi uyum sağladığı vurgulanmıştır. [22]'de Doppler ve güç gecikme profili verilmiş, [23]'te gecikme ve Doppler yayılımı hakkında bilgi paylaşılmıştır. [24]'te kent kavşağında yapılan ölçüm sonucu araçların kavşaklardan uzaklaştıkça yol kaybının arttığı ve görüş hattının kaybolduğu durumlarda bina gibi yüksek saçıcıların kapsamayı devam ettirdiği ortaya konulmuştur. [25]'te gecikme yayılımı, genlik istatistikleri ve araçlar-arası haberleşme ortamlarının korelasyonları verilmiş ve Weibull dağılımı kullanılmıştır. [26]'da Rayleigh dağılımından daha şiddetli sönümlenmeler gözlemlenmiş ve bunun için bir model önerilmiştir. [27]'de antenler aracın tavan, tampon, yan ve içi olmak üzere dört farklı konumuna yerleştirilerek, en iyi sonucun hangi konumda alındığı araştırılmıştır. Tavan ve yan tarafa yerleştirilen antenlerin, aracın kendi gövdesinden dolayı gölgelemeye maruz kaldığı, bu yüzden tavanla beraber tampona yerleştirilecek antenin birçok ortamda en iyi sonuç verdiği vurgulanmıştır. [28]'de ise verici ve alıcı araç arasına yerleştirilen van ve kamyon tipi araçların sebep olduğu gölgeleme, Gauss dağılımı ile modellenmiş ve standart sapması 3.2 dB ve 6.98 dB arasında bulunmuştur.

Bazı çalışmalarda log-mesafe ve/veya iki-ışın modeliyle büyük-ölçekli modelleme yapılmış ve elde edilen parametreler paylaşılmıştır. Bu çalışmalarda yol kaybı üssü parametresi " n " harfiyle, gölgelemeyi tanımlayan Gauss dağılımının standart sapması " σ " simgesiyle gösterilecektir. [29]'da $n=1.61$ ve $\sigma=3.4$ dB olarak hesaplanmıştır. [30]'da $n=1.68$ ve $\sigma=1.7$ dB bulunmuştur. Ayrıca araçların birbirini takip etmesi, birbirine doğru ilerlemesi ve birbirinden uzaklaşarak ayrılması durumlarının etkisi, bir parametre olarak log-mesafe formülüne eklenerek yeni bir yol kaybı modeli önerilmiştir. [31]'de ölçüm çalışmalarından elde edilen veriler Işın-İzleme (Ray Tracing) simülatörüne dahil edilerek, düz ve eğimli araziler üzerine yapılan simülasyon sonuçları paylaşılmıştır. Ayrıca antenler



araçların farklı üç noktasına konumlandırılarak, antenlerin pozisyonunun etkisi de araştırılmıştır. Kentteki düz yolda, $n=1.7-2.68$ ve $\sigma=0.7-6.32$ dB arasında; % 8 eğimli yolda, $n=1.7-2.1$ ve $\sigma=5.23-7.6$ dB arasında ve % 12 eğimli yolda, $n=1.6-1.94$ ve $\sigma=7.05-8.04$ dB arasında değişmiştir. Düz yoldan eğimi artan yollara doğru n değeri azaldıkça, σ değeri artmıştır. Düz yolda, antenin tavanda olması durumunda, yol kaybının diğer konumlardaki antenlere göre daha düşük olduğu; eğimli yollarda ise tavandaki antenlerin, aracın kendi kendini gölgelemesinden dolayı yol kaybının diğer konumlardaki antenlerinkinden daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. [32]'de birçok ölçüm yapılmış, n ve σ değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri verilmiştir. n parametresinin minimum ve maksimum değeri 1.19 ile 2.66 arasında değişirken, ortalama değeri, 1.47 ile 1.84 arasında değişmiştir. σ parametresinin minimum ve maksimum değeri 1.98 ile 2.95 dB arasında değişirken, ortalama değeri, 2.33 ile 2.47 dB arasında değişmiştir. [33], [34]'te hem 700 MHz'de hem de 5.9 GHz'de ölçümler yapılmış; sonuçlar direk görüş hattının olduğu (LOS) ve direk görüş hattının olmadığı (NLOS) durumlar için ayrı ayrı verilmiştir. Karmaşıklığı azaltmak için paylaşılan değerlerin aralığı verilmiştir. 700 MHz'de yapılan ölçümlerde, düşük/yüksek yoğunluklu trafik için n değeri LOS/NLOS durumlar için ortalama 1.54–2.25 arasında değişirken; σ değeri, 4.39–5.99 dB arasında değişmiştir. Benzer şekilde, 5.9 GHz'de yapılan ölçümler için ise n değeri, 1.67–2.18 arasında değişirken; σ değeri, 3.36–4.74 dB arasında değişmiştir. [35]'te farklı anten yüksekliklerinde ve verici sabit iken, alıcının sabit veya hareketli olması gibi farklı durumlar için ölçümler yapılmış; n değerinin 1.5–3.7 arasında, σ değerinin ise 1.3–4.4 dB arasında değiştiği gözlemlenmiştir. [36]'da bir tırın yan tarafına dikey olarak iki anten yerleştirilerek ölçüm çalışması yapılmış ve 0–15 dB arasında kazanç elde edilmiştir. Kazancın en yüksek olduğu an, alınan sinyalin en zayıf olduğu durumlarda kaydedilmiştir. Bu çalışmada iki-ışın modeli kullanılmış olup yerden yansıma katsayısı 0.7 olarak hesaplanmıştır. [37]'de ölçüm çalışmalarından elde edilen veriler, kamera kayıtları incelenerek; LOS, OLOS (engellenen görüş hattı) ve NLOS olmak üzere üçe ayrılarak modellenmiştir. Araçların engellenmesi sonucu yaklaşık 10 dB zayıflatmanın olduğu ifade edilmiştir. Çift-eğimli yol kaybı modeli kullanılmış ve n_1 değeri LOS durum için 1.81 iken OLOS durum için 1.93 ve n_2 değeri LOS durum için 2.85 iken OLOS durum için 2.74; σ değeri ise LOS durum için 4.15 dB, OLOS durum için 6.67 dB olarak hesaplanmıştır. [38]'de araçlar birbirine doğru zıt yönde hareket ederken ölçümler yapılmış ve araçlar birbirlerine yaklaşırken elde edilen n değerinin, araçlar birbirinden uzaklaşırken elde edilen n değerinden daha yüksek olduğu belirtilmiştir. n değeri, 3.17–3.36



arasında bulunmuştur. [39]'da araçlar-arası ve araç-yürüme şeklinde iki farklı senaryo gerçekleştirilmiş ve n değeri araçlar-arası haberleşme için 2.11–2.46; araç-yürüme haberleşme ölçümü için 3.44 bulunmuştur. σ değeri, 4.5–4.8 dB araçlar-arası için; 3.81 dB araç-yürüme ölçümü için hesaplanmıştır.

1.4.1.1.2. Yarıkent Ortamı

Yarıkent ortamı; kent merkezinin dışında, daha az yoğunlukta trafik ve binaya sahip, trafik akışının kent ortamına göre daha hızlı olduğu, yer yer yol etrafında ağaçların da olabildiği, gidiş-geliş şeritleri arasında refüjün bulunabildiği ortamlardır.

Daha önce ele alınan çalışmalar içerisinde farklı ortamlara ait ölçümler de bulunduğu için her bir ortam ele alınırken aynı çalışmaların detaylı bilgileri paylaşılmamış, sadece o ortama ait bilgiler verilmiştir. Yani önceden paylaşılmış çalışmaların sadece yarıkent ile ilgili kısımları burada ele alınmıştır. [18]'de ölçüm verileri istatistiksel dağılıma uydurulmuş ve yarıkent ortamı için de Rician dağılımının en uygun olduğu belirtilmiştir. [40]'ta n değeri 2.75 ve σ değeri 5.5 dB bulunmuştur. [13]'te hem SÜ-SA ölçüm düzeneği hem de RSSI ölçüm düzeneği kullanılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır ki bu literatürde sadece bu çalışmada vardır. Ölçüm verileri hem tek-eğimli (log-mesafe) hem de çift-eğimli yol kaybı modeline uydurulmuş; tek-eğimli yol kaybı modeli için n değeri, 2.32–2.75 ve σ değeri, 5.5–7.1 dB arasında; çift-eğimli yol kaybı modeli için n_1 ve n_2 değeri, sırasıyla 2–2.1 ve 3.8–4 arasında değişmiştir. [41]'de yarıkent ortamında Doppler etkisi incelenmiştir. [25]'te; gecikme yayılımı, genlik istatistikleri ve araçlar-arası haberleşme ortamlarının korelasyonları verilmiş ve veriler Weibull dağılımı ile modellenmiştir. [30]'da n değeri 1.59 ve σ değeri 2.1 dB olarak bulunmuştur. [26]'da Rayleigh dağılımından daha şiddetli sönümlenmeler için yeni bir model önerilmiştir. [42]'de n değeri, 1.83–3.27 arasında ve σ değeri, 2.57–4.55 dB arasında elde edilmiştir. [43]'te yol kenarındaki saçıcıların lineer dağıldığı kabul edilen yeni bir model önerilmiş ve sonuçları çift-halka modelinden daha iyi olduğu vurgulanmıştır. [34]'te; 700 MHz için n değeri, 1.8–2.39 ve σ değeri, 4.93–5.19 dB arasında; 5.9 GHz için n değeri, 1.76–2.25 ve σ değeri, 3.44–5.2 dB arasında elde edilmiştir. [38]'de n değeri, 2.56–3.41 arasında ve σ değeri, 2.2–2.6 dB arasında değişmiştir. [44]'te kaza önleme gibi kritik uygulamalar için LOS durumun ortadan kaybolduğu kesişen yollarla alakalı bir çalışma yapılmıştır. Yarıkent ortamındaki kesişen yollarda yapılan ölçümlere dayalı sönümlenme,



gecikme ve açısal dağılımlar karakterize edilmiş ve küçük ölçekli sönümlenme için Nakagami-m dağılımının uygun olduğu belirtilmiştir.

1.4.1.1.3. Anayol Ortamı

Anayol ortamı; genellikle trafiğin hızlı aktığı, çok şeritli, etrafında bina ve ağaç gibi yapıların az ya da neredeyse hiç olmadığı ortamlardır. Anayol ortamları da çalışmalarda farklılık göstermektedir. Yine de her bir çalışmanın anayol diye tanımladığı çalışmalar bu grupta ele alınmıştır.

[19] ve [20]'de Rayleigh dağılımından daha şiddetli sönümlenmenin olduğu durumlar ölçümlerden elde edilen verilerde gösterilmiş ve bunun için model önerilmiştir. [45]'te anayolda araçlar zıt yönde sürülmüş ve n değeri 1.8 bulunmuştur. [22]'de Doppler ve güç gecikme profili değerleri anayol ortamı için de verilmiştir. [46]'da Doppler yayılımı ve uyumluluk zamanı ele alınmış, araçların hızı ve birbirlerinden ayrılması üzerine ilişkisi üzerine durulmuştur. [47]'de farklı anayol ortamlarında ölçümler yapılmış; elde edilen veriler istatistiksel olarak Weibull ve Nakagami-m dağılımlarıyla modellenmiş ve bu dağılımlara ait parametre değerleri paylaşılmıştır. [14]'te ölçüm sonuçları çift-eğimli yol kaybı modeline uydurulmuş; $n_1 = 1.9$, $\sigma_1 = 2.5$ dB ve $n_2 = 4$, $\sigma_2 = 0.9$ dB olarak hesaplanmıştır. [23]'te gecikme ve Doppler yayılımı incelenmiştir. [48]'de gecikme yayılımı ve uyumluluk bant genişliği ele alınmıştır. [29]'da güç gecikme ve Doppler sonuçları verilmiş ve n değeri 1.85, σ değeri 3.2 dB olarak hesaplanmıştır. [49]'da gecikme profili ve Doppler spektrumu verilmiş ve n değeri 1.8 olarak bulunmuştur. [50]'de verici ve alıcı araç arasına girerek haberleşmeyi engelleyen bir aracın, haberleşme mesafesini % 40 oranında düşürdüğü ve engel araç yavaşladıkça bu etkinin arttığı gözlemlenmiştir. [30]'da araçların birbirini takip etmesi, birbirine yaklaşması ve uzaklaşması durumlarını hesaba katan bir model önerilmiş ve yarıkent ortamı için n değeri 1.59 ve σ değeri 2.1 dB bulunmuştur. [51]'de şeritlerin birleştiği yollarda yapılan ölçümlere göre; LOS ve saçıcılar olmadığında birleşmeye yakın yerlerde alınan gücün çok düştüğü; ayrıca çok yönlü (omni-directional) anten kullanılmadığında, LOS olsa bile paket kaybının arttığı vurgulanmıştır. [52]'de verici ve alıcı araç arasına engel olarak giren tırın yaklaşık 12-13 dB zayıflatmaya sebep olduğu ölçümlerle ortaya konulmuş ve ayrıca üç farklı anten konumu için de sonuçlar paylaşılmıştır. n değeri 1.6–1.9 arasında ve σ değeri ise 4–7.9 dB arasında değişmiştir. [33]'te; n değeri 1.66–2.53 arasında değişirken, σ değeri 3.68–5.94 dB arasında değişmiştir. [34]'te 5.9



GHz’de yapılan ölçümlerde, düşük/yüksek yoğunluklu trafik için n değeri, LOS/NLOS durumlar için ortalama 1.66–2.53 arasında değişirken, σ değeri 3.68–5.94 dB arasında değişmiştir. Benzer şekilde 700 MHz’de yapılan ölçümler için ise n değeri 1.64–2.98 arasında değişirken, σ değeri 4.46–3.63 dB arasında değişmiştir. [37]’de çift-eğimli yol kaybı modeli parametreleri LOS durum için $n_1=1.66$, $n_2=2.88$ ve $\sigma_1=3.95$ dB olarak hesaplanırken; OLOS durum için ise n_1 değeri olmayıp, $n_2=3.18$ ve $\sigma_2=6.12$ dB olarak bulunmuştur. [38]’de n değeri 2.78 olarak hesaplanmıştır.

1.4.1.1.4. Kırsal Ortamı

Kırsal ortam; şehirden uzak, genelde tek veya çift şeritli, yatay ve dikey eğrili yol yapısına sahip, trafik yoğunluğunun neredeyse hiç olmadığı, etrafta ağaç ve dağ gibi yapıların diğer ortamlara göre çok olduğu, araçların hızının düşük/orta olduğu ortamlardır.

Daha önce ele alınan [22], [23], [27], [43], [46], [48]’deki çalışmalarda; Doppler, gecikme yayılımları, uyumluluk zamanı ve anten konumları vb. konularla alakalı sonuçlar kırsal ortamlar için de verilmiştir. [14]’te çift-eğimli yol kaybı modeline dayalı sonuçlar verilmiş; $n_1=2.3$, $n_2=4$ ve $\sigma_1=3.2$ dB, $\sigma_2=0.4$ dB olarak bulunmuştur. [29]’da hem log-mesafe hem de iki-ışın yol kaybı modeli kullanılmış, n değeri 1.79 ve σ değeri 3.3 dB olarak hesaplanmıştır. İki-ışın modeli için sadece etkin yerden yansıma katsayısı (r) ve standart sapma değeri burada verilmiştir. $|r|=0.264$ ve $\sigma=2.7$ dB olarak hesaplanmıştır. [53], sadece kırsal ortamda gerçekleştirilmiş bir çalışma olup, geometri tabanlı stokastik bir model önerilmiştir. Ayrıca bu ortama ait n değeri 1.6 olarak elde edilmiştir. [30]’da diğer ortamlar log-mesafe yol kaybı ile modellenirken, kırsal ortam için iki-ışın yol kaybı modeli kullanılmıştır. Yerden yansıma katsayısı $|r|=0.44$ ve $\sigma=2.6$ dB olarak hesaplanmıştır. Bir tırın araya engel olarak alındığı çalışma olan [52]’de kırsal ortamda $n=1.65$ –1.89 arasında elde edilirken $\sigma=3.9$ –8.4 dB arasında bulunmuştur. [34]’te 5.9 GHz’de yapılan ölçümlerde; kırsal ortam için n değeri ortalama 1.61–1.81 arasında değişirken, σ değeri 4.63–5.49 dB arasında değişmiştir. 700 MHz’de yapılan ölçümler için ise n değeri, 2.04–2.34 arasında değişirken, σ değeri, 2.48–2.19 dB arasında değişmiştir. Son olarak, kırsal ortamda gerçekleştirilen [38]’de n değeri 3.22 ve σ değeri 2.88 dB olarak hesaplanmıştır.



1.4.1.1.5. Diğer Ortamlar

Önceki kısımlarda bilinen ve üzerine çok çalışma yapılan ortamların her biri ayrı bir başlık altında incelenmesine rağmen konuyu toparlamak için geriye kalan ve üzerinde az çalışmaların yapıldığı ortamlar bu kısımda bir grup olarak ele alınmıştır. Bu ortamlar; otoyol/otoban, tünel, üst geçit, orman ve otopark gibi ortamlardır.

[54]'te ışın-izleme simülasyonunda geliştirilen araçlar-arası haberleşme kanal modeli, farklı otoyol ortamında gerçekleştirilen ölçüm sonuçları ile kıyaslanmıştır. [55]'te tünel ortamında antenler bir ray üzerinde hareket ettirilerek, 2.8–5 GHz arasındaki frekanslarda ölçümler yapılmış; ölçümler önerilen bir modele uydurulmuş ve bu modelin parametreleri paylaşılmıştır. Ayrıca küçük ölçekli sönümlenme istatistiksel dağılımlarla modellenmiş ve en uygun Rician dağılımının olduğu vurgulanmıştır. [32]'de otoyolda ortalama n değeri 1.98 ve σ değeri 3.97 dB elde edilmiştir. [56]'da eğimli bir yolun matematiksel modeli çıkarılmış; araçlar-arası haberleşme için eğimli kırılma modeli önerilmiş ve bu model sonuçları yapılan ölçüm sonuçları ile kıyaslanmıştır. [57], [58]'de tek ve çift metal şeritli bir üst geçit senaryosunda araçlar-arası haberleşme kanalının modellenmesi gerçekleştirilmiş ve n değeri 1.93–2.7 arasında hesaplanmıştır. Bu çalışmada Rayleigh dağılımından daha şiddetli küçük-ölçekli sönümlenme gözlemlenmiştir. [39]'da ormanda yapılan ölçümlerde, $n=8$ ve $\sigma=3.57$ dB olarak hesaplanmıştır. [59]'da kapalı otoparkta iki farklı senaryo için ölçüm yapılmış, ortamda çok fazla engel olduğu için genelde verici ve alıcı arasında NLOS durum gözlemlenmiştir. Kapalı otopark için $n=1.83$ –1.92 ve $\sigma=4.96$ –6.07 dB arasında hesaplanmıştır.

1.4.1.2. RSSI Ölçüm Düzenegini Kullanan Çalışmalar

DSRC standartları yayınlanmaya başladıktan sonra birçok firma araçlar-arası haberleşme için OBU kitleri geliştirmeye başlamıştır. Bu kitleri kullanarak araçlar-arası haberleşme kanalını modellemek için birçok çalışma yapılmıştır. Bu kısımda; Cohda MKX, Denso, CVIS CALM M5, NEC LinkBird MX, Atheros AR5006X, UNEX DCMA86P2, WARP FPGA, KAPSCH OBU gibi marka ve modelleri belirtilen cihazlarla kurulan ölçüm düzenekleriyle; DSRC Radio, V2V platformu, V2V verici-alıcı, DSRC OBU gibi marka ve modeli belirtilmeyen cihazlarla kurulan ölçüm düzeneklerinden oluşan tüm çalışmalar, RSSI ölçüm düzenegi çalışmaları olarak ele alınmıştır. Ayrıca kent, yarıkent, anayol ve kırsal



olarak sınıflandırılan ortamlar daha önce tanıtıldığı için bundan sonraki kısımlarda sadece bu ortamlarda yapılan çalışmalara değinilmiştir.

1.4.1.2.1. Kent Ortamı

[60]'ta trafiksiz bir sokakta ölçüm yapılmış, $n=2.15$ olarak hesaplanmış ve verinin dinamik aralığının 5-6 dB olduğu belirtilmiştir. [61]'de kavşaklardaki haberleşme için bir NLOS yol kaybı modeli önerilmiş ve $n=2-2.75$ arasında, $\sigma=4.1$ dB olarak hesaplanmıştır. Ayrıca küçük-ölçekli sönümlenme için Nakagami-m dağılımı uygun bulunmuştur. [62]'de araçların yüksekliğinin; alınan gücü, paket teslim oranını ve etkin haberleşme mesafesini pozitif yönde etkilediği ortaya konulmuştur. [63]'te kent kavşağı için PDR'nin 0.9'dan yüksek kabul edildiği etkin güvenilir haberleşme mesafesi 85m ve 115 arasında bulunmuş ve cadde genişliğinin haberleşmeyi önemli derecede etkilediği vurgulanmıştır. [64]'te düzenlenmiş iki-ışın modelinin, birçok ortamda serbest uzay modelinden daha iyi uyum sağladığı ifade edilmiş ve araçlar-arası haberleşme LOS linkleri için düzenlenmiş iki-ışın modelinin kullanılması önerilmiştir. Ayrıca optimum bağıl geçirgenlik değeri (ϵ_r) 1.003 olarak elde edilmiş ve $\sigma=3.3-5.7$ dB arasında hesaplanmıştır. [65]'te $n=1.68$ olarak bulunmuştur. Ayrıca bu çalışmada n değerinin 2'den küçük olması serbest uzaydan daha iyi bir haberleşmenin olduğu anlamına gelmediği vurgulanmıştır. n değeri 2'den küçük bile olsa $PL(d_0)$ değerinin büyük olmasından dolayı toplam yol kaybının, LOS durumundaki yol kaybından daha büyük olduğu ifade edilmiştir. [66]'da $n=1.68$ ve $\sigma=3.2$ dB olarak bulunmuş ve yol kaybı parametrelerinin diğer çalışmalardaki benzer ortamlara göre farklı çıkmasının sebebini; yayılım ortamına, ölçüm tekniklerine ve anten ve araçların fiziksel özelliklerine bağlı olduğu vurgulanmıştır. [67]'de 2.3 ve 5.25 GHz'de kent ortamında zıt yönde ölçümler yapılmış ve 2.3 GHz için $n=1.95-2.18$ arasında ve $\sigma=4$ dB olarak bulunurken; 5.25 GHz için $n=2.02-2.13$ arasında ve $\sigma=3-4$ dB arasında bulunmuştur. [68]'de ölçüm verisi bulanık mantık kullanılarak hıza göre LOS/NLOS durumlara ayrılmıştır. Yol eğimi ve trafik yoğunluğunun haberleşme güvenilirliğini etkilediği vurgulanmıştır. LOS durumlar için $n=1.92-2.23$ arasında ve $\sigma=3.81-3.98$ dB arasında; NLOS durumlar için ise $n=2.97-3.91$ arasında ve $\sigma=3.18-4.18$ dB arasında elde edilmiştir. [69]'da LOS/NLOS süreleri, PDR, PIR ve PIL ile alakalı istatistiksel sonuçlar verilmiştir. LOS/NLOS süreleri güç yasası dağılımını; PIR, LOS'ta üssel dağılımı, NLOS'ta güç yasasını; PIL, LOS'ta güç yasasını, NLOS'ta üssel dağılımı takip ettiği ortaya konulmuştur. [70]'te $n=1.92$ olarak bulunmuş, LOS ölçümler için



log-mesafenin iki-ışın yol kaybı modelinden daha iyi uyum sağladığı belirtilmiş ve 10–25 dB arasında gölgeleme salınımı olduğu ifade edilmiştir. [71]’de kent kavşağındaki NLOS durumlar için bir model önerilmiş ve bu modele göre ölçüm parametreleri paylaşılmıştır. LOS ve NLOS durumlar için uygun modellerin kullanılması gerektiği vurgulanmıştır. [72]’de kent kavşaklarında dik ve düz yolların önemli ölçüde farklı zayıflama seviyeleri gösterdiği, aradaki aracın verici veya alıcıya daha yakın olduğu durumlarda daha fazla kayıp olduğu, aradaki araç sayısının aynı olduğu durumlarda verici alıcı arasındaki mesafenin artması durumunda LOS’a kıyasla alınan sinyal gücünde daha az fark olduğu gibi sonuçlara varılmıştır. [73]’te araba ve otobüsün arada engel olma durumu modellenmiş, küçük araç maksimum 7 dB olmak üzere ortalama 3 dB ilave kayba sebep olurken, büyük araç ise yaklaşık 10 dB ilave kayba sebep olmuştur. Arada engel araçlar için ilave zayıflama ve ilave sönümleme içeren yeni bir model önerilmiştir. [74]’te çok yoğun trafikte aralarında maksimum 20 m bulunan iki araç ile ölçüm gerçekleştirilmiş ve küçük ölçekli sönümleme için Rician dağılımının en iyi uyum sağladığı belirtilmiştir. [75]’te rampa senaryolarında ölçümler yapılmış; LOS durumlar için Rician, NLOS durumlar için Rayleigh dağılımının en iyi uyum sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca Weibull ve Nakagami-m dağılımlarının da ses yalıtımlı duvarların olduğu rampa senaryolarında iyi uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, $n=4.8-6.13$ ve $\sigma=2.73-3.61$ dB arasında değişmiştir. [76]’da ölçümler sollamanın olduğu ve olmadığı durumlar diye ikiye ayrılmış; sollama durumları için Weibull dağılımının, sollamanın olmadığı durumlar için ise Rician dağılımının daha iyi uyum sağladığı sonucuna varılmıştır.

1.4.1.2.2. Yarıkent Ortamı

[77]’de güvenlik uygulamaları için araçlar-arası haberleşmenin güvenilirliği test edilmiş ve onaylanmıştır. [59], [61], [64], [69], [75] çalışmalarında daha önce verilen sonuçlar yarıkent ortamı için de verilmiştir. [65] ve [66]’da $n=1.53$ ve $\sigma=3.5$ dB olarak hesaplanmıştır. [78]’de 100 m mesafede; aynı yön, zıt yön, aynı şerit, farklı şerit gibi senaryolarda ölçümler yapılmıştır. $PL(d_0)$ ve n yerine iki Gauss değişkeni içeren ve etraftaki saçıcıların miktarına bağlı yol kaybının etkisini hesaba katabilen yeni bir model önerilmiştir. [79]’de araç-arac, araç-yürüme ve yürüme-yürüme olmak üzere üç değişik senaryoda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Burada sadece araçlar-arası yapılan haberleşme sonuçları ele alınmıştır. Log-mesafe yol kaybı modeline göre $n=2.8-4.6$ arasında ve $\sigma=2.54-4.79$



arasında; çift-eğimli yol kaybı modeline göre $n_1=2.04-2.15$, $n_2=3.74-6.24$ arasında ve $\sigma_1=1.68-2.26$ dB, $\sigma_2=2.32-4.32$ dB arasında değişmiştir. [13]'te SÜ-SA ve RSSI ölçüm düzeneğinin de kıyaslandığı çalışmada RSSI ölçümüyle elde edilen verilerin n değeri 1.57'dir.

1.4.1.2.3. Anayol Ortamı

[46]'da Doppler yayılımı ve uyumluluk zamanı sonuçları verilmiştir. [80]'de verici ve alıcı arasına giren engel aracın 20 dB'ye yakın zayıflatmaya sebep olduğu ve bu zayıflatmanın engel aracın göndericiye yaklaştıkça daha belirginleştiği vurgulanmıştır. [81]'de çift-eğimli yol kaybı modeli ve iki-ışın yol kaybı modeli kullanılmasına rağmen sadece çift-eğimli yol kaybı modeline ait parametreler $n_1=2.1$ ve $n_2=3.4$ olarak hesaplanmış ve küçük-ölçekli sönmüleme için Nakagami-m dağılımı kullanılmıştır. [65] ve [66]'da $n=1.77$ ve $\sigma=2.8$ dB olarak verilmiştir. [82]'de diğer çalışmalardan farklı olarak birden çok verici ve alıcının olduğu durumlar da söz konusu olduğu için oluşacak girişimin önlenmesine yönelik çözüm yaklaşımı sunulmuş ve alınan güç; yol kaybı, gölgeleme ve çok yollu sönmüleme ayrı ayrı modellenmiştir. [83]'te dört araçla çok linkli bir haberleşme ölçüm düzeneği kurulmuş, LOS için iki-ışın ve OLOS için tek-eğimli (log-mesafe) yol kaybı modelinin daha iyi uyum sağladığı ortaya konulmuştur. Araçlar ve antenlerin konumları değiştirilerek yapılan ölçümlerde $n=0.54-4.18$ ve $\sigma=1.73-6.18$ dB arasında hesaplanmıştır. [61], [62], [64], [69], [76], [77]'de daha önce verilen sonuçlar anayol ortamı için de verilmiştir.

1.4.1.2.4. Kırsal Ortamı

[84]'te 992 MHz ve 2466 MHz'de çoğunluğu ağaçlık bir bölgede cihazdan cihaza yapılan ölçüm sonuçları verilmiştir. 922 MHz'de yapılan ölçümlerde, $n=2.97-5.29$ arasında, $\sigma=4.32-5.39$ dB arasında değişmiştir. 2466 MHz'de yapılan ölçümlerde ise $n=2.64-6.59$ arasında, $\sigma=5.11-7.14$ dB arasında değişmiştir. Aynı zamanda gölgeleme korelasyon analizi de paylaşılmıştır. Bu çalışma araçlar-arası haberleşme olmasa da paylaşılan yol kaybı üssü değerlerinin ve gölgeleme standart sapmalarının kıyaslanması açısından örnek olarak alınmıştır. [46] ve [62] çalışmalarının katkıları daha önce verilmiş olup aynı sonuçlar kırsal ortamlar için de paylaşılmıştır.



1.4.1.2.5. Diğer Ortamlar

RSSI düzeneği kullanılarak yapılmış ölçüm çalışmalarından, yukarıdaki ortamların haricinde kalan; otoyol, açık yol, park alanı, ağaçlık alan gibi ortamların sonuçları bu kısımda ele alınmıştır. [85]'te otoyolda yapılan ölçüm sonuçlarına göre, DSRC kanalının sönümlenmesi istatistiksel olarak analiz edilmiş; 100 m'ye kadar Rician dağılımının, 100 m'den sonra Rayleigh dağılımının daha uygun olduğu vurgulanmıştır. [86]'da açık alanda yapılan araçlar-arası ölçüm çalışmalarından elde edilen RSSI değerlerindeki tepe ve dip noktaların oluşma mesafesini hesaplayabilen, anten yüksekliklerine bağlı bir formül geliştirilmiştir. [80]'de engel araç çalışması için verilen sonuçlar park alanında da gerçekleştirilmiştir. [87]'de verici ve alıcı arasına giren engel araçların etkisini araştırmak için park alanında ölçümler yapılmış ve araya giren engel araçların sebep olduğu zayıflatmayı hesaplayan bir model önerilmiştir. [88]'de otoyol ortamından yapılan ölçüm sonuçları kullanılarak, iki-ışın yol kaybı modelinin araçlar-arası haberleşme için uygulanabilirliği gösterilmiştir. [89]'da otoyolda yapılan ölçümlere göre araya engel olarak giren araba, van ve tırın alınan güç dağılımına ve ortalama güce etkisi ortaya konulmuştur. Tır, 80 m'de 10 dB, 120 m'de 5 dB zayıflatmaya sebep olduğu belirtilmiştir. [90]'da etrafi ağaçlarla çevrili bir yolda ölçüm yapılarak ağaçların etkisi analiz edilmiş ve bir model geliştirilmiştir. Sonuçlara göre kısa mesafelerde yerden ve ağaçlardan yansımaların baskın olduğu elde edilmiştir. [91] ve [92]'de vericiden 0,1 m ve 50 m uzağa okul otobüsü sabitlenerek, alıcı araç hareket etmek suretiyle, etrafta binalar varken ve yokken ölçümler gerçekleştirilmiştir. Önerilen modele göre bu dört durum için sonuçlar verilmiş ve otobüsün 15 – 20 dB zayıflatmaya sebep olduğu belirtilmiştir. Küçük-ölçekli sönümlenme için en uygun dağılım Weibull dağılımı olmasına rağmen teorik araştırmalarda daha kolay uygulanmasından dolayı Nakagami dağılımı seçilmiştir.

Araçlar-arası haberleşme ölçümlerinden elde edilen verilerin modellenmesinde bazı çalışmalarda Fresnel bölgesi hesabı kullanılmıştır. Buna göre, verici ve alıcı arasındaki haberleşmenin % 60'ından fazlası engelleniyorsa bu haberleşme LOS değil NLOS olarak değerlendirilir. [93]'te teorik olarak hesaplanan Fresnel bölgesi mesafesinden sonra da haberleşmenin yer tarafından %60'nın engellenmediği yapılan ölçüm çalışmalarıyla elde edilmiştir.



1.4.2. Teorik Çalışmalar

Deneysel çalışmaların yanı sıra araçlar-arası haberleşme kanalının teorik olarak modellenmesi için de çalışmalar yapılmıştır. [94]'te daha önce elde edilen otoyol ölçüm verilerinden simülasyon ile LOS olasılığı üzerine bir çalışma yapılmıştır. [95]'te dört yolun bağlandığı yarıkent ve kent kavşak ortamları için geometri-tabanlı stokastik model önerilmiştir. [96]'da bilinen dağılımları kapsayan ve onlardan daha iyi uyum sağlayan, hata olasılığı ve kanal kapasitesini de analiz edebilen, adına Cox-Fox denen bir model önerilmiştir. [97]'de trafikte araçlar-arası haberleşmeyi engelleyen araçların analizi yapılmış ve bunun için teorik bir model önerilmiştir. [11]'de geometri tabanlı araçlar-arası haberleşme modeli önerilmiştir. Modelde linkler; LOS, NLOS_v (engel aracın sebep olduğu NLOS) ve NLOS_b (binaların sebep olduğu NLOS) olmak üzere üçe ayrılmış, her biri ayrı ayrı modellenmiştir. Bu model MATLAB üzerinde gerçekleştirilmiştir. [98]'de ağaçlar, anten ve hava durumu gibi parametreleri de hesaba katan görüntü tabanlı bir araçlar-arası haberleşme kanalı modeli önerilmiştir. [99] ve [100]'de cihazların alıcı hassasiyetinden dolayı alınamayan verinin de hesaba katılabilmesi için bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem kullanılarak iki ölçüm tekrar ele alındığında, normalde n değeri 1.7 iken 2'ye ve 1.3 iken 2.2'ye yükseldiği ifade edilmiştir. [101]'de ışın-izleme tekniği kullanılarak kentteki ızgara araçlar-arası haberleşme için model önerilmiştir. [102]'de aradaki mesafeye göre LOS olasılığını hesaplayan bir model önerilmiş ve Almanya'daki kırsal, tarihsel ve endüstriyel alanların LOS olasılıkları simülasyonla elde edilmiştir.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Araçlar-arası haberleşme kanalının modellenmesi üzerine literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda ölçüm ortamları gruplandırılmasına rağmen aynı ortamlarda farklı yol kaybı üssü değerleri elde edilmiştir. Bunun başlıca nedeni, aynı isimle sınıflandırılan ortamların farklı çalışmalardakilerle aynı özelliklere sahip olmamasıdır. Başka bir ifadeyle ölçüm düzenekleri, sürüş rotaları, ortamdaki araç, bina, ağaç gibi nesnelerin yoğunlukları, yol yapıları, sürüş karakteristikleri gibi birçok parametrenin farklılık göstermesidir. Bu nedenle de araçlar-arası haberleşme kanalını hakkında farklı ülkelerde benzer ölçümlerin gerçekleştirilmesi gerekir. Bu amaç doğrultusunda yapılan bu tez çalışmasında, farklı ortamlarda araçlar-arası haberleşme kanalını ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler Gümüşhane–Bayburt, Gümüşhane–Erzincan, Trabzon–Giresun arasındaki şehirler arası yollarda ve Gümüşhane ve Trabzon illeri içerisindeki şehir içi yollarda yapılmıştır. Daha sonra her bir senaryoya ait ölçüm verilerine özgü n , d_0 ve PL_{d0} parametreleri elde edilmiştir. Ölçüm verileri yol kaybı, gölgeleme ve çokyolluluk olmak üzere üç ana bileşene ayrılıp her biri ayrı ayrı modellenmiştir. Bu üç bileşenin modelleri birleştirilerek en uygun model elde edilmiştir. Tüm ölçüm senaryoları için en uygun model sonuçları paylaşılmıştır. Özellikle iki-ışın modelinin karakteristiğine sahip olan ölçüm verileri ve en uygun modeller arasında oluşan sapmaları giderecek yeni bir model önerilmiştir. Tüm ölçüm verileri log-mesafe, iki-ışın ve önerilen modelle tekrar modellenmiş ve sonuçlar paylaşılmıştır.

Bundan sonraki alt başlıklarda, bölüm 2.1’de ölçüm çalışmaları (ölçüm düzeneği, ölçüm ortamları, ölçüm senaryoları, ölçüm çıktıları ve ham ölçüm sonuçları); bölüm 2.2’de modelleme (yol kaybı modelleme, çokyolluluk modelleme, gölgeleme modelleme ve en uygun model); bölüm 2.3’te ölçümlerin modelleme sonuçları (anayol, kent, yarıkent, bina, kırsal, dağ ve ağaç senaryoları); bölüm 2.4’te ölçümlerin sayısal sonuçları (log mesafe yol kaybı modeline uydurularak elde edilen parametrelerin değerleri); bölüm 2.5’te modellemenin sayısal sonuçları (her bir senaryoya ait en uygun model sonuçları); bölüm 2.6’da önerilen model ve bölüm 2.7’de ortamlara göre önerilen ortalama yol kaybı modelleri verilmiştir.



2.1. Ölçüm Çalışmaları

2.1.1. Ölçüm Düzenegi

Araçlar-arası haberleşme kanalı ölçümlerini gerçekleştirmek için kurulan ölçüm düzenegi Şekil 8'deki verilmiştir.



Şekil 8. Ölçüm düzenegi

Ölçüm düzeneginde biri verici ve biri alıcı olmak üzere iki adet binek araç kullanılmıştır. Araçlardan biri 2004 Model Volkswagen Bora ve diğeri 2013 Model Ford Focus'tur. Her iki araçtaki ölçüm düzenegi aynıdır. Bu düzenek içerisinde; bir adet dizüstü bilgisayar, bir adet Cohda Wireless MK5 OBU kiti(bundan sonra sadece DSRC OBU diye adlandırılacak), bir adet 12 V/220 V evirici, bir adet araç içi kamera ve bir adette çakmak çoklayıcı bulunmaktadır.

Dizüstü bilgisayarlar, DSRC OBU cihazına Ethernet portundan bağlanmıştır. Bilgisayarlar kurulan program aracılığıyla veri paketlerini gönderme/alma işlemini başlatıp/durdurmak amacıyla kullanılmıştır. Ayrıca gönderilecek veri paketlerinin boyutu, hızı, modülasyon tipi ve kullanılacak antenler gibi ayarlamalar da dizüstü bilgisayarlar aracılığıyla DSRC OBU'ya gönderilen komutlarla gerçekleştirilir. DSRC OBU kiti içerisinde MK5 OBU ve ona bağlı bir anten bulunmaktadır. Bu anten iki adet DSRC anteni ve bir adet GPS anteni içermektedir. Antenin tabanı mıknatıslı olduğu için araçların üst kısmına herhangi bir aparata ihtiyaç olmadan yerleştirilmiştir.





Şekil 9. Araç üzerine yerleştirilen anten ve Cohda Wireless MK5 OBU (DSRC OBU)

Cihazların beslemesi için araç içerisinde sadece bir adet bulunan 12 V çakmak çıkışı çakmak çoklayıcı sayesinde çoğaltılmıştır. DSRC OBU, araç içi kamera ve evirici doğrudan bu çoklayıcıya bağlanmıştır. Dizüstü bilgisayar ise Şekil 8’de turuncu dikdörtgen kutu şeklinde görünen 12V/220V eviriciye bağlanarak beslenmiştir. Araç içi kamera ölçümler esnasında ölçüm ortamını kayıt altına almak için kullanılmıştır. Tüm düzenek her iki araç içerisinde aynı şekilde kurulmuş ve Şekil 10’da gösterilmiştir.



Şekil 10. Verici ve alıcı aracın iç görüntüsü

Tablo 2. DSRC OBU cihazının teknik özellikleri

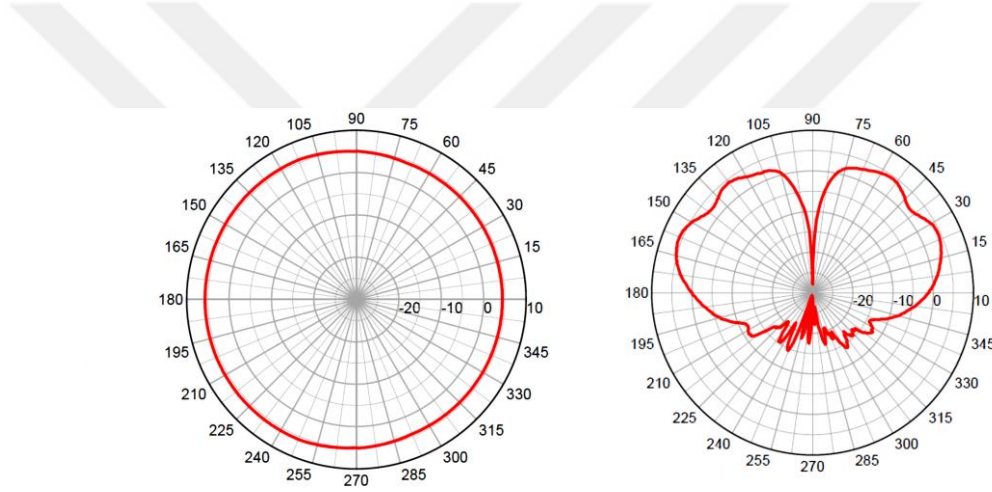
Parametre	Değeri
Standart	IEEE 802.11p
Frekans bandı	5.9 GHz



Tablo 2'nin devamı

Veri hızı	3–27 Mbps
Verici gücü	22 dBm
Anten kazancı	5 dBi
Anten yükseklikleri	Araçlar–1.48 m (Tx) ve 1.44 m (Rx) + 0.1 m anten yükseklikleri
Alıcı hassasiyeti	3 Mbps'de - 99 dBm

Cohda Wireless firmasının MK5 OBU cihazının teknik özellikleri ve anten yükseklikleri Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca çok yönlü DSRC antenin yatay düzlemdeki ışınma diyagramı da Şekil 11'de verilmiştir.

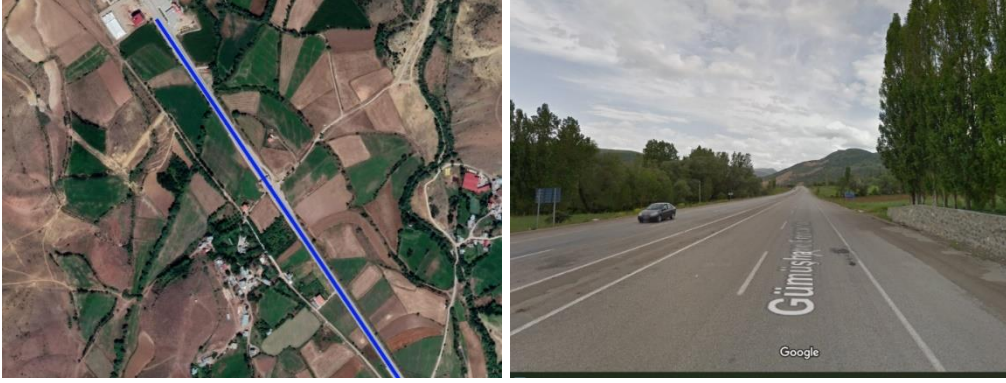


Şekil 11. Anten ışınma diyagramları (yatay ve düşey düzlem)

2.1.2. Ölçüm Ortamları

Ölçüm çalışmaları; anayol, kent, yarıkent, bina, kırsal, dağ ve ağaç olmak üzere yedi farklı ortamda gerçekleştirilmiştir. Bu ortamlar; şerit sayısı, trafik yoğunluğu, yolun yapısı, etrafındaki bina, ağaç, trafik işaretleri, üst geçit gibi nesnelerin yoğunluğu açısından birbirinden farklılık göstermektedir. Bazı ortamların uydu ve sokak görüntüleri ile koordinat bilgileri aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Mavi çizgi ölçüm güzergahını göstermektedir.

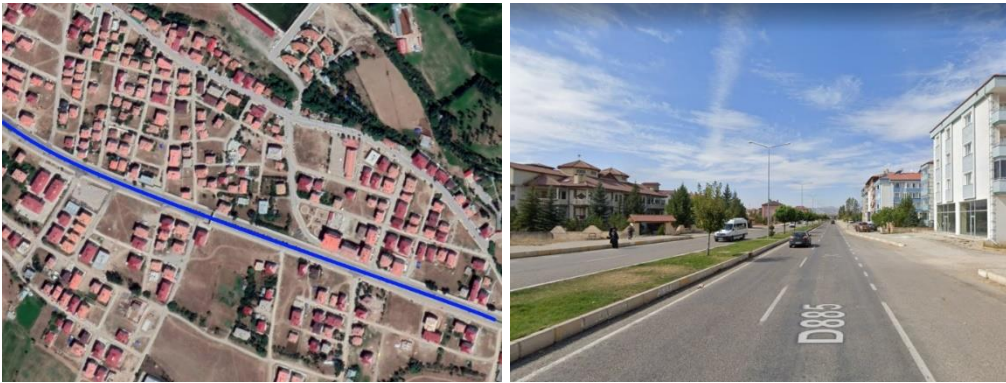




Şekil 12. Gümüşhane-Erzincan Anayolu (40.104328, 39.459137)

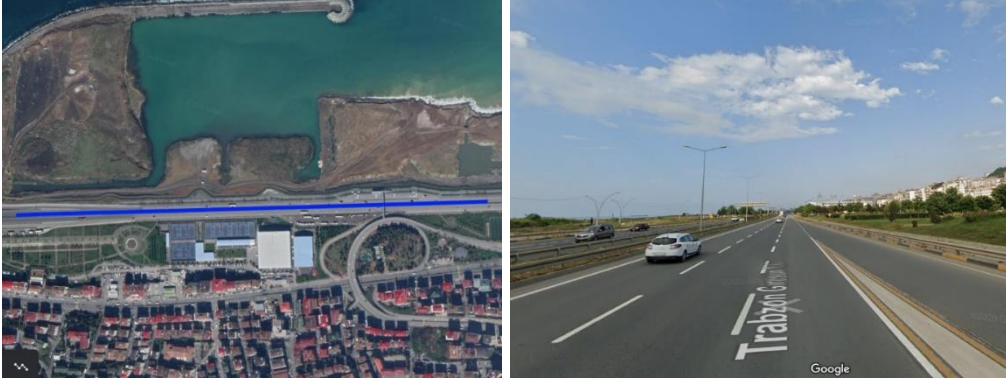


Şekil 13. Gümüşhane-Bayburt Anayolu (40.135366, 39.490248)

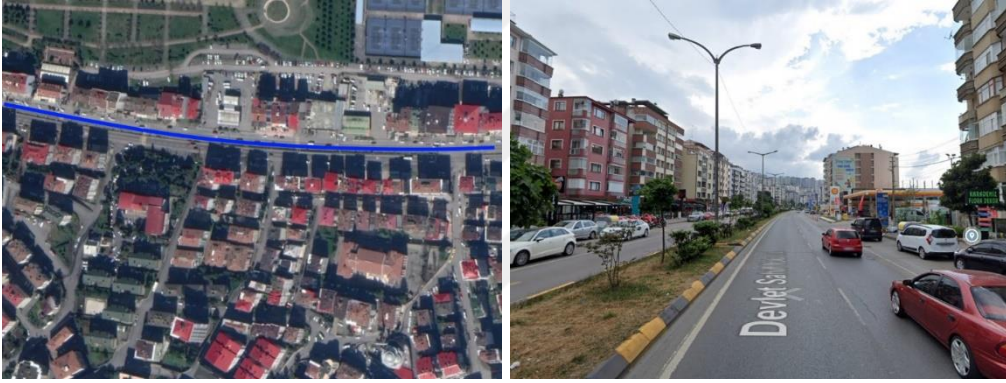


Şekil 14. Kelkit-Gümüşhane Anayolu (40.115951, 39.447719)

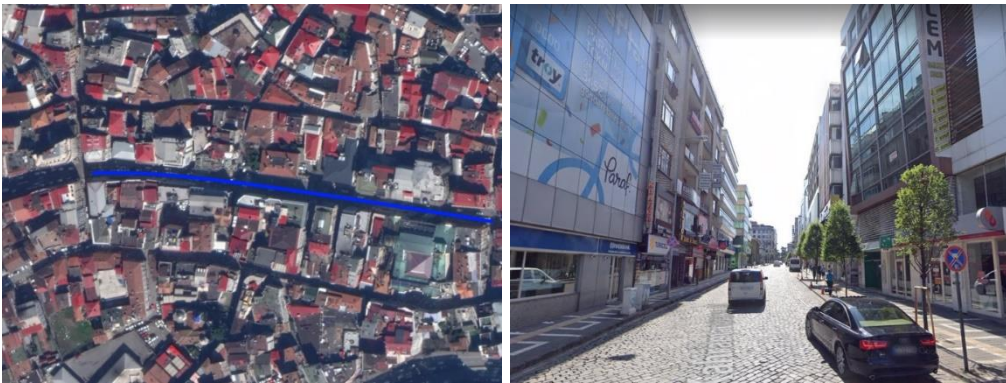




Şekil 15. Trabzon-Giresun Anayolu (40.996062, 39.666877)



Şekil 16. Trabzon-Beşirli Yarıkent (40.995410, 39.670965)

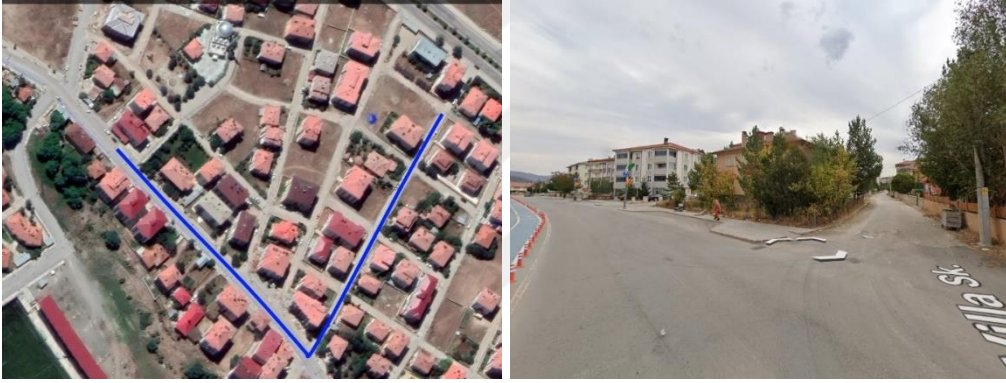


Şekil 17. Trabzon-Kent (Kahramanmaraş Caddesi-41.006241, 39.725968)





Şekil 18. Kelkit-Kent (40.127820, 39.435277)



Şekil 19. Kelkit-Yarıkent (40.121141, 39.442601)



Şekil 20. Kelkit-Kırsal (40.214127, 39.662922)



2.1.3. Ölçüm Senaryoları

Araçlar-arası haberleşme kanalı ölçüm çalışmaları gerçek trafik ortamında gerçekleştirilmiştir. Ölçümler anayol, kent, yarıkent, bina, kırsal, dağ ve ağaç ortamları olmak üzere yedi grup altında toplanmıştır. Bu gruplar altında farklı senaryolarda ölçümler yapılmıştır. Tablo 3’te ölçüm ortamları ve bu ortamlarda gerçekleştirilen ölçüm sayıları verilmiştir.

Tablo 3. Ölçüm ortam ve senaryoları

Ortam	Ölçüm sayısı
Anayol	63
Kent	4
Yarıkent	4
Bina	9
Kırsal	9
Dağ	17
Ağaç	7
Toplam	113

Tablo 3’te gerçekleştirilen 113 ölçümden toplamda 7.223.459 paket veri toplanmıştır. Ölçümlerin çoğunluğunun anayol ortamında gerçekleştirilmesinin sebebi farklı senaryoları denenebilmesi açısından esnek olmasıdır. Ölçüm senaryoları gerçekleştirilirken yön, hız, anten, hava gibi bir parametrenin etkisini gözlemlemek için yapılan ölçümlerde genelde verici araç sabit, alıcı araç ise hareketli olarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Diğer durumlarda her iki araçta hareketli olacak şekilde ölçümler yapılmıştır. Aynı yön ve zıt yön senaryolarındaki ölçümler, araçların birbirleriyle haberleşirken yönün etkisini gözlemlemek; hız senaryoları ise hızın etkisini gözlemlemek için yapılmıştır. Anten senaryolarında, cihazda bulunan iki adet DSRC anteninden biri devre dışı bırakılıp, sadece diğerinden veri gönderilerek ölçümler yapılmıştır. Hava durumunun güneşli ve açık olduğu bir günde alınan ölçüm senaryolarından birkaçının aynısı karlı havada gerçekleştirilmiştir. Dağlık bir alanda verici ve alıcı araç arasına dağın girmesiyle oluşan etkiyi gözlemlemek için dağ senaryoları gerçekleştirilmiştir. Serbest senaryolarda, gerçek trafik senaryolarında olduğu gibi her iki araç hareketli ve serbest sürüş halinde iken farklı anayol ortamında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Eğri yol senaryolarında; yol zeminin düz olmadığı, dikey eğimlerin (çukur ve tümseklerin) olduğu kırsal alandaki yollarda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ağaç



senaryolarında, genelde kırsal bir ortamda verici ve alıcı araç arasına ağacın girme durumunda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Kent ortamları farklı senaryoların denenmesi için pek uygun olmadığı için bu ortamlarda sadece serbest dediğimiz senaryolar gerçekleştirilmiştir. Yine de farklılıkları gözlemlemek için verici ve alıcı araç arasındaki mesafe değiştirilerek; araçlar art arda giderken, aralarına bir veya birkaç araç girdiğinde ve aralarına daha fazla aracın girmesine izin verecek mesafelerde ölçümler kent ortamında gerçekleştirilmiştir. Yarıkent ortamında sabit ve serbest ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca verici ve alıcı arasına giren binaların etkisini gözlemlemek için gerçekleştirilen ölçümler de yarıkent ortamında gerçekleştirilmiştir. Ancak bu senaryolar yarıkent senaryolarından tamamen farklı olduğu için bina senaryoları olarak ayrı gruplandırılmıştır. Bu ölçümlerde verici bir yolda ilerlerken alıcı da o yolla “V” veya “L” şeklinde kesişen ve aralarında binaların olduğu başka bir yolda ilerlemiştir. Böylece yolların birleştiği başlangıç noktası hariç, yol boyunca verici ve alıcı araç birbirini binalardan dolayı görmemiştir. Yani verici ve alıcı arasındaki haberleşmenin binalardan dolayı engellendiği bina ortamı ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Kent ve yarıkent ölçümleri; Gümüşhane/Kelkit ve Trabzon/Merkez’de, anayol ölçümleri; Kelkit–Erzincan, Kelkit–Bayburt ve Trabzon–Giresun anayollarında, bina ölçümleri; Kelkit yarıkent ortamında, kırsal ölçümleri; Kelkit–Köse yolunda, dağ ölçümleri; Kelkit-Erzincan anayolunda ve ağaç ölçümleri; Kelkit’te kırsal bir ortamda ve Karadeniz Teknik Üniversitesi kampüsünde gerçekleştirilmiştir. Ölçümler kasım, aralık, ocak ve temmuz aylarında yapılmıştır. Ölçümlerin gerçekleştirildiği tarihlerdeki hava durumu Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Hava durumu

Tarih	Hava Sıcaklığı	Hava durumu	Görüş
12 Kasım 2018	13 °C	Güneşli ve parçalı bulutlu	Açık
13 Kasım 2018	7–10 °C	Güneşli ve bulutlu	Açık
14 Kasım 2018	0–2 °C	Kar yağışlı, sisli	Az
3 Aralık 2018	3–5 °C	Güneşli ve parçalı bulutlu	Açık
7 Ocak 2019	– 2 °C	Parçalı bulutlu	Açık
16 Ocak 2019	0.5–5 °C	Kapalı	Açık
4 Temmuz 2019	27–32.5 °C	Parçalı bulutlu	Açık



2.1.4. Ölçüm Çıktıları

Ölçüm esnasında verici olarak ayarlanan DSRC OBU cihazında “cw14rx” ve “gpsrx” uzantılı dosyalar, alıcı olarak ayarlanan DSRC OBU cihazında ise “cw14tx” ve “gpstx” uzantılı dosyalar kaydedilmektedir. Bu dosyalardaki farklı parametrelere ait veriler birbirlerinden “,” ile ayrılmaktadır. Bu dosyaların örnek içeriği sonraki kısımda ele alınmıştır.

2.1.4.1. CW14TX Uzantılı Dosyalar

Gönderici cihazda kaydedilen dosyaların ismi “tarihsaat.cw14tx” şeklinde ayarlanmıştır. Bu dosyaların içerisinde kaydedilen veriler sırasıyla şu 10 parametreye aittir; paketlerin gönderim Unix zamanı (1970’ten itibaren bugüne dek geçen zamanın saniye cinsinden gösterimi), teste başlama Unix zamanı, gönderim sırası, derece cinsinden eylem, derece cinsinden boylam, rota açısı, m/s cinsinden hız, paket boyutu, kodlama oranı ve kullanılan anten. Şekil 21’de CW14TX uzantılı bir örnek ölçüm dosyasının içeriği verilmiştir ve her bir sütun sırasıyla yukarıda ismi geçen parametrelere aittir.

1	1543838251.171971,1543838250,	0,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,11,3
2	1543838251.175390,1543838250,	1,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,10,3
3	1543838251.177236,1543838250,	2,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100, 9,3
4	1543838251.179790,1543838250,	3,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,11,3
5	1543838251.182174,1543838250,	4,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,10,3
6	1543838251.184639,1543838250,	5,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100, 9,3
7	1543838251.187227,1543838250,	6,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,11,3
8	1543838251.189657,1543838250,	7,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,10,3
9	1543838251.192224,1543838250,	8,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100, 9,3
10	1543838251.194631,1543838250,	9,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,11,3
11	1543838251.197118,1543838250,	10,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,10,3
12	1543838251.199634,1543838250,	11,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100, 9,3
13	1543838251.202145,1543838250,	12,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,11,3
14	1543838251.204769,1543838250,	13,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,10,3
15	1543838251.207229,1543838250,	14,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100, 9,3
16	1543838251.209637,1543838250,	15,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,11,3
17	1543838251.212211,1543838250,	16,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,10,3
18	1543838251.214619,1543838250,	17,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100, 9,3
19	1543838251.217120,1543838250,	18,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,11,3
20	1543838251.219632,1543838250,	19,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,10,3
21	1543838251.222122,1543838250,	20,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100, 9,3
22	1543838251.224614,1543838250,	21,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,11,3
23	1543838251.227121,1543838250,	22,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,10,3
24	1543838251.229634,1543838250,	23,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100, 9,3
25	1543838251.232122,1543838250,	24,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,11,3
26	1543838251.234615,1543838250,	25,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,10,3
27	1543838251.237111,1543838250,	26,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100, 9,3
28	1543838251.239625,1543838250,	27,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,11,3
29	1543838251.242112,1543838250,	28,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,10,3
30	1543838251.244608,1543838250,	29,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100, 9,3
31	1543838251.247109,1543838250,	30,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,11,3
32	1543838251.249611,1543838250,	31,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,10,3
33	1543838251.252129,1543838250,	32,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100, 9,3
34	1543838251.254750,1543838250,	33,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,11,3
35	1543838251.257137,1543838250,	34,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,10,3
36	1543838251.259623,1543838250,	35,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100, 9,3
37	1543838251.262229,1543838250,	36,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,11,3
38	1543838251.264618,1543838250,	37,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,10,3
39	1543838251.267119,1543838250,	38,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100, 9,3
40	1543838251.269626,1543838250,	39,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,11,3
41	1543838251.272122,1543838250,	40,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,10,3
42	1543838251.274618,1543838250,	41,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100, 9,3
43	1543838251.277114,1543838250,	42,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,11,3
44	1543838251.279616,1543838250,	43,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	100,10,3

Şekil 21. CW14TX uzantılı örnek bir dosyanın içeriği



2.1.4.2. CW14RX Uzantılı Dosyalar

Alıcı cihazda ise CW14RX uzantılı dosyalar ‘‘tarihsaat.cw14rx’’ ismiyle kaydedilmektedir. Bu dosyaların içerisinde hem verici hem de alıcıya ait parametrelerin verileri bulunduğu için cw14tx dosyalarına göre daha uzundur. CW14RX dosyalarının içerisinde 19 parametreye ait veri vardır. Bunlar; paketlerin alım Unix zamanı, alıcı zaman senkronizasyon fonksiyonu (timing synchronization function) zamanı, derece cinsinden enlem, derece cinsinden boylam, rota açısı, m/s cinsinden hız, paket boyutu, verici test zamanı, verici paket sırası, verici enlemi, verici boylamı, verici rota açısı, verici hızı, A antenin RSSI değeri, A antenin gürültü değeri, B antenin RSSI değeri, B antenin gürültü değeri, kodlama oranı ve cihazın MAC adresi. Şekil 22, CW14RX uzantılı bir örnek ölçüm dosyasının içeriğini göstermektedir ve her bir sütun sırasıyla yukarıda ismi geçen parametrelere aittir.

1	1543838251.175082,1543838250.172841,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	0,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-42.0,-101.0,	-46.0,-101.0,11,04:e5:48:01
2	1543838251.189093,1543838250.175756,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	1,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-43.0,-104.0,	-46.0,-104.0,10,04:e5:48:01
3	1543838251.198493,1543838250.177650,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	2,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-42.0,-98.0,	-46.0,-104.0,9,04:e5:48:01
4	1543838251.193560,1543838250.180080,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	3,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-43.0,-122.0,	-46.0,-116.0,11,04:e5:48:01
5	1543838251.193626,1543838250.182366,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	4,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-43.0,-104.0,	-46.0,-101.0,10,04:e5:48:01
6	1543838251.195080,1543838250.184889,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	5,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-44.0,-101.0,	-47.0,-101.0,9,04:e5:48:01
7	1543838251.195308,1543838250.187514,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	6,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-42.0,-119.0,	-46.0,-122.0,11,04:e5:48:01
8	1543838251.196051,1543838250.190078,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	7,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-44.0,-101.0,	-47.0,-101.0,10,04:e5:48:01
9	1543838251.196051,1543838250.192635,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	8,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-43.0,-104.0,	-46.0,-101.0,9,04:e5:48:01
10	1543838251.205062,1543838250.194948,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	9,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-42.0,-119.0,	-46.0,-119.0,11,04:e5:48:01
11	1543838251.205306,1543838250.197519,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	10,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-43.0,-101.0,	-46.0,-101.0,10,04:e5:48:01
12	1543838251.205477,1543838250.199952,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	11,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-43.0,-101.0,	-46.0,-101.0,9,04:e5:48:01
13	1543838251.205973,1543838250.202447,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	12,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-43.0,-122.0,	-46.0,-122.0,11,04:e5:48:01
14	1543838251.215035,1543838250.205167,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	13,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-43.0,-104.0,	-47.0,-101.0,10,04:e5:48:01
15	1543838251.215523,1543838250.207620,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	14,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-44.0,-101.0,	-46.0,-101.0,9,04:e5:48:01
16	1543838251.215709,1543838250.209881,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	15,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-44.0,-122.0,	-46.0,-119.0,11,04:e5:48:01
17	1543838251.215888,1543838250.212510,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	16,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-43.0,-104.0,	-46.0,-101.0,10,04:e5:48:01
18	1543838251.225027,1543838250.214924,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	17,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-44.0,-101.0,	-47.0,-101.0,9,04:e5:48:01
19	1543838251.225242,1543838250.217419,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	18,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-43.0,-122.0,	-47.0,-122.0,11,04:e5:48:01
20	1543838251.225415,1543838250.219966,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	19,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-43.0,-101.0,	-46.0,-101.0,10,04:e5:48:01
21	1543838251.225826,1543838250.222475,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	20,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-44.0,-104.0,	-46.0,-101.0,9,04:e5:48:01
22	1543838251.224986,1543838250.224905,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	21,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-44.0,-122.0,	-47.0,-122.0,11,04:e5:48:01
23	1543838251.232512,1543838250.227404,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	22,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-44.0,-104.0,	-47.0,-98.0,10,04:e5:48:01
24	1543838251.235968,1543838250.230052,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	23,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-44.0,-104.0,	-47.0,-98.0,9,04:e5:48:01
25	1543838251.236189,1543838250.232352,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	24,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-44.0,-122.0,	-47.0,-122.0,11,04:e5:48:01
26	1543838251.245079,1543838250.234967,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	25,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-44.0,-101.0,	-47.0,-98.0,10,04:e5:48:01
27	1543838251.245593,1543838250.237407,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	26,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-45.0,-101.0,	-47.0,-119.0,11,04:e5:48:01
28	1543838251.245779,1543838250.239993,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	27,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-45.0,-122.0,	-47.0,-119.0,11,04:e5:48:01
29	1543838251.245962,1543838250.242453,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	28,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-44.0,-104.0,	-47.0,-98.0,10,04:e5:48:01
30	1543838251.255007,1543838250.244971,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	29,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-45.0,-101.0,	-47.0,-101.0,9,04:e5:48:01
31	1543838251.255225,1543838250.247389,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	30,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-45.0,-119.0,	-47.0,-119.0,11,04:e5:48:01
32	1543838251.255402,1543838250.249926,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	31,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-44.0,-101.0,	-47.0,-101.0,10,04:e5:48:01
33	1543838251.255582,1543838250.252418,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	32,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-44.0,-122.0,	-47.0,-101.0,9,04:e5:48:01
34	1543838251.265012,1543838250.255135,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	33,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-45.0,-104.0,	-48.0,-119.0,11,04:e5:48:01
35	1543838251.265475,1543838250.257399,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	34,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-45.0,-101.0,	-48.0,-101.0,10,04:e5:48:01
36	1543838251.265664,1543838250.259865,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	35,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-45.0,-104.0,	-48.0,-101.0,9,04:e5:48:01
37	1543838251.265846,1543838250.262607,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	36,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-45.0,-122.0,	-48.0,-119.0,11,04:e5:48:01
38	1543838251.274986,1543838250.264899,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	37,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-44.0,-104.0,	-48.0,-101.0,10,04:e5:48:01
39	1543838251.275414,1543838250.267507,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	38,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-45.0,-101.0,	-48.0,-101.0,9,04:e5:48:01
40	1543838251.275601,1543838250.269963,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	39,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-45.0,-122.0,	-47.0,-122.0,11,04:e5:48:01
41	1543838251.275778,1543838250.272410,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	40,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-44.0,-104.0,	-47.0,-98.0,10,04:e5:48:01
42	1543838251.284999,1543838250.274864,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	41,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-44.0,-101.0,	-48.0,-101.0,9,04:e5:48:01
43	1543838251.285196,1543838250.277436,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	42,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-44.0,-122.0,	-48.0,-122.0,11,04:e5:48:01
44	1543838251.285370,1543838250.279922,	40.105152,	39.458382,	147.4,	0.00,	56,1543838250,	43,	40.105247,	39.458310,	144.9,	0.00,	-44.0,-101.0,	-48.0,-101.0,10,04:e5:48:01

Şekil 22. CW14RX uzantılı örnek bir dosyanın içeriği

2.1.4.3. GPSTX ve GPRSX Uzantılı Dosyalar

Ölçüm esnasında GPS sinyalleri verici ve alıcı cihazda sırasıyla ‘‘tarihsaat.gpstx’’ ve ‘‘tarihsaat.gprsx’’ adlarıyla kaydedilmektedir. Bu dosyaların uzantıları farklı olsa da



kaydettikleri parametreler cinsinden aynıdır. GPSTX ve GPSRX uzantılı dosyalar içerisinde şu 6 parametreye ait veriler kaydedilir; yerel Unix zamanı, GPS Unix zamanı, derece cinsinden enlem, derece cinsinden boylam, GPS izi (GPS track) ve hız. Şekil 23'te GPSTX ve GPSRX uzantılı dosyalara örnek olması açısından GPSRX uzantılı bir dosyanın içeriği paylaşılmıştır. Bu dosyadaki virgülle ayrılmış 6 sütun yukarıda sırasıyla verilmiş 6 parametreye ait değerleri göstermektedir.

1	1562227433.519335,1562227433.400000,	41.003496,	39.694904,	239.10,	0.03
2	1562227433.719000,1562227433.600000,	41.003496,	39.694904,	239.10,	0.04
3	1562227433.920122,1562227433.800000,	41.003496,	39.694904,	239.10,	0.02
4	1562227434.169102,1562227433.000000,	41.003496,	39.694904,	239.10,	0.08
5	1562227434.324115,1562227434.200000,	41.003496,	39.694903,	236.47,	0.14
6	1562227434.523178,1562227434.400000,	41.003496,	39.694903,	229.95,	0.23
7	1562227434.711605,1562227434.600000,	41.003495,	39.694902,	227.11,	0.37
8	1562227434.923088,1562227434.800000,	41.003495,	39.694901,	228.53,	0.43
9	1562227435.162049,1562227434.000000,	41.003494,	39.694900,	226.75,	0.56
10	1562227435.325085,1562227435.200000,	41.003493,	39.694899,	224.34,	0.75
11	1562227435.520950,1562227435.400000,	41.003492,	39.694898,	220.43,	0.91
12	1562227435.722106,1562227435.600000,	41.003491,	39.694896,	219.95,	0.98
13	1562227435.920321,1562227435.800000,	41.003490,	39.694895,	215.46,	0.97
14	1562227436.143979,1562227435.000000,	41.003488,	39.694894,	213.56,	0.83
15	1562227436.323519,1562227436.200000,	41.003487,	39.694893,	212.97,	0.87
16	1562227436.519907,1562227436.400000,	41.003486,	39.694892,	211.16,	0.92
17	1562227436.720854,1562227436.600000,	41.003484,	39.694890,	208.36,	1.08
18	1562227436.923483,1562227436.800000,	41.003482,	39.694889,	209.71,	1.28
19	1562227437.154064,1562227436.000000,	41.003480,	39.694887,	208.53,	1.50
20	1562227437.320429,1562227437.200000,	41.003477,	39.694885,	208.24,	1.81
21	1562227437.511622,1562227437.400000,	41.003474,	39.694882,	209.72,	2.10
22	1562227437.725019,1562227437.600000,	41.003470,	39.694879,	210.03,	2.37
23	1562227437.922691,1562227437.800000,	41.003466,	39.694876,	211.28,	2.70
24	1562227438.161691,1562227437.000000,	41.003462,	39.694872,	212.98,	3.01
25	1562227438.325291,1562227438.200000,	41.003457,	39.694867,	215.58,	3.30
26	1562227438.521689,1562227438.400000,	41.003452,	39.694862,	218.16,	3.55
27	1562227438.727430,1562227438.600000,	41.003447,	39.694855,	221.20,	3.78
28	1562227438.912655,1562227438.800000,	41.003442,	39.694849,	223.36,	3.97
29	1562227439.156813,1562227438.000000,	41.003437,	39.694841,	225.99,	4.24
30	1562227439.338812,1562227439.200000,	41.003432,	39.694833,	229.04,	4.50
31	1562227439.531279,1562227439.400000,	41.003427,	39.694824,	231.24,	4.73
32	1562227439.721477,1562227439.600000,	41.003422,	39.694814,	232.92,	4.96
33	1562227439.925110,1562227439.800000,	41.003417,	39.694804,	234.56,	5.24
34	1562227440.164632,1562227439.000000,	41.003411,	39.694793,	235.73,	5.46
35	1562227440.314820,1562227440.200000,	41.003406,	39.694782,	236.87,	5.42
36	1562227440.524106,1562227440.400000,	41.003401,	39.694771,	237.92,	5.41
37	1562227440.720693,1562227440.600000,	41.003396,	39.694760,	238.66,	5.37
38	1562227440.919902,1562227440.800000,	41.003391,	39.694749,	239.11,	5.34
39	1562227441.153817,1562227440.000000,	41.003386,	39.694737,	239.42,	5.45
40	1562227441.321207,1562227441.200000,	41.003381,	39.694726,	239.44,	5.58
41	1562227441.521477,1562227441.400000,	41.003376,	39.694714,	239.48,	5.89
42	1562227441.713599,1562227441.600000,	41.003370,	39.694701,	239.46,	6.14
43	1562227441.921000,1562227441.800000,	41.003365,	39.694688,	239.23,	6.41
44	1562227442.163392,1562227441.000000,	41.003358,	39.694674,	239.15,	6.74

Şekil 23. GPSRX/GPSTX uzantılı örnek bir dosyanın içeriği

2.1.5. Ham Ölçüm Sonuçları

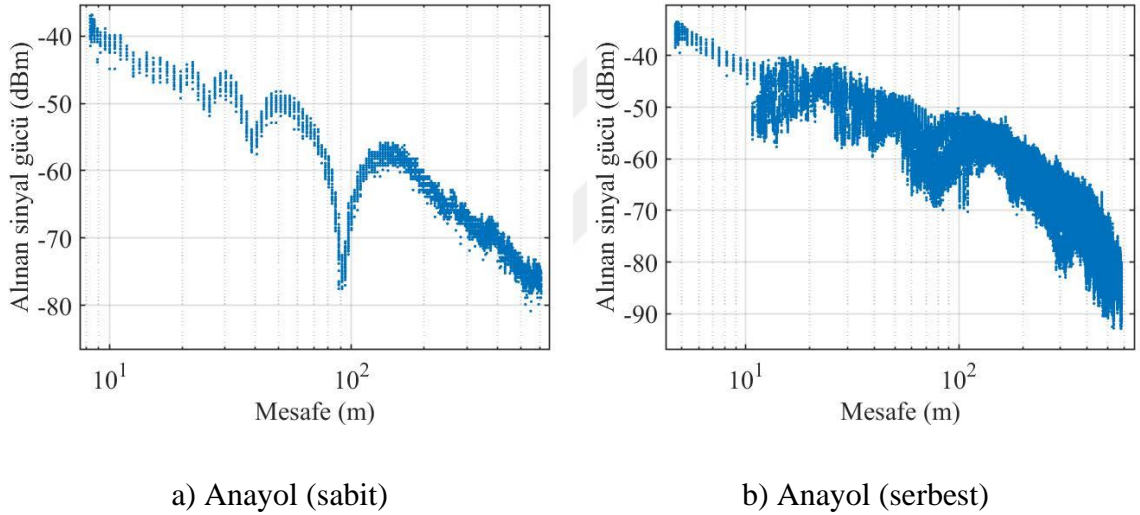
DSRC OBU cihazlarında bulunan harici hafıza kartlarında yukarıda bahsedilen uzantılardaki dosyalar ölçüm esnasında kayıt altına alınmıştır. Bu dosyalar daha sonra ofiste MATLAB ortamında analiz edilmiştir. Alınan dosyalardaki verici ve alıcının GPS bilgisinden aralarındaki mesafe hesaplanmıştır. Küresel koordinat sistemindeki enlem ve



boylam bilgileri bilinen iki noktanın arasındaki uzaklık Haversine formülü [103] kullanılarak yapılmıştır. Alınan dosyalarda her iki DSRC antenin RSSI değerleri kaydedilmiştir. Bu iki değerden tek RSSI değeri elde edip ölçüm sonuçlarında bu değer kullanılmıştır. Bu işlem şu şekilde yapılmıştır;

$$RSSI(dBm) = 10 \log \left(10^{\frac{RSSI_{anten1}}{10}} + 10^{\frac{RSSI_{anten2}}{10}} \right) \quad (2.1)$$

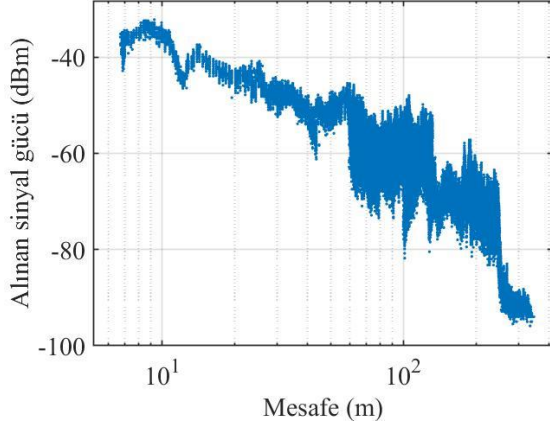
Burada $RSSI_{anten1}$ ve $RSSI_{anten2}$ sırasıyla birinci ve ikinci DSRC antenin dBm cinsinden RSSI değerlerini göstermektedir. x eksenini logaritmik olarak verici ve alıcı arasındaki mesafeyi ve y eksenini alınan güç değerini RSSI (dBm) olarak gösteren bazı ölçüm sonuçları Şekil 24'te verilmiştir.



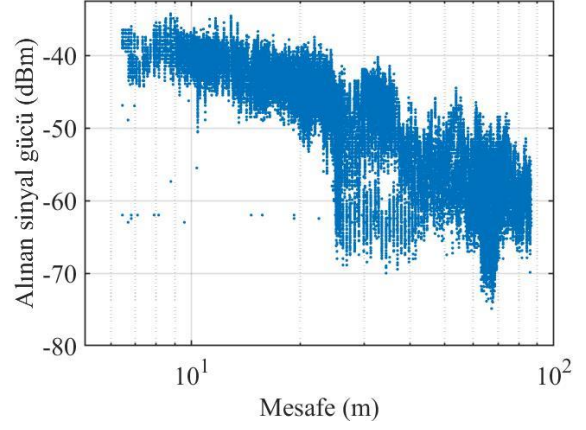
Şekil 24. Bazı ölçüm sonuçları



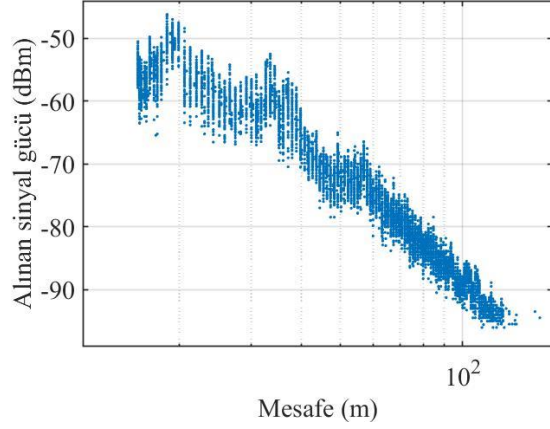
Şekil 24'ün devamı



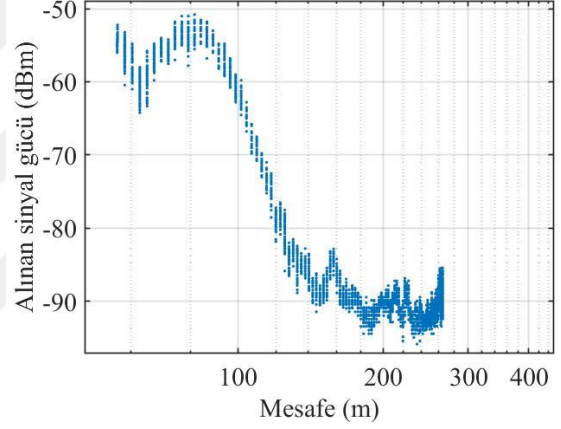
c) Kent (Kelkit)



d) Kent (Trabzon)



e) Bina



f) Kırsal

Ölçümlerin ham sonuçları modelleme sonuçlarıyla beraber verileceği için burada sadece örnek birkaç sonuç gösterilmiştir.

2.2. Modelleme

Ölçüm verileri bir bütün olarak ele alınıp, sadece mesafeye göre yol kaybı modellenerek, yol kaybı üssü parametresi elde edilebilir. Literatürde araçlar-arası haberleşmeyle alakalı yapılan ilk ölçüm çalışmalarında genellikle mesafeye göre yol kaybı modellemesi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra yapılan çalışmalarda ise büyük ve küçük ölçekli sönümlenmeler ile alakalı sonuçlar da verilmiştir. Bu tez çalışmasında ise araçlar-arası haberleşme kanalının modellenmesinde ölçüm verileri öncelikle; yol kaybı, gölgeleme ve çokyolluluk olarak üç ana bileşene ayrılmış ve her biri ayrı ayrı modellenmiştir.



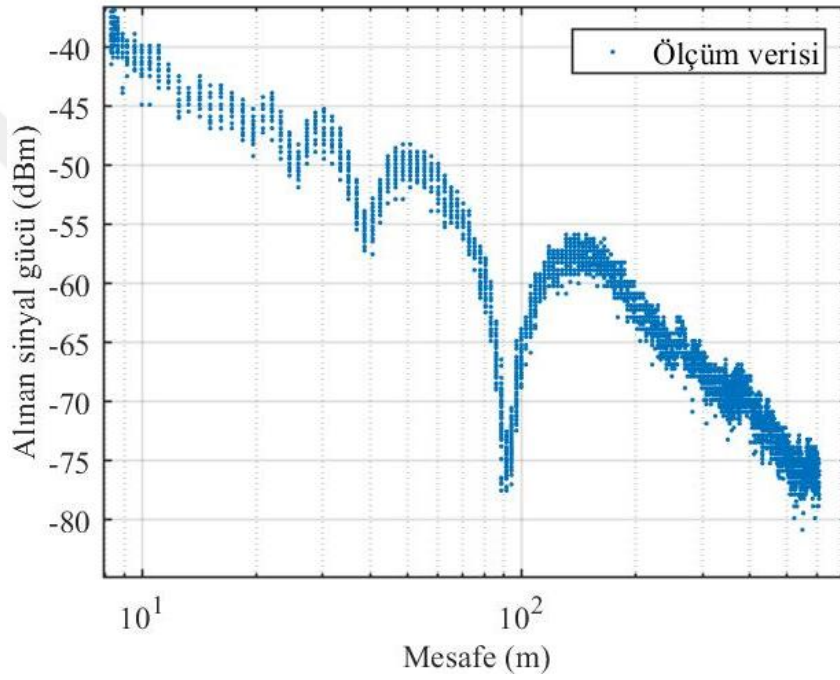
Bu işlem için öncelikle ölçüm verilerinin belirli bir mesafeye göre ortalaması alınarak çokyolluluk etkisi ortadan kaldırılmıştır. Elde edilen alınan sinyal gücünün ortalaması, Bölüm 1.3'te verilen log-mesafe ve iki-ışın yol kaybı modellerine uydurularak bu modellerin parametreleri elde edilmiştir. Bu parametrelerle teorik iki-ışın ve log-mesafe yol kaybı modelleri üretilmiştir. En uygun yol kaybı modeli; ölçüm sonuçları ve üretilen modellerin kıyaslanması sonucu elde edilen R^2 ve RMSE değerlerine göre belirlenmiştir.

Çokyolluluk etkisi ölçüm verilerinde ortalama değerin üzerindeki hızlı değişimlerdir. Mesafenin etkisi olmadığı halde alınan sinyal gücünde oluşan değişim, alıcıya farklı yollardan ulaşan çokyollu bileşenlerden kaynaklanmaktadır. Çokyolluluk etkisinin modellenmesi için öncelikle veriden elde edilmesi gerekir. Bunun için öncelikle alınan sinyal gücünün belirli bir mesafeye göre ortalaması hesaplanmıştır. Daha sonra alınan sinyal gücünden bu ortalama değer çıkarılarak geriye çokyolluluk etkisi kalmıştır. Ortalama hesaplanırken kayan pencere metodu kullanılmıştır. Alınan sinyal gücünün ortalaması alınırken seçilecek kayan pencere genişliği; ortalamanın hesaplanması ve çokyolluluk etkisinin en doğru şekilde elde edilmesi açısından önemlidir. Literatürdeki çalışmalarda bu değer; bazen sabit, bazen dalga boyuna bağlı bir değer, bazen de deneme yanılma yoluna göre en doğru sonucu veren değer olarak seçilmiştir. [8]'de 5λ ve 40λ arasında bir değerle ortalamanın alınabileceği ifade edilmiştir. Kayan pencerenin genişliği; GPS'ten alınan konum bilgilerinin doğruluğu ($>2,5$ m) ve hızlı dalgalanmaları istatistiksel olarak ifade edebileceğimiz yeterli nokta sayısına sahip olmak açısından 3 m olarak alınmıştır. Alınan sinyal gücü değerlerinin, 3 m mesafe aralıklarla ortalaması alınmış ve elde edilen ortalamalar alınan sinyal gücü değerlerinden çıkarılarak çokyolluluk elde edilmiştir. Böylelikle elde edilen çokyolluluk; Rayleigh, Weibull, Nakagami-m ve Rician dağılımlarına uydurularak bu dağılımların parametreleri elde edilmiştir. Bu parametrelerle her bir dağılıma göre çokyolluluk modelleri üretilmiştir. Bu modellerden çokyolluluk verisine en uygun olanının Akaike Bilgi Kriteri (AIC) ve Akaike ağırlıkları kullanılarak seçilmiştir.

Gölgelemeyi modellemek için öncelikle alınan sinyal gücü verisinden çokyolluluk çıkarılarak yol kaybı ve gölgeleme elde edilmiştir. Daha sonra en uygun seçilen yol kaybı modeli, bu yol kaybı ve gölgeleme verisinden çıkarılarak, sadece gölgeleme verisi elde edilmiştir. Literatürde gölgeleme, sıfır ortalamalı ve σ standart sapmalı bir Gauss dağılımı ile modellenmiştir. Bu nedenle elde edilen gölgeleme verisinin standart sapması hesaplanmıştır. Gölgeleme modeli ise bu standart sapma ile sıfır ortalamalı bir Gauss dağılımıyla modellenmiştir.

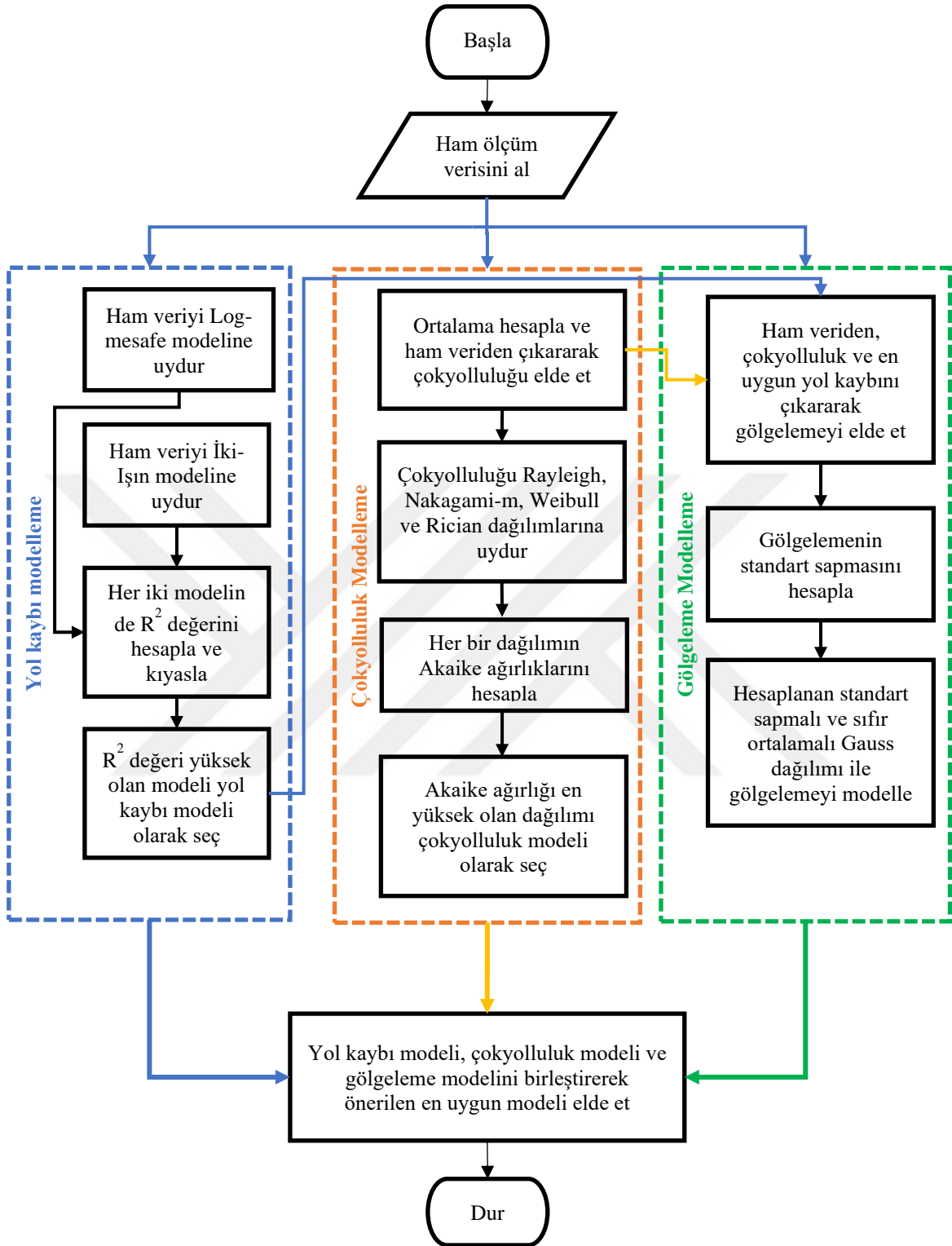


Şekil 25, örnek bir ölçüm verisinin mesafeye karşı alınan sinyal gücü değerlerinin grafiğini göstermektedir. Ölçüm verilerinin modellenmesi aşamalarının ayrıntılı ve adım adım olarak gösterildiği akış diyagramı Şekil 26'da verilmiştir. Akış diyagramındaki modelleme sürecinin daha iyi anlaşılabilmesi için, bundan sonraki kısımda Şekil 25'teki örnek ölçüm verisi üzerinde, akış diyagramındaki her bir adım gerçekleştirilerek sonuçlar paylaşılmıştır.



Şekil 25. Örnek bir ölçüm sonucu





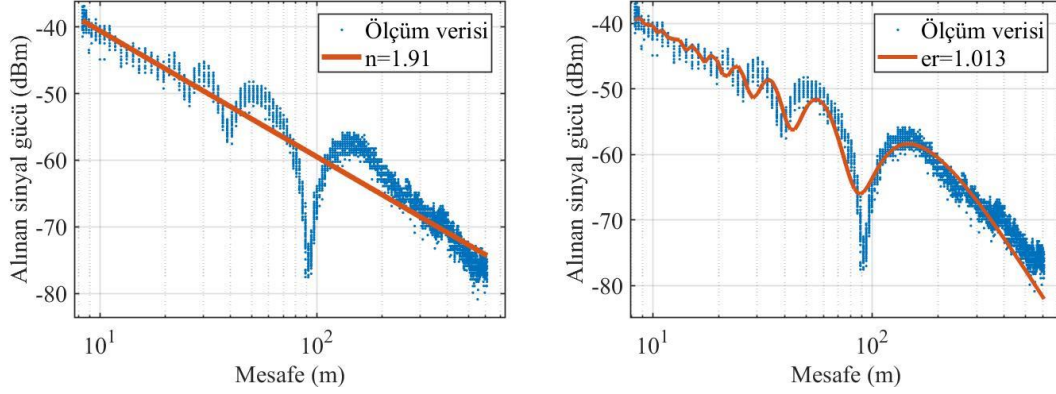
Şekil 26. Ölçüm verilerinin modellenmesinin akış diyagramı



2.2.1. Yol Kaybı Modelleme

Öncelikle ölçüm verisini hem log-mesafe hem de iki-ışın yol kaybı modeline uydurularak iki farklı en uygun yol kaybı modeli teorik olarak elde edilmiştir. Şekil 27’de elde edilen bu iki yol kaybı modelinin ölçüm verisi üzerinde gösterilmiş hali verilmiştir. Ölçüm verisi log-mesafe yol kaybı modeline uydurulduğunda, en az hata ile elde edilen modelin yol kaybı üssü parametresi n , 1.91 olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde iki-ışın yol kaybı modelinde ise bağıl geçirgenlik değeri ϵ_r , en az hata ile 1.013 olarak bulunmuştur. Bu değer in yol zemininin gerçek bağır geçirgenlik değerlerine göre küçük çıkmasının sebebi verici ve alıcı anten yükseklikleri, aracın tavanından gerçekleşen kırılma ve yol yüzeyinin düz olmamasından kaynaklanan etkilerin bu parametreye dahil edilmesidir. Bu nedenle verilerden elde edilen ϵ_r değeri “efektif elektriksel bağıl geçirgenlik” olarak adlandırılmıştır. Bu iki modelden hangisinin ölçüm verisine daha iyi uyum sağladığının kararı ise R^2 ve RMSE değerlerine bakılarak verilmiştir. Bu ölçüm verisi log-mesafe modeliyle kıyaslanması sonucu $R^2=0.946$, RMSE=3.06 hesaplanırken; iki-ışın modeli ile kıyaslandığında $R^2=0.971$ RMSE=3.08 olarak hesaplanmıştır. İki-ışın modelinin R^2 değeri log-mesafe modelinkinden daha yüksek ve RMSE değerleri arasında az bir fark olduğu için bu veriye uygun yol kaybı modeli olarak iki-ışın modeli seçilmiştir. R^2 değeri yüksek olan modelin RMSE değeri ile diğer modelin RMSE değeri arasındaki fark belirlenen eşik değerinden fazla ise bu durumda R^2 değeri düşük olan model seçilmiştir. Eşik değeri, özellikle Şekil 27’deki gibi iki-ışın modelinin karakteristiğine sahip ancak uydurulan model ile arasında sapma olan ölçümler referans alınarak belirlenmiştir. Bu sapma Bölüm 2.6’da önerilen yeni model ile giderilmiştir.





Şekil 27. Ölçüm verisi ve log-mesafe ve iki-ışın modeline uydurularak elde edilmiş modeller

2.2.1.1. Optimum Referans Mesafe (d_0) Değerine Dayalı En Uygun Yol Kaybı Üssü (n) Değerini Bulma

Log-mesafe yol kaybının en önemli parametresi ortamın alınan sinyal gücünü zayıflatma oranı hakkında bilgi veren yol kaybı üssü (n) parametresidir. Literatürde birçok çalışma n değerini ölçüm verilerinden elde etmiştir. Ancak n parametresi elde edilirken referans mesafenin (d_0) ve bu mesafedeki alınan yol kaybı değerinin ($PL(d_0)$) seçimi konusunda ortak bir yol izlenmemiştir. Log-mesafe yol kaybı modelinin formülü şu şekildedir (Bölüm 1.3.1.1):

$$\overline{PL}(d) = \overline{PL}(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right), \quad d > d_0 \quad (2.2)$$

Burada d_0 değeri seçildikten sonra bu değere karşılık gelen yol kaybı değeri $PL(d_0)$ değeri de ölçüm verisinden belirlenir. Bu değerler n değerinin belirlenmesini etkileyen parametrelerdir. DSRC OBU'ları, GPS kayıtlarını ve RSSI verilerini de içeren veri paketlerinin alışverişini yapar. Verici ve alıcı araç arasındaki mesafe (d), GPS verileri kullanılarak Haversine formülüne [103] göre hesaplanır. MK5 OBU iki adet DSRC antenine sahip olduğu için iki farklı sinyal gücü değeri alınır. Bu değerler (2.3)'teki gibi birleştirilerek tek bir RSSI değeri elde edilir.



$$RSSI_{tek}(dBm) = 10 \log\left(10^{\frac{RSSI_{anten1}}{10}} + 10^{\frac{RSSI_{anten2}}{10}}\right) \quad (2.3)$$

$RSSI_{anten1}$ ve $RSSI_{anten2}$ DSRC OBU'ya bağlı olan iki antenden dBm cinsinden alınan sinyal gücü değerleridir. Yol kaybı $PL(d)(dB) = EIRP(dBm) - RSSI(dBm)$ ile hesaplanır. EIRP (Effective Isotropic Radiated Power - Eşdeğer İzotropik Işıma Gücü), maksimum çıkış gücü, anten kazancı ve kablo kayıpları hesaba katılarak elde edilir. Cohda firması tarafından MK5 OBU'nun¹ maksimum çıkış gücü 22 dBm, anten kazancı 5 dBi ve kablo kaybı 2 dB olarak verilmiştir. Buna göre MK5 OBU'nun EIRP değeri; $EIRP(dBm) = 22 dBm + 5 dBi - 2 dB = 25 dBm$ 'dir. Bu değerler kullanılarak yol kaybı $PL(d)(dB) = 25 dBm - RSSI(dBm)$ formülüyle hesaplanır.

Ölçüm verisinden d_0 ve ona karşılık gelen $PL(d_0)$ değeri seçildikten sonra, log-mesafe yol kaybı modeli (2.2)'den en küçük kareler yöntemi kullanılarak n hesaplanabilir. Bu işlem yapılırken ölçüm ortamı için uygun bir d_0 değerinin seçilmesi önemlidir. Ayrıca çokyolluluktan dolayı aynı d_0 değerine karşılık farklı $PL(d_0)$ değerleri denk gelebilir. Bu durumda sadece en uygun d_0 değerini seçmek önemli değil aynı zamanda en uygun $PL(d_0)$ değerini de seçmek gerekir. Hücresel kablosuz haberleşmede genellikle 1 km referans mesafe yaygın olarak kullanılırken, mikro hücreli sistemlerde daha küçük mesafeler (1 m veya 100 m) kullanılır [8]. Buna ek olarak, yakın alan etkilerinin referans yol kaybını değiştirmemesi için d_0 değeri daima antenin uzak alanı içerisinde olması gerekir. Fraunhofer mesafesi (d_f) kullanılarak uzak olan şu şekilde hesaplanır:

$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.4)$$

Burada, λ metre cinsinden dalga boyu ve D metre cinsinden antenin en büyük fiziksel boyutudur. Uzak alanı hesaplamak için (2.4) yerine $d > 10\lambda$ yaygın olarak kullanılan daha pratik bir formüldür. Araçlar-arası haberleşme kanalının çalışma frekansı 5.9 GHz olduğu için dalga boyu $\lambda = c/f = 0,0509$ m olarak hesaplanır. Bu nedenle referans mesafenin $10\lambda = 0.509$ m'den büyük seçilmesi gerekir. Log-mesafe yol kaybı formülü (2.2)'de hesaba

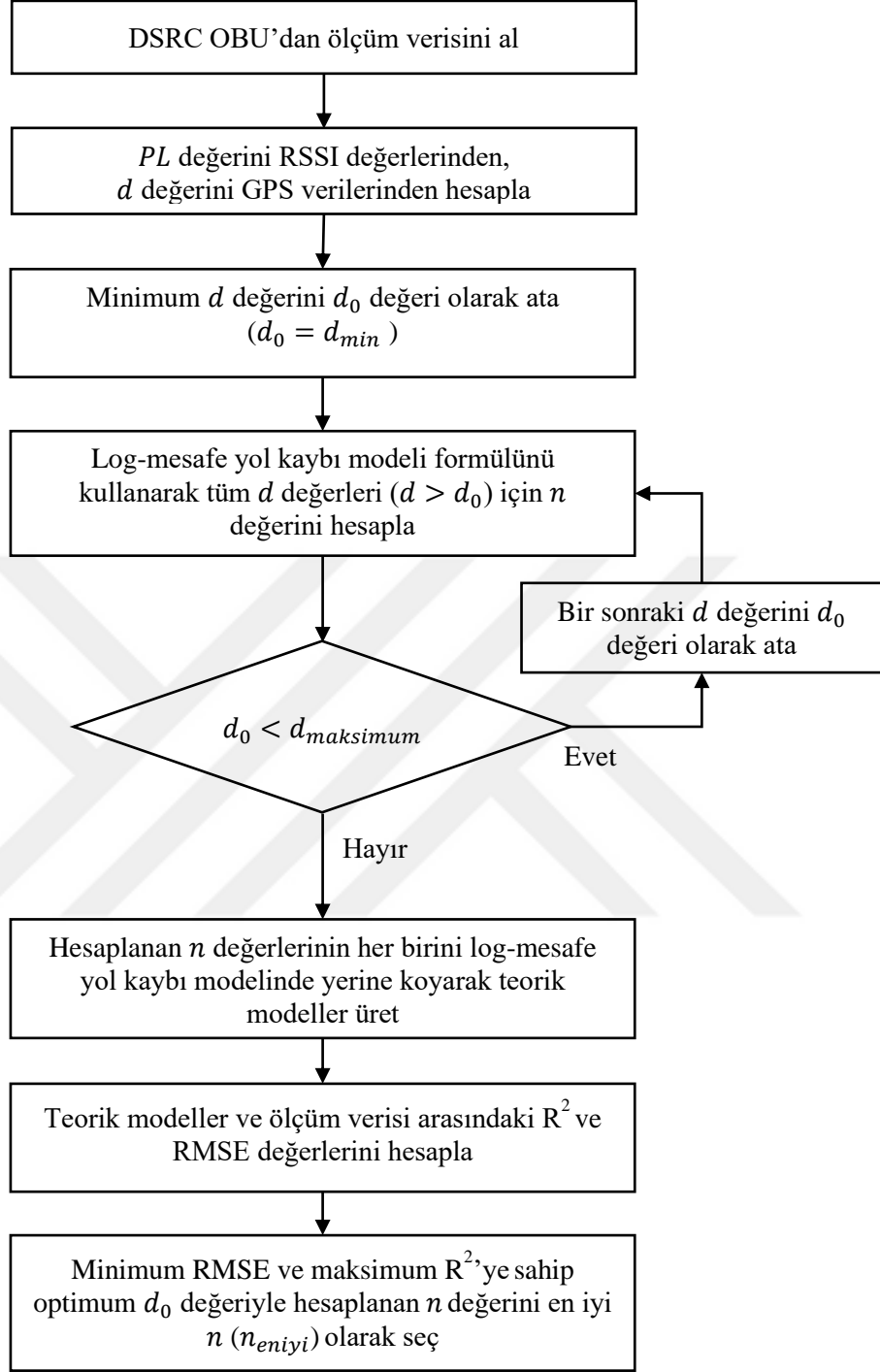
¹https://www.cohdawireless.com/wp-content/uploads/2018/08/CW_Product-Brief-sheet-MK5-OBU.pdf. Cohda MK5 OBU (datasheet). 15 Ocak 2021



katılacak mesafe değerlerinin referans mesafesinden büyük olması şartından dolayı ($d > d_0$), d_0 değeri seçilirken diğer önemli bir nokta ise mümkün oldukça vericiye yakın bir değerin seçilmesidir.

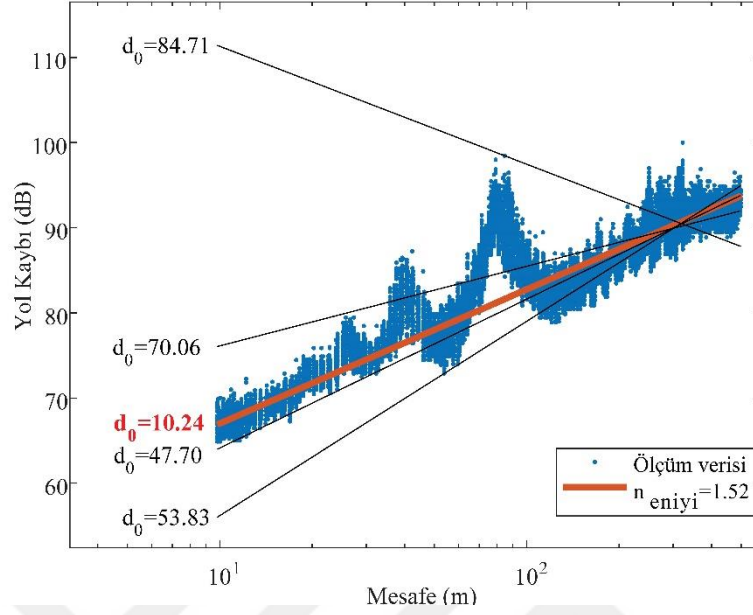
Literatürde d_0 değeri 1 m ile 100 m arasında seçilmiştir. Bazı çalışmalarda [13], [30], [37], [70], [78], [93], [104] bu değer ölçüm ortamından bağımsız 1 m, 10 m veya 16 m gibi sabit bir değer olarak alınıp n değeri hesaplanmıştır. Bazı çalışmalarda farklı senaryolar için farklı d_0 değerleri seçilmiş, sabit bir değer alınmamıştır. Örneğin, [38]'de 10-116 m arasında ve [75]'te 12-72 m arasında değerler alınmıştır. Bazı çalışmalarda [32], [33], [68] ise d_0 değeri log-mesafe yol kaybı modeli formülünden kaldırılarak PL_0 , $P(1)$ ve PL^*_0 gibi yeni bir parametre eklenerek n değeri hesaplanmıştır. Bildiğimiz kadarıyla sadece [105] çalışmasında referans mesafenin yol kaybı üssü değerini elde etmeye etkisi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Farklı referans mesafe değerleriyle hesaplanan yol kaybı üssü değerleri, yüksek hızlı tren viyadük senaryoları için kıyaslanmıştır. Buna rağmen, referans mesafe ve yol kaybı üssü arasındaki ilişkinin sayısal sonuçları verilmediğinden bu konuda daha fazla araştırma yapılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu konuda yapmış olduğumuz bir çalışma araştırma makalesi olarak yayınlanmıştır [106]. Bu çalışmada önerdiğimiz yaklaşım kullanılarak, her ölçüm senaryosuna özgü en uygun d_0 ve $PL(d_0)$ değeri seçilerek veriye en uygun n değeri hesaplanmıştır. Bu yaklaşımın akış diyagramı Şekil 28'de verilmiştir.





Şekil 28. En iyi n (n_{eniyi}) değerini bulmanın akış diyagramı





Şekil 29. Yol kaybı (mavi noktalar), farklı d_0 değerleri için uydurulmuş n eğrileri (siyah çizgiler) ve en uygun d_0 değerine göre elde edilmiş olan n_{eniyi} (kırmızı çizgi)

Örnek bir ölçüm verisi için farklı referans mesafeler alınarak hesaplanan n değerleri ve optimum d_0 değeri için elde edilen en iyi n Şekil 29’da verilmiştir. Şekil 29, n değerinin sadece farklı ortamlarda değişmediği aynı zamanda farklı d_0 değerleri içinde değiştiğini göstermiştir. Buradaki hesaplamalar için en önemli noktalardan biri de log-mesafe yol kaybı modelindeki $d > d_0$ şartının olmasıdır. Bu şartın uygulanmasından dolayı d_0 değerinin 84.71 m ve 53.83 m gibi alınması durumlarında veriye çok uyumlu bir eğri elde edilmemiştir. Bu nedenle daha önceden de bahsedildiği gibi, çok fazla verinin göz ardı edilmemesi için d_0 değerinin vericiye mümkün oldukça yakın bir değer seçilmesi gerekir. Ayrıca sabit d_0 değerlerinin seçilmesi durumunun uydurma hatalarına sebep olduğu yine Şekil 29’da görülmektedir. Uydurulan n eğrilerinin uyumluluğunu göstermek amacıyla Tablo 5 oluşturulmuştur. Tablodaki değerlerden de görüldüğü gibi d_0 değeri 10.24 m alındığında R^2 değeri en yüksek ve RMSE değeri en düşük olmuştur. Bu nedenle bu ölçüm verisi için en iyi n değeri 1.52 olarak elde edilmiştir.



Tablo 5. Farklı d_0 değerleri için n , R^2 , RMSE değerleri

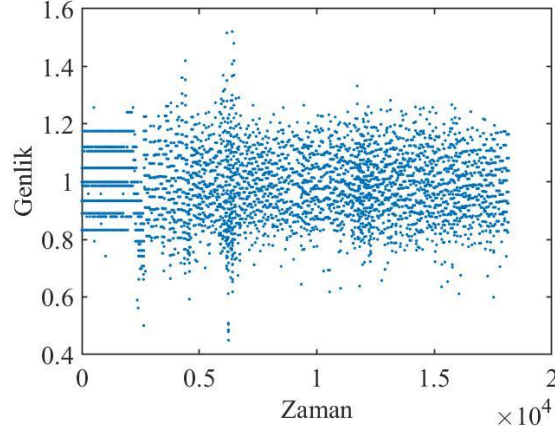
d_0	n	R^2	RMSE
9.80	1.65	0.91	2.72
10.24	1.52	0.92	2.58
20.63	1.45	0.92	2.63
30.76	1.60	0.92	2.67
47.70	1.18	0.85	3.51
53.83	1.74	0.87	3.19
60.39	1.28	0.89	3.07
70.06	1.25	0.88	3.19
84.71	-1.39	0.00	22.42
99.79	0.65	0.65	5.40

Farklı ölçüm senaryoları için farklı d_0 değerleri seçilmesi durumunda elde edilen sonuçların detayları burada verilmemiştir. Daha fazla bilgi ve sonuç için yapılan çalışma [106] incelenebilir. Bu tez çalışmasında, log-mesafe yol kaybı ile modellemelerde optimum referans mesafe değerine dayalı en uygun yol kaybı üssü değerini bulma yaklaşımı kullanılmıştır.

2.2.2. Çokyolluluk Modelleme

Yol kaybı modeli için en uygun model seçildikten sonra çokyolluluk etkisi modellenmiştir. Daha önce bahsedildiği gibi ölçüm verisinden, üçer metrelik aralıklarla elde edilen ortalama çıkarıldığında çokyolluluk etkisi elde edilir. Bu veri için elde edilen çokyolluluk etkisi Şekil 30'da verilmiştir.

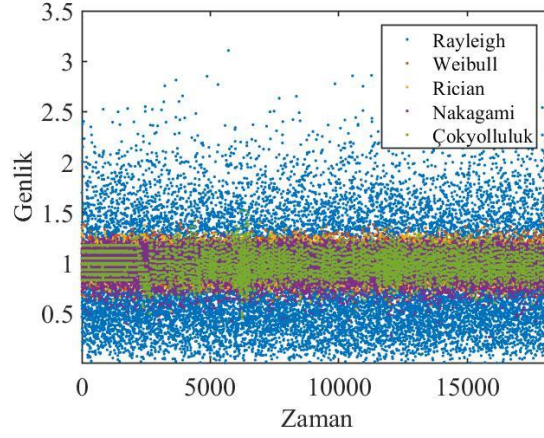




Şekil 30. Çokyolluluk etkisi

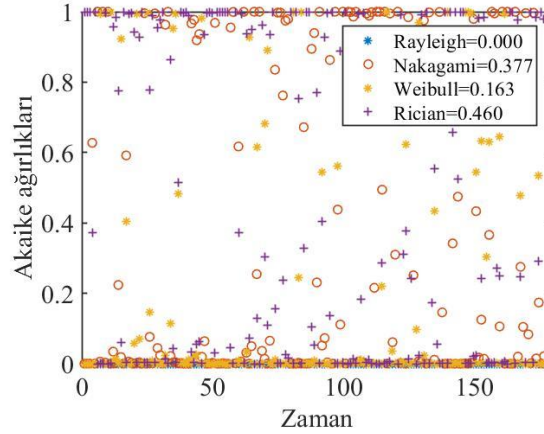
Burada dikkat edilmesi gereken hususlardan biri ölçüm verileri güç (dBm) cinsinden kaydedilmiş olmasına rağmen çokyolluluk etkisi elde edilirken bu veriler genliğe çevrilmiştir. Bunun için öncelikle alınan sinyal gücü değerlerinden ortalama çıkarıldıktan sonra elde edilen fark güce çevrilmiş ve daha sonra bu değer genliğe dönüştürülmüştür. Elde edilen çokyolluluk; Rayleigh, Nakagami-m, Weibull ve Rician dağılımlarıyla modellenmiştir. Bu modellerin en uygununun seçilmesi için Akaike Bilgi Kriteri (AIC) kullanılmıştır. Bunun için üretilen istatistiksel modellerin üzer metrelik aralıklarla Akaike ağırlıkları (ω_i) hesaplanmıştır. Her bir model için Akaike ağırlık değerlerinin ortalaması alınarak o istatistiksel model için ortalama bir Akaike ağırlığı belirlenmiştir. Bu değer en yüksek çıkan dağılım çokyolluluk etkisini modellemek için seçilmiştir. Şekil 31’de çokyolluluk etkisi ve uydurulan istatistiksel dağılımlar verilmiştir.





Şekil 31. Çokyolluluk etkisi ve uydurulan istatistiksel dağılımlar

Şekil 32’de çokyolluluk etkisi elde edilen örnek verinin dağılım fonksiyonlarına uydurulduktan sonra hesaplanan Akaike ağırlıkları, grafiksel olarak gösterilmiştir ve ortalama değerleri grafik üzerinde verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi herhangi bir andaki Akaike ağırlıkların toplamı maksimum “1” olmaktadır.



Şekil 32 Akaike ağırlıkları

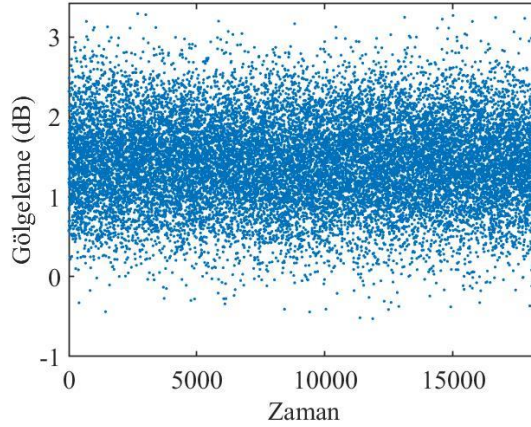
Şekil 32’de x eksenini uydurulan dağılım fonksiyonlarının ortalama her üç metrede bir hesaplanan Akaike ağırlıklarının sayısını göstermektedir. Akaike ağırlıklarının ortalama değerlerine bakılarak bu veri için çokyolluluk etkisini modellemede Nakagami-m ve Rician dağılımlarından birinin kullanılması uygundur. Bu verinin çokyolluluk etkisi Nakagami-m



dağılımının ortalama Akaike ağırlık değeri daha büyük olduğu için Nakagami-m dağılımı ile modellenmiştir.

2.2.3. Gölgeleme Modelleme

Çokyolluluk etkisi ölçüm verisinden çıkarılınca geriye yol kaybı ve gölgeleme bileşenlerinin toplamı kalır. Daha önceden en uygun bulunan yol kaybı modeli (bu veri için iki-ışın yol kaybı modeli) kalan bu veriden çıkarılarak gölgeleme elde edilir. Gölgelemeyi modellemek için bu verinin standart sapması hesaplanır. Sıfır ortalamalı ve hesaplanan standart sapmalı Gauss dağılımı ile gölgeleme modellenir. Bu veri için modellenen gölgeleme Şekil 33'te verilmiştir.

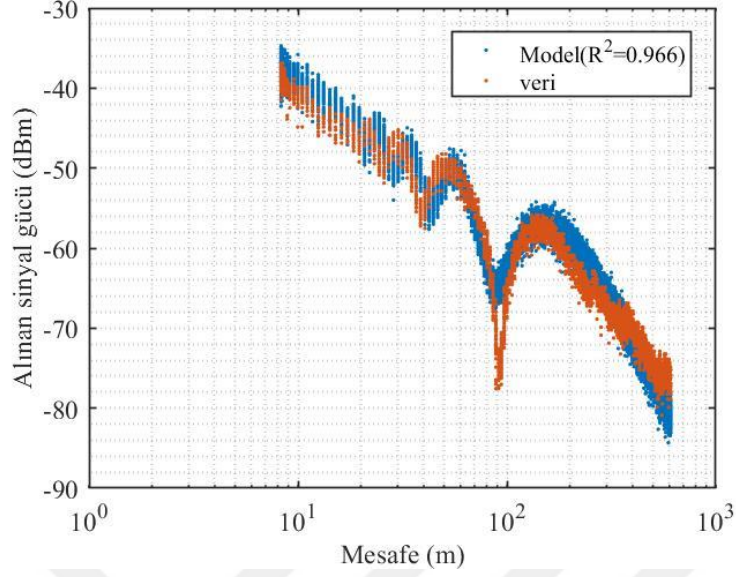


Şekil 33. Gölgeleme

2.2.4. En Uygun Model

Yol kaybı, çokyolluluk ve gölgeleme ayrı ayrı modellendikten sonra bu üç ayrı model birleştirilerek bu veri için elde edilen en uygun model elde edilmiştir. Şekil 34'te ölçüm verisi ve elde edilen en uygun model beraber verilmiştir. En uygun model ile ölçüm verisi arasındaki R^2 değeri 0.966, RMSE değeri 0.88 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, modelin bu veri için çok uyumlu olduğunu göstermektedir.





Şekil 34. Ölçüm verisi ve model

Bölüm 2.1.3'te araçlar-arası haberleşme kanalı ölçüm çalışmalarının yapıldığı ortam ve senaryolar verilmiştir. Bu senaryolardan elde edilen verilerin her biri yukarıda detaylı şekilde anlatıldığı gibi modellenmiştir. Bundan sonraki kısımda, ölçümlerin modelleme sonuçları verilmiştir.

2.3. Ölçümlerin Modelleme Sonuçları

113 ölçüm verisi için en uygun modeller bir önceki bölümde bahsedildiği şekilde gerçekleştirilmiştir. Şekillerdeki senaryoların isimleri belirli bir sıraya göre etiketlenmiştir. Şekil isimlerinde yazı kısmı senaryonun adını, yanındaki ilk rakam aynı senaryonun yapıldığı tekrar sayısını, sonrasındaki rakam ve harf ise sırasıyla yapıldığı ayın tarihini ve o ayın baş harfinin kısaltmasını göstermektedir. Yani “ayniyon116o” senaryo isminde “ayniyon” senaryo ismini, “1” bu senaryonun ilk ölçümünü ve “16o” ise 16 Ocak tarihini göstermektedir. Modelleme sonuçlarının verildiği şekillerde mavi noktalar modeli, turuncu noktalar ise ölçüm verisini göstermektedir. Şekillerde sağ tarafta verilen grafik ise çokyolluluk modellerinin Akaike ağırlıklarını göstermektedir. Modelleme sonuçları; anayol, kent, yarıkent, bina, kırsal, dağ ve ağaç başlıkları altında sınıflandırılarak verilmiştir.

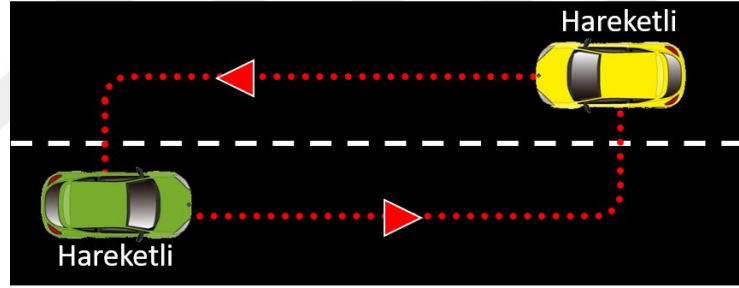


2.3.1. Anayol Senaryoları

Anayol ortamında hem verici hem de alıcının hareketli olduğu senaryolar gerçek trafik senaryolarına en uygun senaryolardır. Bu senaryolar serbest etiketiyle adlandırılmıştır. Serbest ölçümler; Kelkit-Erzincan anayolunda, Kelkit-Köse anayolunda ve Trabzon-Giresun anayolunda gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlerin en önemli özelliği literatürde yol kaybı üssü değerlerinin verildiği ölçüm çalışmalarına benzer olacak şekilde yapılmış olmalarıdır.

2.3.1.1. Serbest Senaryolar

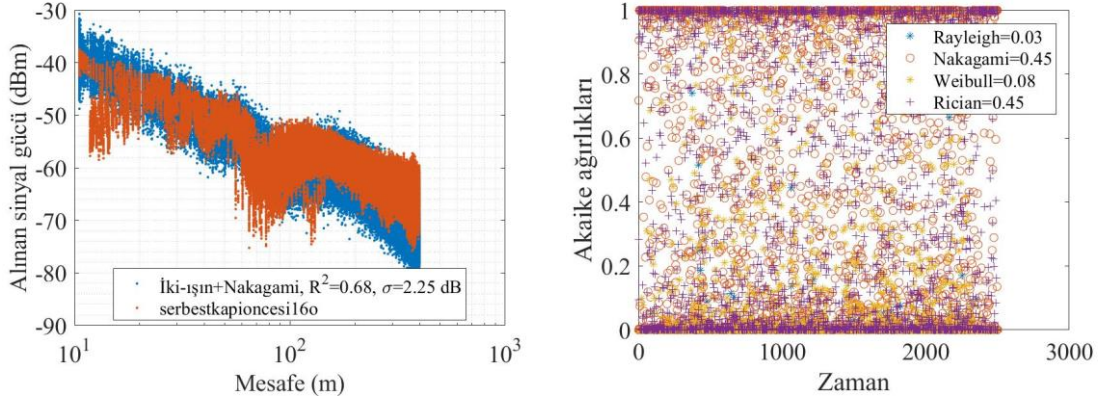
Serbest senaryolarda, verici ve alıcı araç herhangi bir kısıtlama olmadan elips şeklinde bir rotada sürekli hareket etmesi sonucu ölçümler yapılmıştır. Serbest ölçüm senaryolarında verici ve alıcı aracın izlediği genel rota Şekil 35'te gösterilmiştir.



Şekil 35. Serbest ölçüm senaryoları

Kelkit-Erzincan anayolun ölçüm yapılan kısmının tam ortasında şehre giriş kapısı bulunmaktadır. Bu kapının öncesinde ve sonrasında yolun eğimi değişiklik göstermektedir. Kapı öncesinde yol hafifçe çukurlaşırken, kapı sonrasında nispeten daha düz bir yol yapısı bulunmaktadır. Bu yüzden yapılan serbest ölçüm çalışmaları bu durumu da değerlendirmek açısından ayrı ayrı yapılmıştır. Şekil 36'da kapı öncesinde yapılan serbest ölçüm çalışmasının sonuçları verilmiştir. Çokyolluluk için hem Nakagami-m hem de Rician dağılımları uygundur. Gölgeleme ise 2.3 dB civarında hesaplanmıştır.



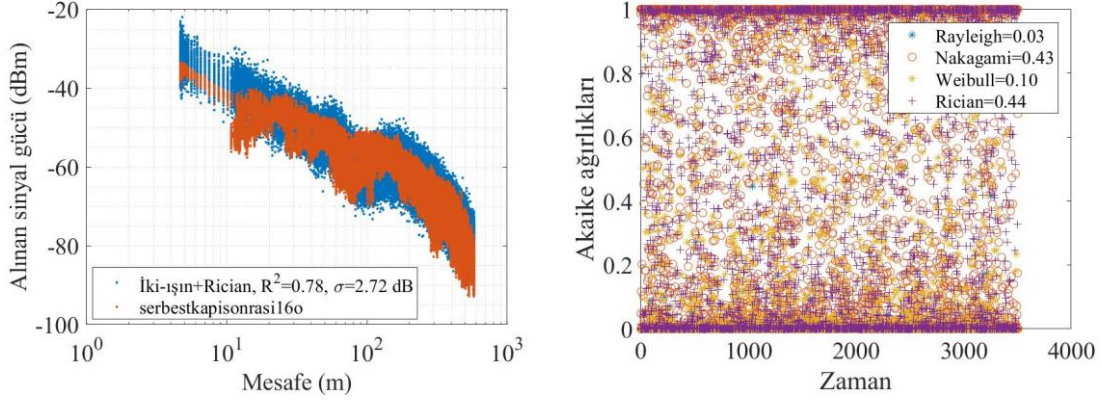


Şekil 36. Serbest kapı öncesi (Kelkit-Erzincan Anayolu) veri, model ve AIC ağırlıkları

Herhangi bir mesafede alınan sinyal gücü değerinin 10–15 dB civarında değişiklik gösterildiği görülmektedir. Bu durum araçlar arasında benzer mesafelerin farklı haberleşme şartlarında gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır. Örnek olarak 100 m’de en iyi ve en kötü alınan sinyal gücü değerlerini göz önüne alalım. En iyi sinyal gücü değeri, verici ve alıcı araç arasında hiçbir engelin olmadığı, yerden yansıyan sinyalin ve çokyollu bileşenlerinin yapıcı etkide bulunduğu bir anda alınmışken; en kötü sinyal değeri, verici ve alıcının aralarına engelin girdiği, yerden yansıyan sinyalin ve çokyollu bileşenlerin yıkıcı etkide bulunduğu bir anda alınmıştır. Bu nedenle, serbest ölçüm senaryolarının standart sapmaları yüksek çıkmıştır. Bu durum diğer serbest ölçüm senaryoları için de geçerlidir.

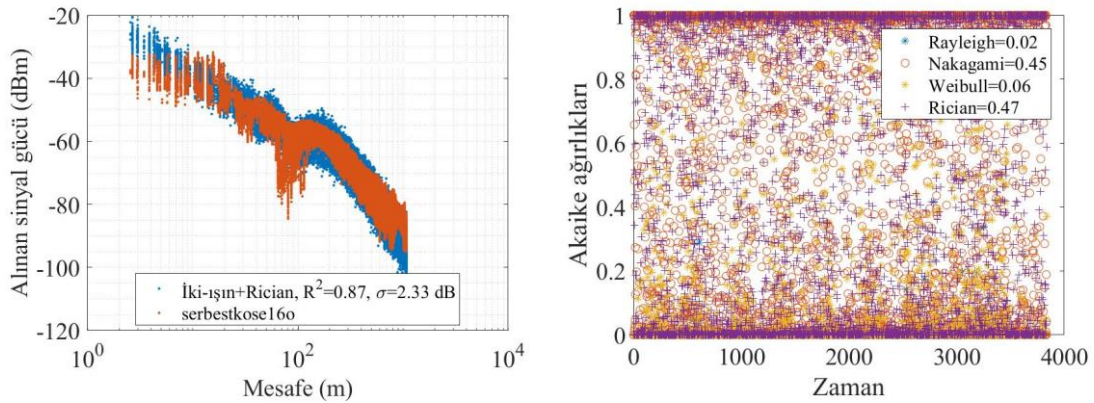
Şekil 37’de Kelkit-Erzincan Anayolunun kapıdan sonraki kısmında gerçekleştirilen serbest ölçüm senaryosunun sonuçları verilmiştir. İki-ışın modeli kapı sonrasında kapı öncesine göre daha iyi bir uyum sağlamıştır. Bunun sebebi yol yapısının kapı sonrasında daha düzgün olmasıdır. R² değeri 0.784 ve gölgeleme 2.72 dB olarak hesaplanmıştır. Çokyolluluk hem Nakagami-m hem de Rician dağılımı ile modellenabilir.





Şekil 37. Serbest kapı sonrası (Kelkit-Erzincan Anayolu) veri, model ve AIC ağırlıkları

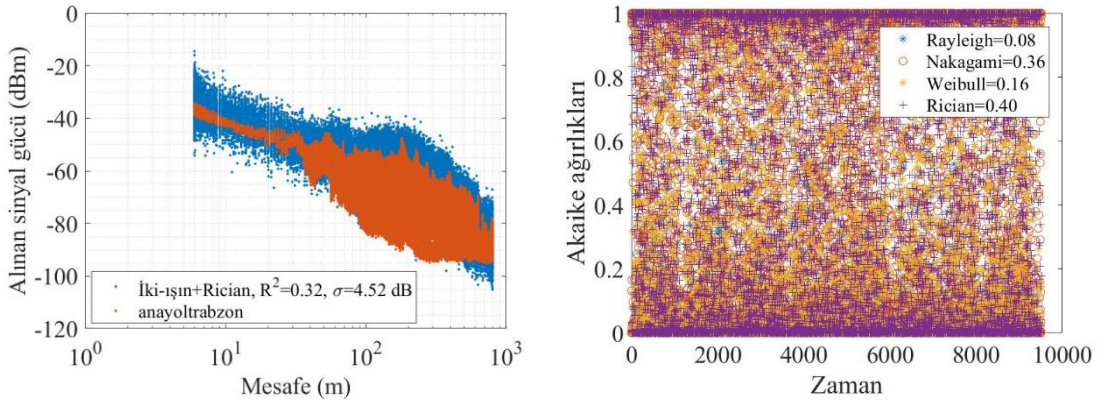
Serbest anayol ölçümünün yapıldığı diğer bir ortam ise Kelkit'ten Bayburt'a giderken kullanılan anayoldur. Bu yolda yapılan ölçümler “kelkitkose” ve “kose” olarak etiketlenmiştir. Bu yol Kelkit-Erzincan anayoluna göre genişlik açısından daha dar bir yoldur. Kelkit-Erzincan anayolu 2 gidiş 2 geliş 4 şeritken, bu yol 1 gidiş 1 geliş 2 şeritli bir anayoldur. Şekil 38’de Kelkit-Köse anayolunda yapılan serbest anayol ölçümünün sonuçları verilmiştir. Bu ölçüm sonuçlarına iki-ışın modeline çok iyi uyum sağlamıştır. Bunun en önemli nedeni yol yapısının düzgünlüğüdür. R^2 değeri 0.88 olarak hesaplanmıştır. Çokyolluluk Rician ve Nakagami-m ile modellenebilir. Gölgelemenin standart sapması ise 2.33 dB olarak hesaplanmıştır.



Şekil 38. Kelkit-Köse anayolu veri, model ve AIC ağırlıkları



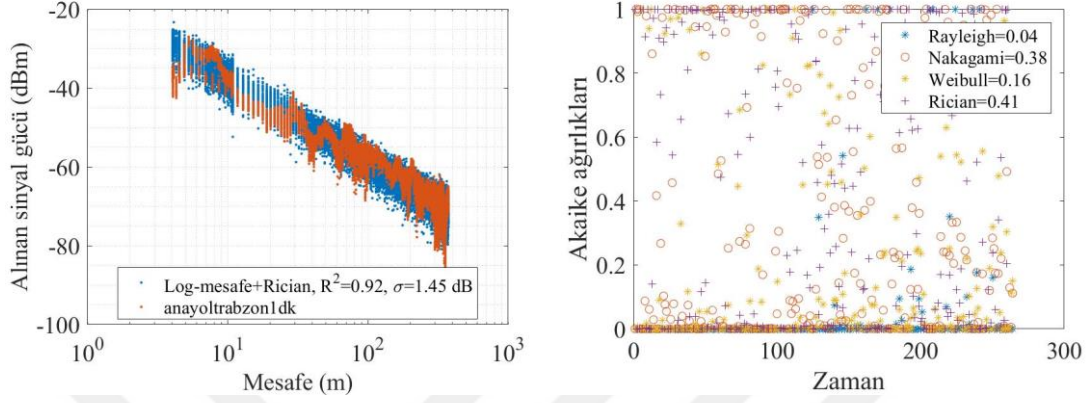
Serbest ölçümlerin yapıldığı diğer bir anayol ise Trabzon-Giresun anayoludur. Bu yol diğer anayollara göre trafik yoğunluğu çok fazla olan, verici ve alıcı arasındaki haberleşmenin genellikle NLOS olduğu bir ortamdır. Araçlar bu yolda kavşaktan dönüş yaparak sürekli bir elips şeklinde güzergahı takip etmişlerdir. Ölçüm esnasında verici ve alıcı araç arasına zıt yönde refüj; kavşaktan dönüş yaparken de üst geçidinin beton ayakları engel olarak girmiştir. Bunun haricinde, verici ve alıcı arasında binek, kamyonet, tır gibi araçlar varken zaman zamanda refüj ve bunun üzerindeki ağaçlar da engel olarak girmiştir. Dolayısıyla bu senaryo anayol ortamı açısından engel oluşturabilecek nesnelere en yoğun olduğu ortamdır. Şekil 39’da Trabzon-Giresun anayoluna ait serbest anayol ölçüm sonuçları verilmiştir. Belirli mesafelerde (180 m civarı) alınan sinyal gücü değerinin aynı mesafe için yaklaşık 40–50 dBm değişmesi bu ölçümlerin doğru bir şekilde modellenmesini güç hale getirmektedir. Elde edilen R^2 değeri 0.32 olarak hesaplanmıştır. Gölgelemenin standart sapması ise 4.52 dB olarak elde edilmiştir. Çokyolluluk, Rician veya Nakagami-m dağılımlarının her ikisiyle de modellenebilir.



Trabzon–Giresun anayolu ölçümleri başlangıcında her iki araçta hareketli iken bir dakikalık yaklaşık 24 bin pakete karşılık gelen bir ölçüm de alınmıştır. Bu ölçümde araçlar aynı yol üzerinde ve aynı yönde ilerlerken aralarına diğer çeşitli türdeki araçlar girmiştir. Ancak zıt yön haberleşme gerçekleşmemiş ve araya refüj ve üst geçit girmemiştir. Ölçüm verisinin aynı yolda serbest alınan ölçüm ile kıyaslanabilmesi açısından burada yer verilmiştir. Dikkat edildiğinde gölgeleme değeri oldukça düşük çıkmıştır. Aynı ortamda



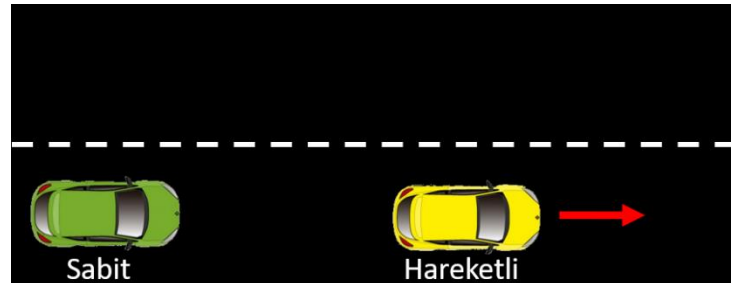
serbest ölçümde toplanan veri miktarı arttıkça farklı haberleşme durumlarının oluşma olasılığı arttığı için alınan verinin standart sapması da artmıştır.



Şekil 40. Trabzon anayol 1 dakika senaryosu veri, model ve AIC ağırlıkları

2.3.1.2. Sabit Senaryolar

Anayol ortamında yapılan ölçümlerde daha önceden de bahsedildiği gibi verici ve alıcı aracın her ikisinin hareketli olduğu (serbest) ve sadece alıcı aracın hareketli olduğu (sabit) ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlerin genel amacı; değiştirilen araçlar-arası haberleşme şartlarınının alınan sinyal gücünü nasıl değiştirdiğini gözlemlemektir. Sabit ölçüm senaryolarında verici ve alıcı aracın konumu ve izlediği rota Şekil 41’de gösterilmiştir.

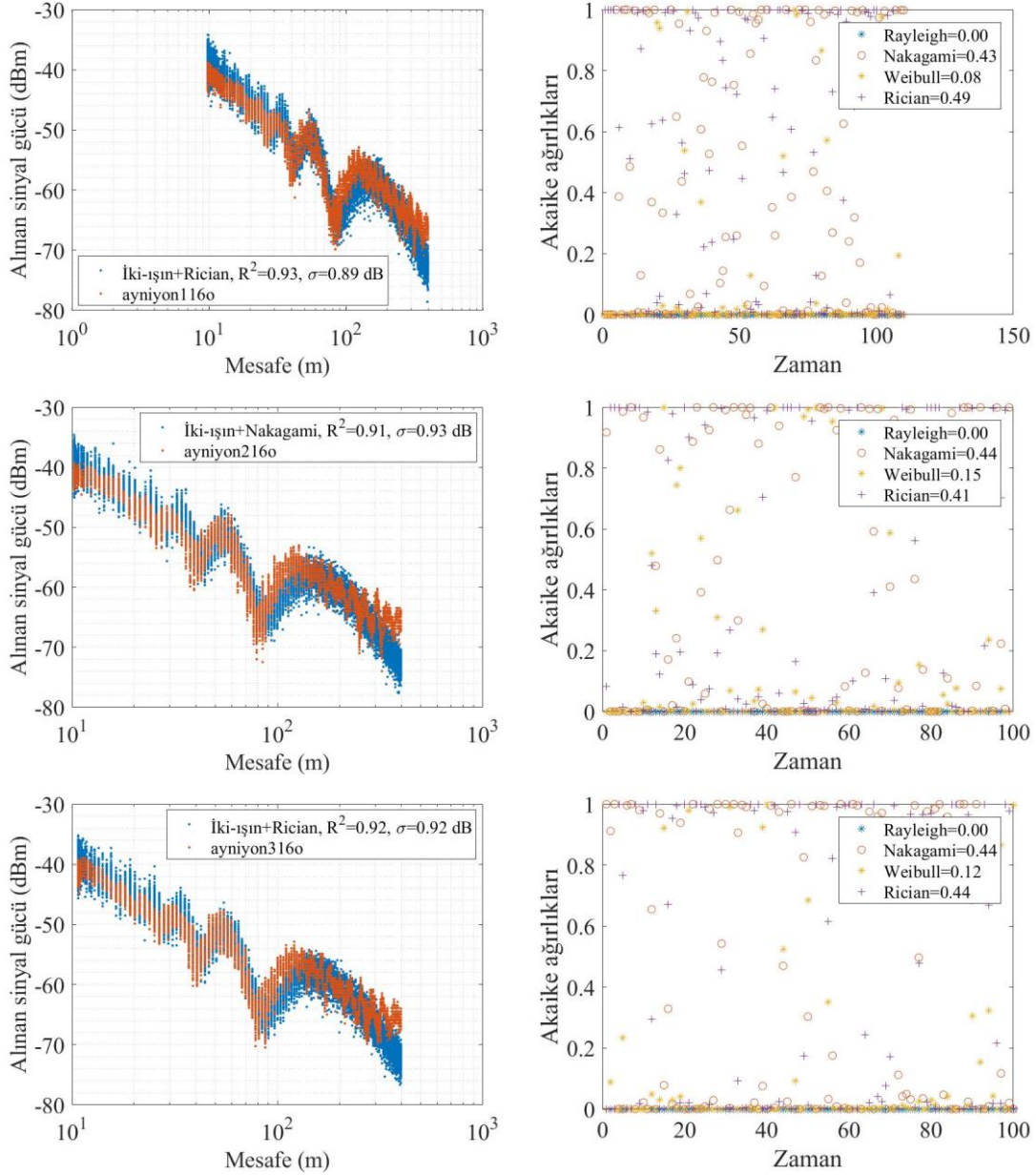


Şekil 41. Sabit ölçüm senaryoları



Yön etkisini gözlemlemek için yapılan aynı ve zıt yön senaryoları sabit ölçüm senaryolarındandır. Şekil 42’de Kelkit-Erzincan anayolunda yapılan aynı yön senaryolarına ait üç farklı ölçümün modelleme sonuçları ve çokyolluluk modellerinin Akaike ağırlık grafiği verilmiştir. Bu üç ölçüm de verici araç sabit iken alıcı araç belirli bir mesafe vericiden uzaklaşarak görüş alanından çıkmadan kayıt durdurulmuştur. Bu işlem üç kez tekrarlandığı için birbirine benzer üç sonuç elde edilmiştir. Ölçüm sonuçlarının son mesafelerine bakıldığında modelin ölçüm sonucundan ayrılmaya başladığı gözlemlenmektedir. Bunun nedeni, ölçümün yapıldığı yol yüzeyi eğimli olup tam düz olmamasıdır. Bu durum, özellikle aynıyon2 ve aynıyon3 ölçümlerinde 300 m ile 400 m arasında görülmektedir. Bununla birlikte ölçüm sonuçları iki-ışın yol kaybı modeline iyi bir uyum sağlamıştır. Çokyolluluk modellerinin Akaike ağırlıklarına bakıldığında, Rician ve Nakagami-m dağılımı üç senaryoda da daha iyi sonuç vermiştir. Gölgelemenin standart sapması ortalama 0.9 dB olarak elde edilmiştir. Bu üç ölçüme ait modellerin ortalama R^2 değeri ise yaklaşık 0.92 olarak elde edilmiştir.



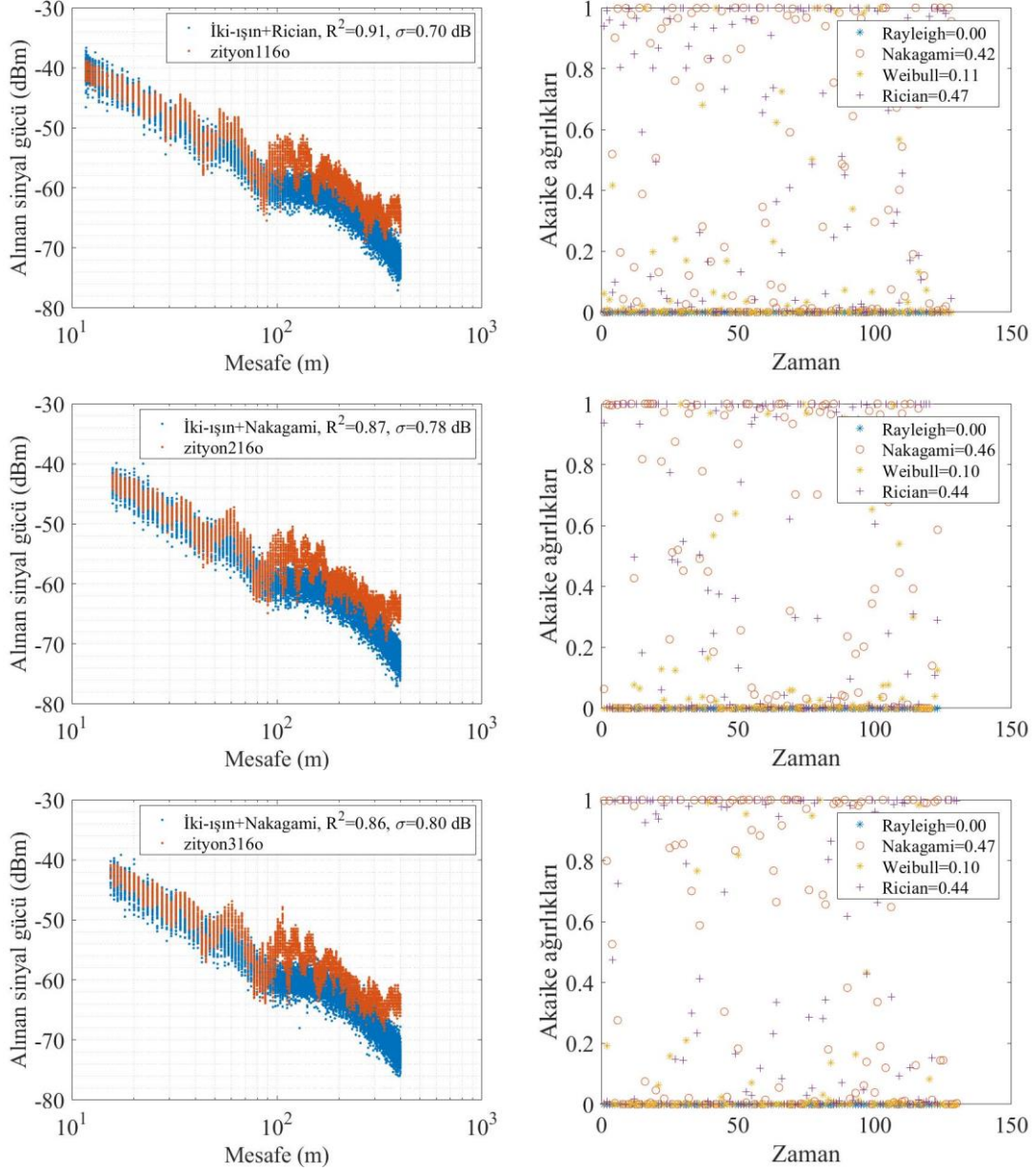


Şekil 42. Aynı yön senaryoları (16 Ocak) veri, model ve AIC ağırlıkları

Aynı yön senaryolarının yapıldığı anayol ortamında verici araç sabit iken alıcı araç verici araca doğru hareket ederek zıt yön ölçümleri gerçekleştirildi. Bu ölçümlere ait modelleme ve Akaike ağırlık grafikleri Şekil 43'te verilmiştir. Yol kaybı modeli olarak iki-ışın modeli log-mesafeden daha uyumlu çıkmıştır. Aynı yön senaryoları ile kıyaslandığında iki-ışın modelindeki tepe ve çukurların zıt yönde daha sönük olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca zıt yön senaryolarında alınan sinyal gücü değerleri aynı yön sinyallerine göre daha yüksektir.



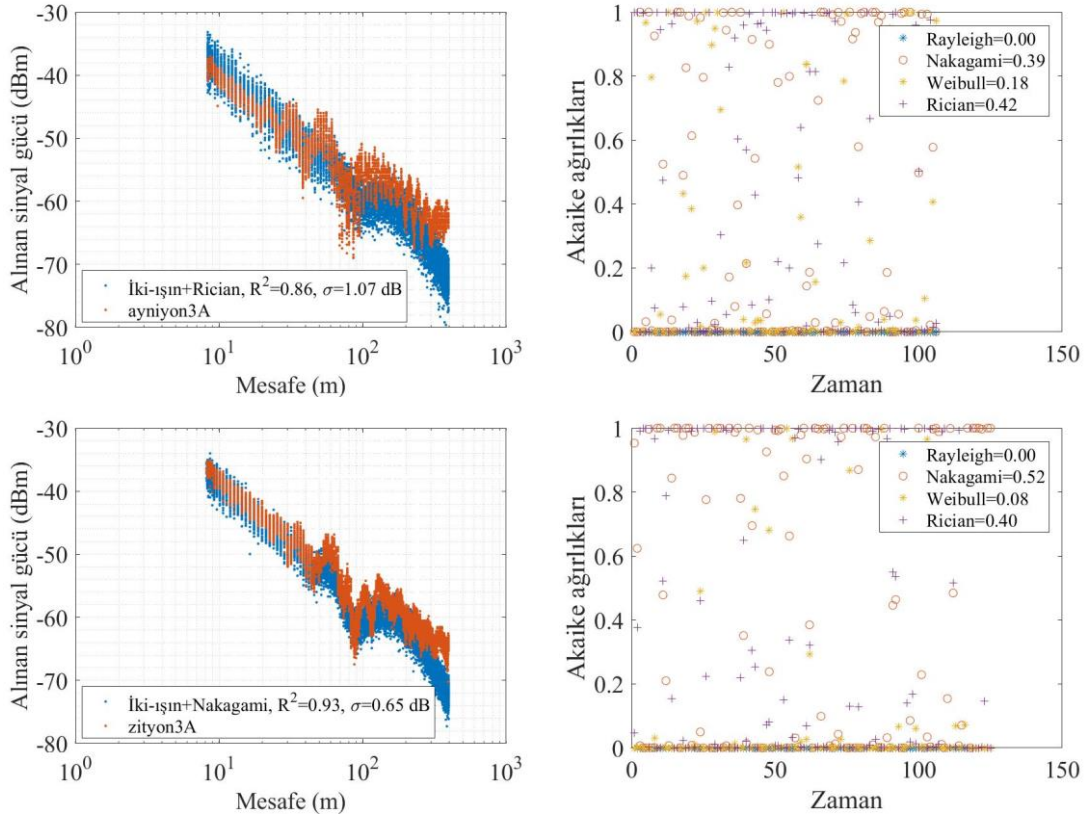
Çokyolluluk için iki senaryoda Nakagami-m ve bir senaryoda Rician dağılımı daha uygun bulunurken, gölgelemenin standart sapması ortalama 0.75 dB olarak hesaplanmıştır. R^2 değeri ise ortalama 0.87 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 43. Zıt yön senaryoları (16 Ocak) veri, model ve AIC ağırlıkları



Kelkit-Erzincan anayolunda 3 Aralık tarihinde yapılan aynı ve zıt yön senaryolarına ait sonuçlar Şekil 44'te verilmiştir. Her iki ölçüm için de iki-ışın yol kaybı modeli daha uyumlu çıkmıştır. Aynı yön senaryosu için gölgeleme değeri 1.07 dB hesaplanırken, zıt yönünki 0.65 dB olarak elde edilmiştir. Çokyolluluk aynı yön senaryosunda Rician dağılımıyla, zıt yönde Nakagami-m dağılımı ile modellenmiştir. Aynı yön senaryosunun R^2 değeri 0.86 ve zıt yönünki 0.93 olarak elde edilmiştir.

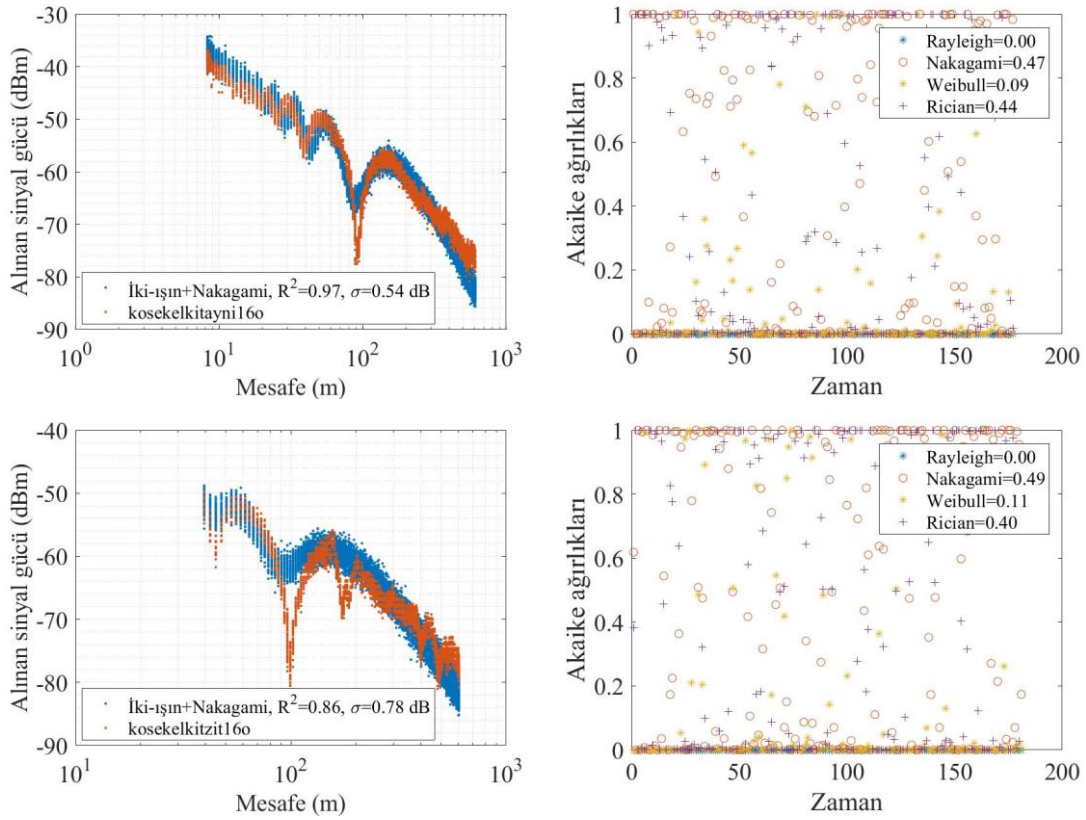


Şekil 44. Aynı yön ve zıt yön senaryoları (3 Aralık) veri, model ve AIC ağırlıkları

Anayol ölçümlerinin yapıldığı diğer ortamlardan biri de Kelkit-Bayburt arasında bulunan Kelkit-Köse anayoludur. Bu yolda yapılan aynı ve zıt yön ölçümlerine ait sonuçlar Şekil 45'te verilmiştir. Ölçüm senaryosu önceki aynı ve zıt yön ölçümleri ile benzer olmasına rağmen yol yapısı burada diğerinden farklı olarak yol boyunca düz ve etrafta ağaç, duvar veya bina bulunmamaktadır. Bunun sonucu olarak da aynı yön senaryosunda iki-ışın yol kaybı modeli oldukça iyi uyum sağlamıştır. Çokyolluluk aynı ve zıt yönde Nakagami-m dağılımı ile modellenmiştir. Gölgeleme ise aynı yön için 0.54 dB, zıt yön için 0.78 dB olarak



hesaplanmıştır. Aynı yön ve zıt yön veri ve modellerin farklı görünmesinin sebebi zıt yönde verici ve alıcı araç arasında ölçüm yapılan minimum mesafe 40 m civarında iken, aynı yönde 8 m civarındadır. Ayrıca zıt yön senaryosunda yaklaşık 200 m civarında olan ani düşüşün, verici ve alıcı araç arasına giren başka bir araçtan kaynaklandığı kamera kayıtları incelenerek tespit edilmiştir. Her iki ölçüm sonucu iki-ışın modeline iyi uyumluluk göstermesine rağmen, araya giren engel araçtan dolayı R^2 değerleri birbirinden farklı çıkmıştır. Aynı yön senaryosunun R^2 değeri 0.97, zıt yönün ise 0.86 olarak hesaplanmıştır.



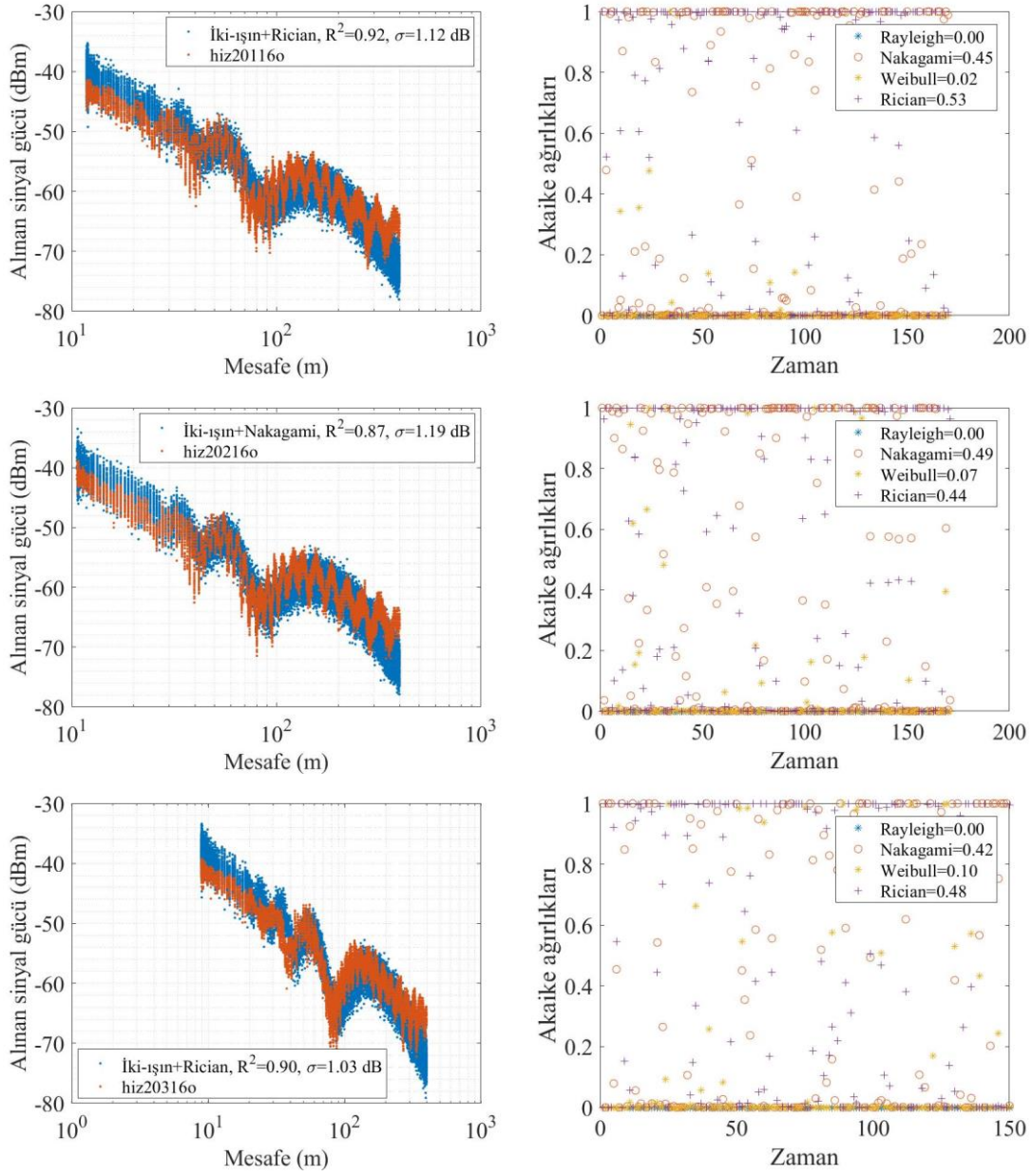
Şekil 45. Aynı yön ve zıt yön senaryoları (Köse) veri, model ve AIC ağırlıkları

Araçların hızlarının araçlar-arası haberleşmeye etkisini gözlemlemek amacıyla yapılan ölçümlere hız senaryoları adı altında etiketlenmiştir. Bu ölçümler Kelkit-Erzincan anayolu üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 46’da “hız20” etiketi ile başlayan ilk üç senaryoda, verici araç sabit yol kenarına park etmiştir. Alıcı araç ise verici aracın önünden ve onla aynı yönde, ortalama 20 km/saat hızla hareket ederek uzaklaşıyor. Şekil 47’de “hızartan” etiketiyle başlayan üç senaryoda ise verici araç yine sabit ve alıcı araç artan bir hızla ilerliyor. Hız20



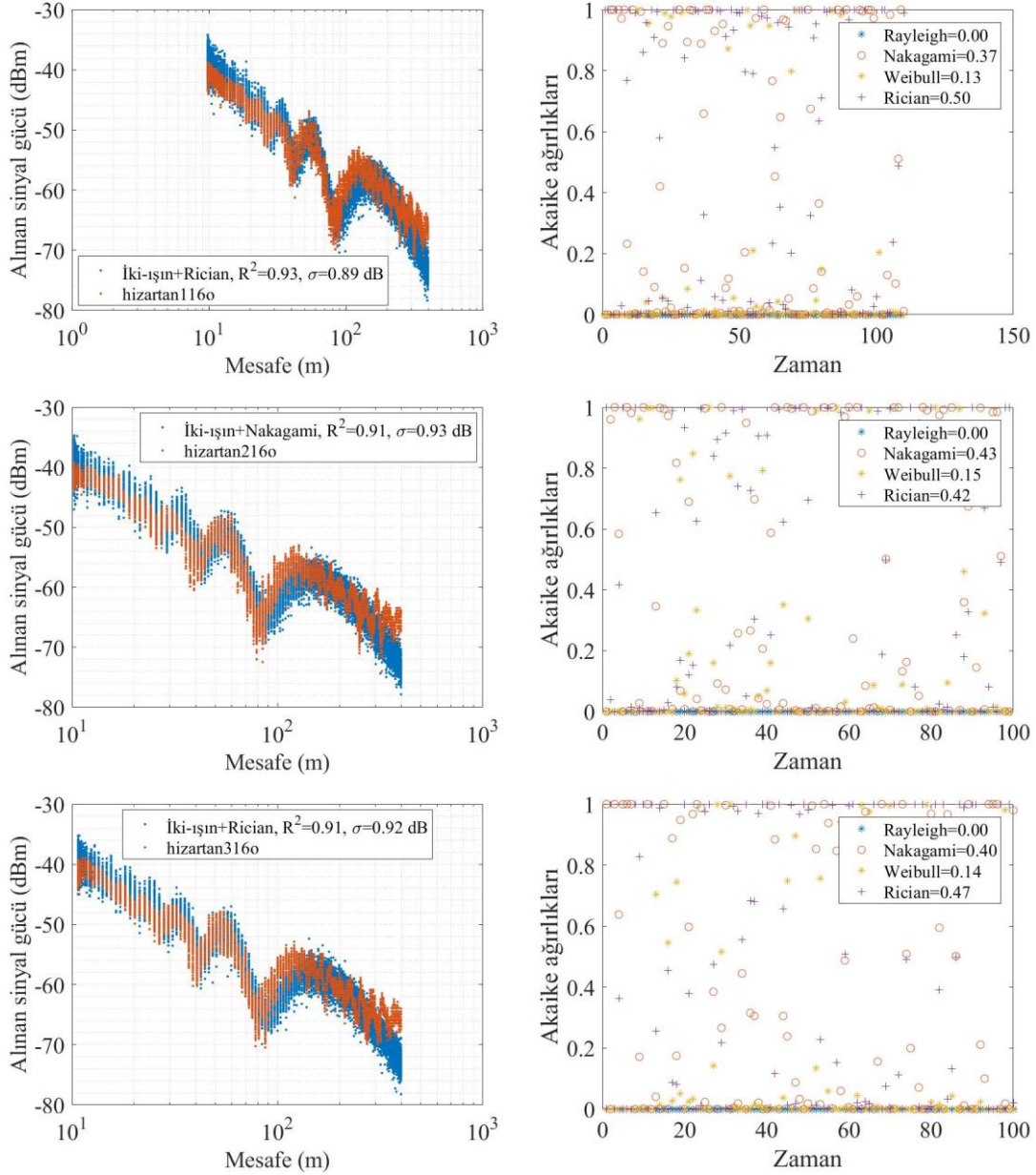
ve hız artan senaryolarının her ikisi için de iki-ışın modeli daha uyumlu bulunmuştur. Ancak hız20 senaryolarında alıcı araç daha yavaş gittiği için alınan sinyal gücündeki dalgalanmaların sıklığı belirgin bir şekilde artmıştır. Çokyolluluk için Nakagami-m ve Rician dağılımları genel olarak iyi uyumluluk göstermiştir. Gölgeleme ise hız20 senaryolarında ortalama 1 dB'nin üzerinde iken, hızartan senaryolarında 0.9 dB civarında hesaplanmıştır. Hız20 ölçümlerine uydurulan modellerin R^2 değeri ortalama 0.9, hızartan ölçümlerinininki ise 0,92 olarak hesaplanmıştır.





Şekil 46. Hız20 senaryoları (16 Ocak) veri, model ve AIC ağırlıkları



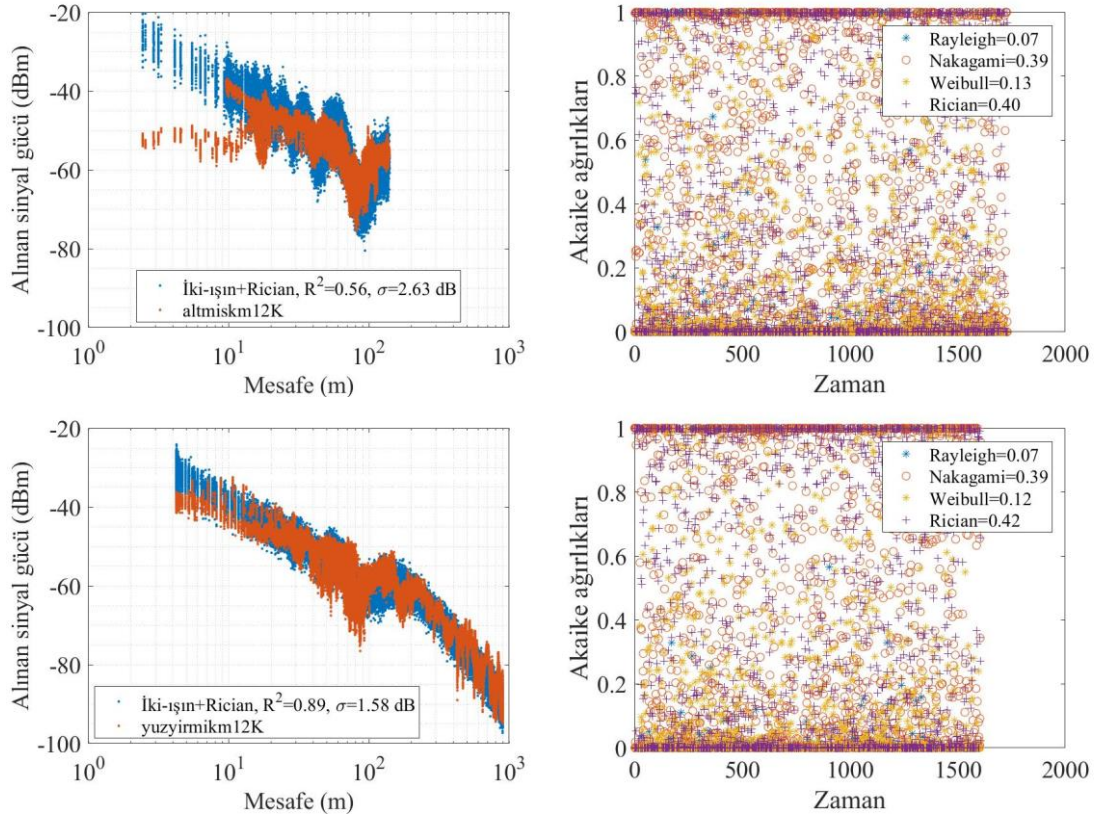


Şekil 47. Hızartan senaryoları (16 Ocak) veri, model ve AIC ağırlıkları

Kelkit-Erzincan anayolunda farklı bir tarihte yapılan hız senaryolarından biri de 60 km/saat ve 120 km/saat hız senaryolarıdır. Bu senaryolarda verici ve alıcı aracın her ikisi de hareketlidir. Araçlar, 60 km hız senaryosunda araçlar ortalama 60 km/saat hızla, 120 km hız senaryosunda ise ortalama 120 km/saat hızda sürülmeye çalışılmıştır. Bu iki farklı ölçümün sonuçları Şekil 48’de verilmiştir. Ölçümlerde araçlar birbirini 100-200 m arasındaki mesafelerde takip etmesine rağmen, 120 km’lik ölçüm alınırken alıcı ve verici araç farklı



noktalardan U dönüşü yaptıkları için aralarındaki mesafe 1000 m'ye yakın olmuştur. 60 km hız senaryosunun 2 ile 10 m mesafeleri arasında alınan sinyal gücü, 120 km hız senaryosununkiyle kıyaslandığında, 10 dB'den fazla bir düşüş olduğu görülmektedir. Araçlar birbirini aynı yönde takip ederek hareket ederken, yolun sonundan dönüş yaptıkları esnada bu düşüşün gerçekleştiği, kamera kayıtları incelenerek anlaşılmıştır. Bu durum, 60 km hız senaryosunda gölgelemenin standart sapmasının yüksek çıkmasına ve uyumluluğun düşük çıkmasına sebep olmuştur. Her iki senaryoda da yol kaybı modeli olarak iki-ışın yol kaybı modeliyle, çokyolluluk modeli olarak ise Rician dağılımıyla modellenmiştir.

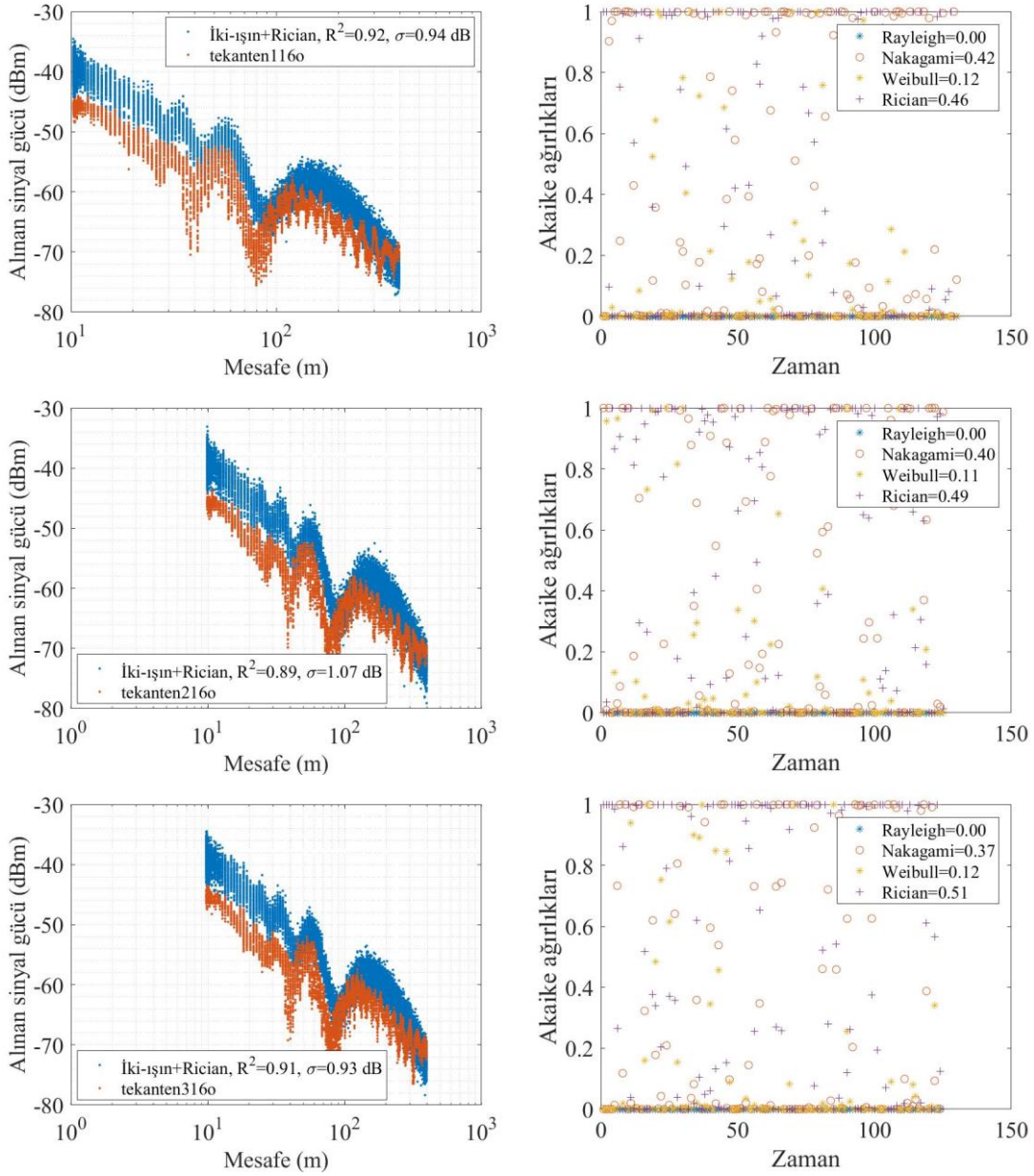


Şekil 48. 60 km ve 120 km senaryoları veri, model ve AIC ağırlıkları

Anayol ortamında yapılan ölçüm çalışmalarından biri de anten senaryosudur. Normalde verici ve alıcıda iki adet DSRC anteni bulunmaktadır. Anten senaryolarında, vericideki anten sayısının komutla biri devre dışı bırakılarak, alınan sinyal gücünün değişimi gözlemlenmiştir. Alıcı anten sayısı değiştirilemediği için sadece verici anten sayısı teke düşürülmüştür. Bu senaryolar “tekanten” senaryosu olarak etiketlenmiştir. Verici araç, sabit;



alıcı araç, onla aynı yönde ve ondan uzaklaşacak şekilde ölçümler yapılmıştır. Şekil 49’da tek anten senaryolarına ait sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçların, çift antenle yapılmış benzer ölçümlerle karşılaştırmak için Şekil 47’de verilen “hızartan” senaryolarının sonuçları kullanılabilir. Hızartan senaryoları aynı anayol ortamında aynı ölçüm çalışmasının çift anten ile yapılmış halidir. Çift anten ve tek anten sonuçları kıyaslandığında, tek anten ölçümlerinde alınan sinyal gücü değerlerinin yaklaşık ortalama 5 dB daha düşük olduğu görülmektedir.

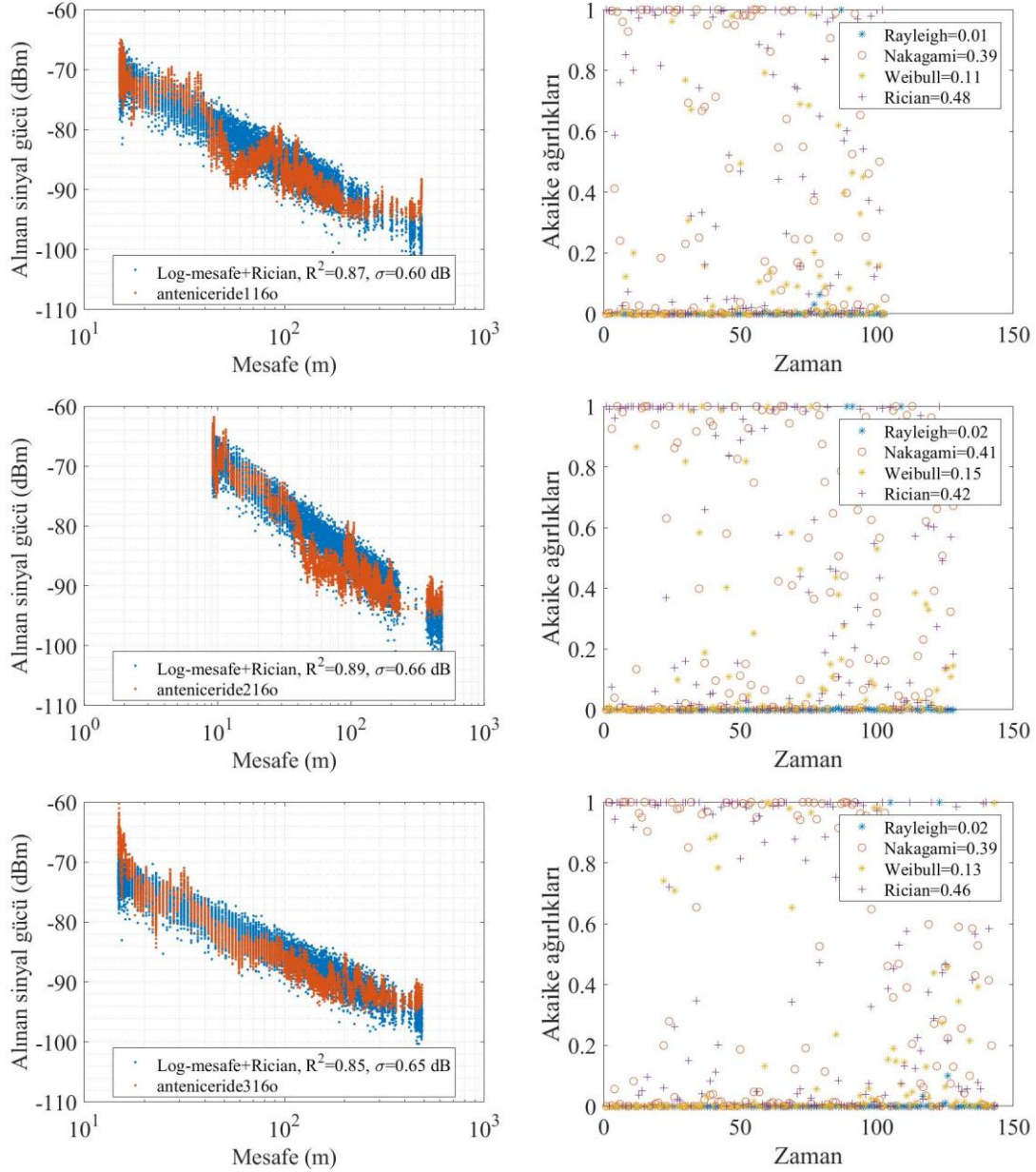


Şekil 49. Tek anten senaryoları (16 Ocak) veri, model ve AIC ağırlıkları



Araç tavanındaki antenlerin arka koltukların üzerine alınmasıyla yapılan ölçüm senaryoları “anteniceride” olarak adlandırılmıştır. Şekil 50’de Kelkit-Erzincan anayolunda yapılan “anteniceride” ölçümlerinin sonuçları verilmiştir. Bu senaryolarda verici araç sabitken, alıcı araç onla aynı yönde ve ondan uzaklaşarak ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler, aynı ortamda antenlerin tavanda yapıldığı “hızartan” senaryoları ile kıyaslanmıştır. Buna göre, antenlerin içerideyken, alınan sinyal gücü değerinin ortalama 25-30 dB daha fazla zayıflamaya maruz kaldığı ortaya konmuştur. Aynı zamanda, anten tavanda iken ölçüm verileri iki-ışın yol kaybı ile modellenirken, anten içeriye alındığında log-mesafe yol kaybı modeli daha uyumlu sonuç vermiştir.



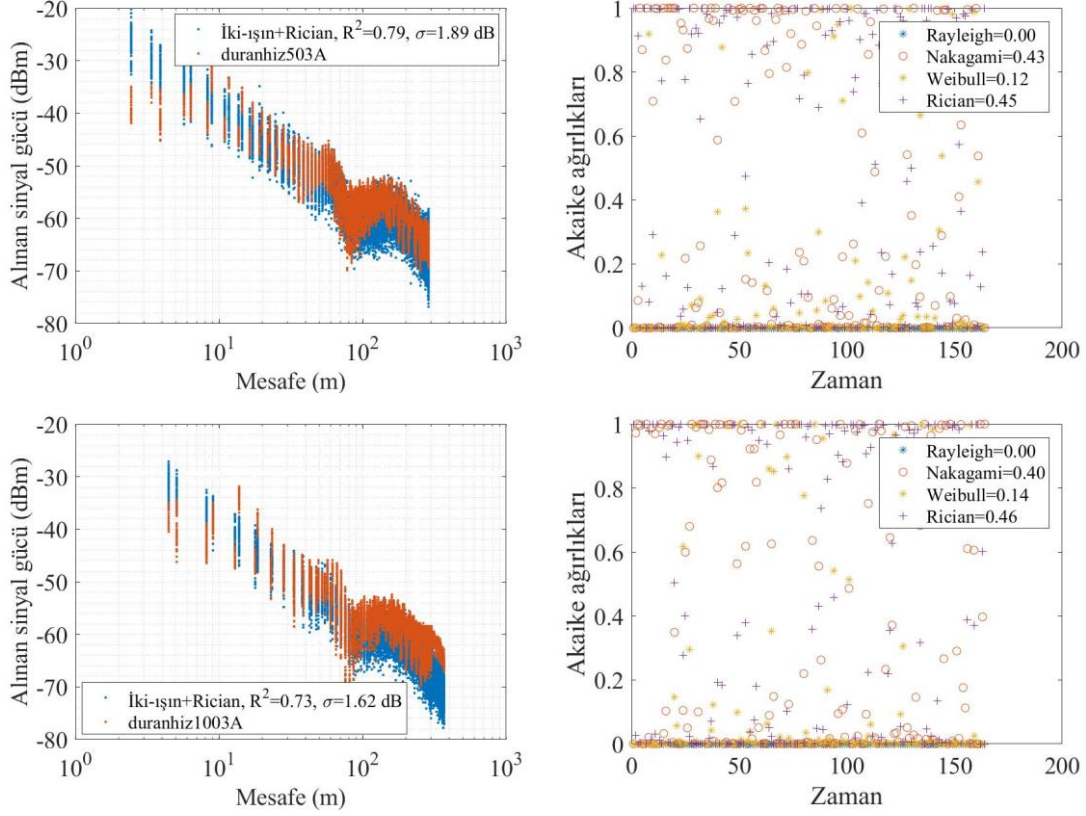


Şekil 50. Anten içeride senaryoları veri, model ve AIC ağırlıkları

Anayolda; verici araç yol kenarında park halindeyken, alıcı araç verici aracın yaklaşık 300 m gerisinden başlayarak, ortalama 50 km/saat ve 100 km/saat hızla verici aracın yanından geçmesi şeklinde yapılan ölçümler “duranhiz50” ve “duranhiz100” olarak etiketlenmiştir. Diğer hız senaryolarından farklı olarak, alıcı araç verici aracın gerisinden başladığı için diğer aracı belirtilen hızlarda sollayarak ölçümler elde edilmiştir. Yakın mesafelerdeki verilerin aralıklı dağılımının sebebi, alıcı aracın yanından hızla geçmesi



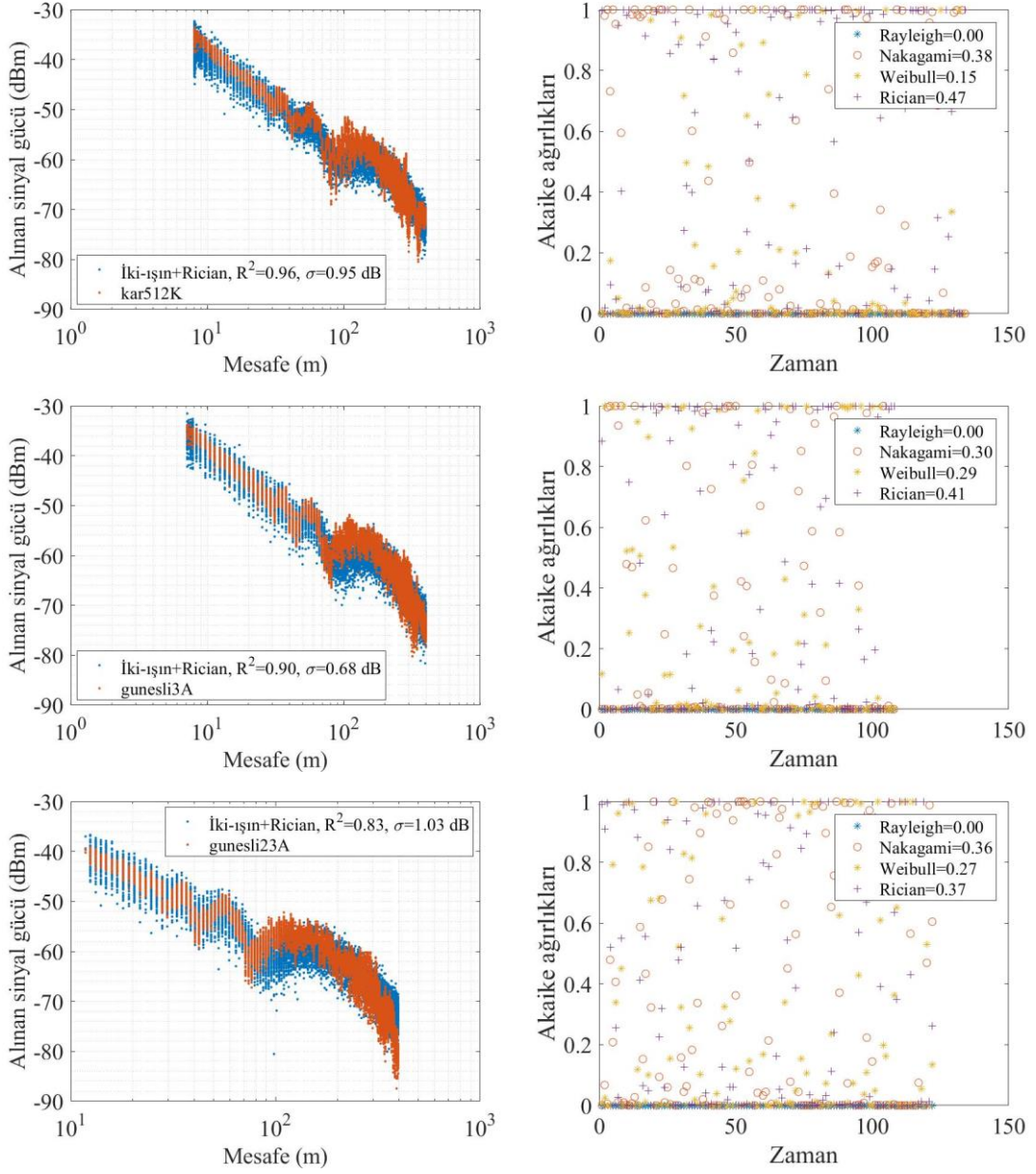
enasasında alınmış olmasındandır. Burada bir nevi sollama senaryosu da gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları Şekil 51’de verilmiştir. 50 km/saat ile 100 km/saat arasında önemli bir farklılık gözlenmemiştir.



Şekil 51. Duran hız senaryoları veri, model ve AIC ağırlıkları

Anayolda, karlı bir havada, verici araç sabit, alıcı araç ona doğru aynı yönde yaklaşarak gerçekleştirilen ölçüm senaryosu, “kar”; güneşli havada gerçekleştirilen aynı senaryo ise “gunes” ön ismiyle etiketlenmiştir. Karlı hava senaryosunun R^2 değeri 0.96, güneşli hava senaryosunun ise 0.9 olarak hesaplanmıştır.



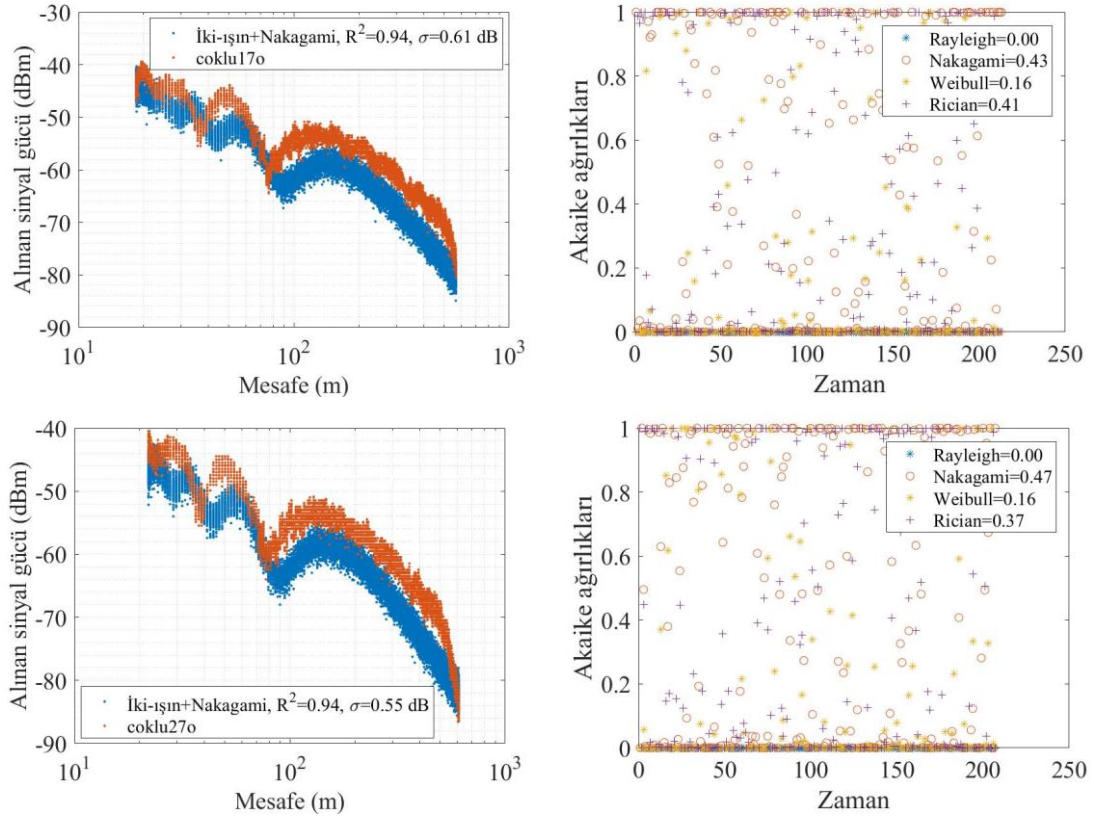


Şekil 52. Kar ve güneş senaryoları veri, model ve AIC ağırlıkları

Kelkit–Erzincan anayolunda bulunan giriş kapısından sonraki düz yol kısmında yapılan senaryolardan biri de “çoklu” olarak etiketlenmiştir. Bu senaryoda verici araç yol kenarına park etmiş ve alıcı araç onla aynı yönde ve ondan uzaklaşarak gerçekleştirilmiştir. Senaryo açısından “hızartan” senaryosu ile aynı; ancak ortam olarak farklı bir yolda gerçekleştirilmiştir. Bu ölçüm senaryosunun esas amacı: aynı ortamda, aynı senaryonun çokça kez tekrarlanmasıyla elde edilen ölçüm sonuçlarının kıyaslanmasıdır. Böylece,



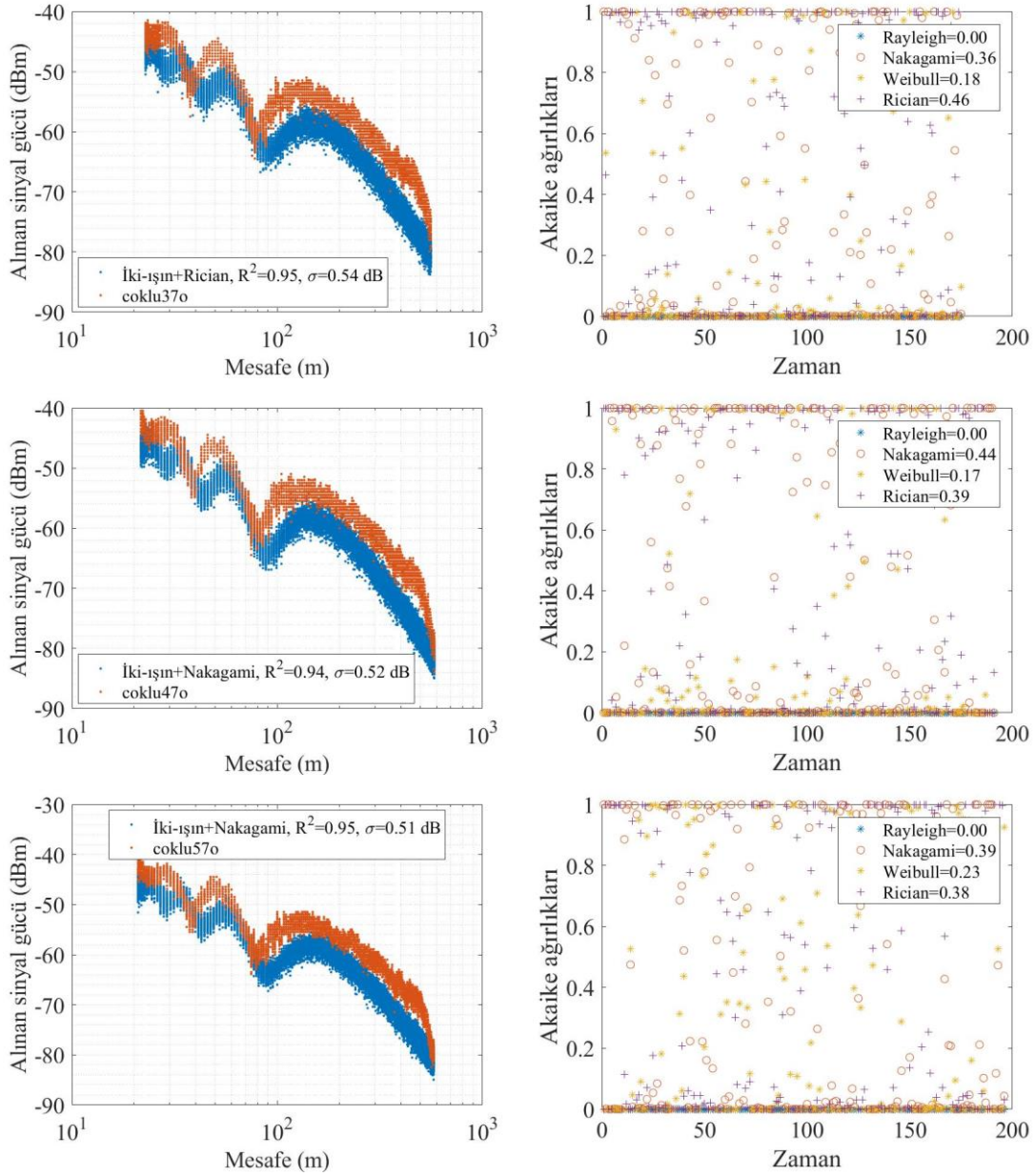
ölçümlerden elde edilen parametrelerin değişme oranı hakkında bir fikir elde edilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlar, verici ve alıcı aracın hareketli olduğu ve bu ortamda yapılan serbest ölçümlerle de kıyaslanmıştır. Bütün ölçümler için iki-ışın yol kaybı modeli daha iyi uyum göstermiştir. Ayrıca bütün ölçümlerde alınan sinyal gücü değerleri, iki-ışın yol kaybı modelinkinden daha yüksek elde edilmiştir. Ölçümlere uydurulan modellerin ortalama R^2 değeri 0.95 olarak hesaplanmıştır. Hemen hemen tüm ölçümlerin çokyolluluk etkisi Rician dağılımı ile modellenmiştir. Serbest senaryo da iki-ışın yol kaybı modeli ve Rician dağılımıyla modellenmesine rağmen R^2 değeri 0.75 seviyelerine düşmüştür. Bunun sebebi her iki aracın hareketli olmasından dolayı; zıt yön ve aynı yönden gelen verilerin üst üste binmesi, dönüşlerde oluşan ilave zayıflamalar ve araya giren engel araçlar gibi birçok durumdan kaynaklanmaktadır.



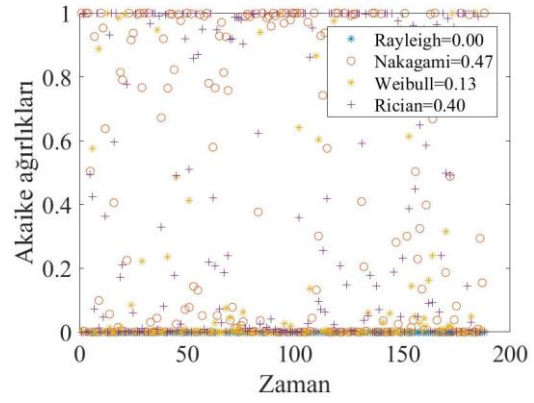
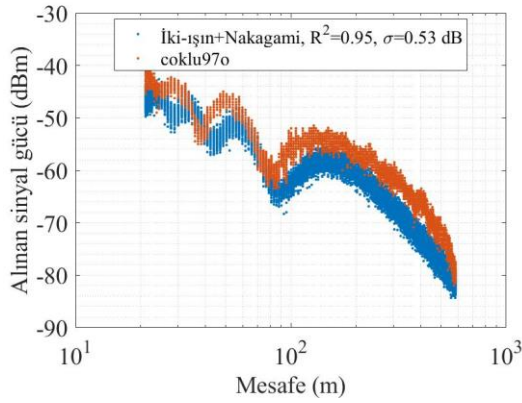
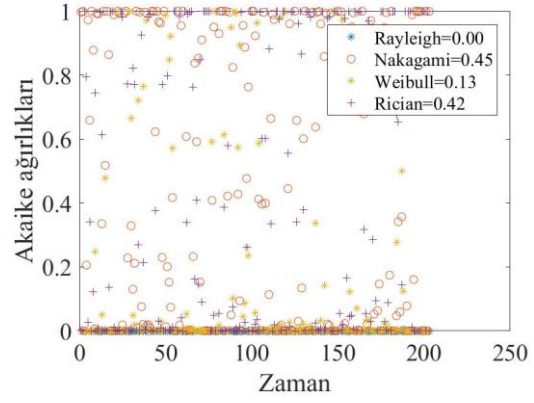
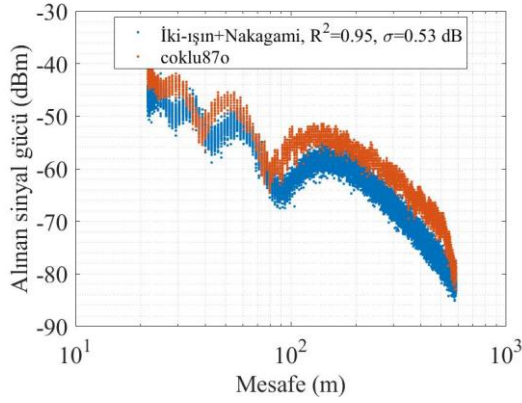
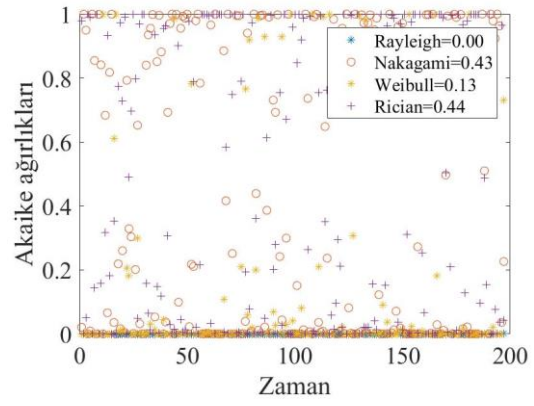
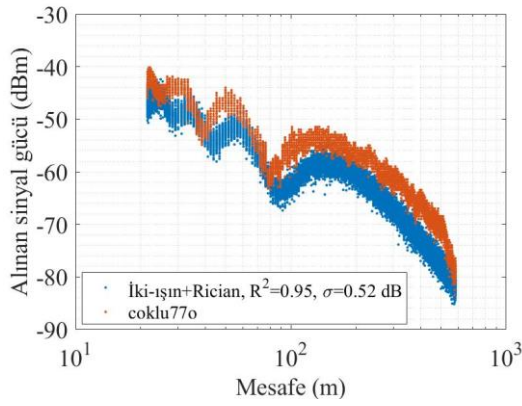
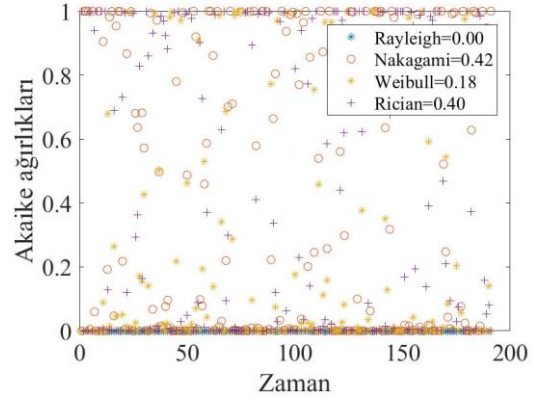
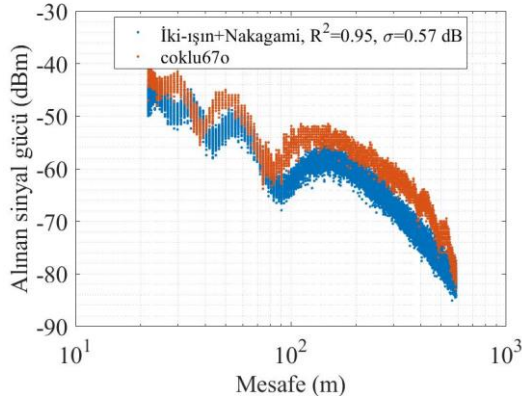
Şekil 53. Çoklu senaryolar ve serbest senaryo veri, model ve AIC ağırlıkları



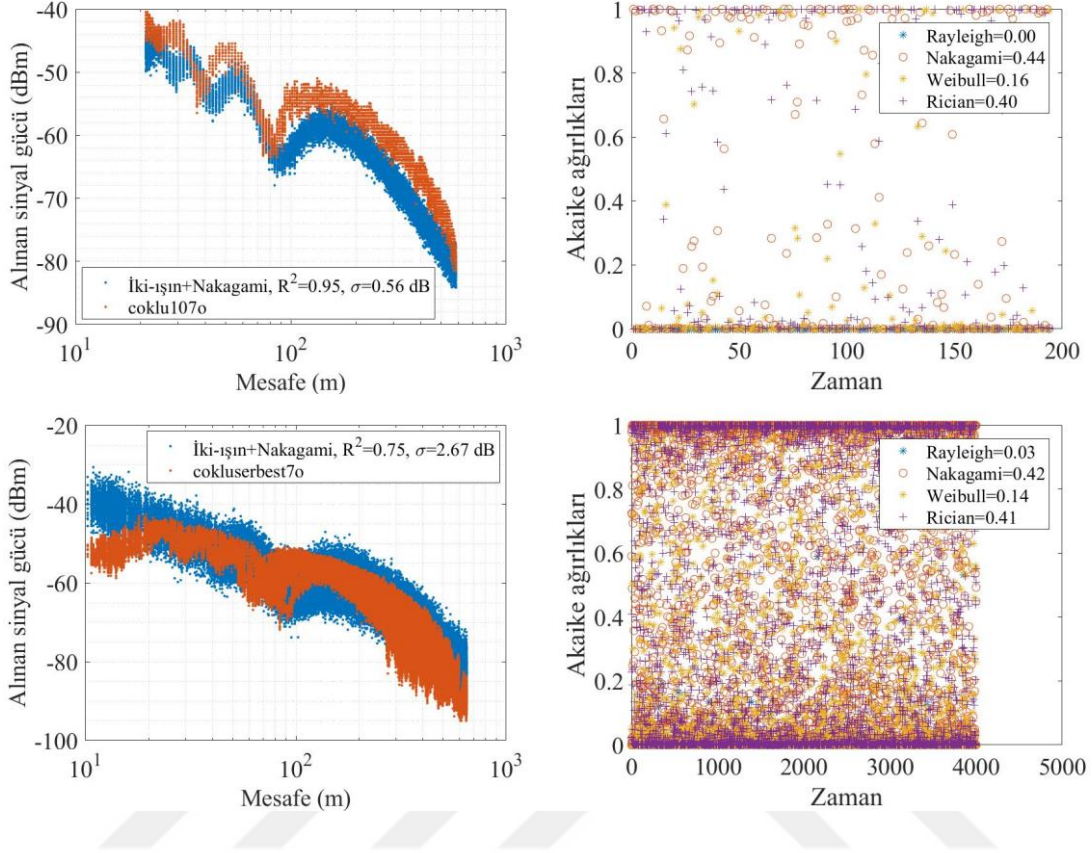
Şekil 53'ün devamı



Şekil 53'ün devamı



Şekil 53'ün devamı



2.3.2. Kent Senaryoları

Kent ölçümleri diğer ortamlara göre çok daha fazla çokyolluluk ve gölgeleme etkisi oluşturacak nesnelere sahiptir. Binaların yüzeyi, binaların köşesi, araya engel olarak giren araçlar, yol kenarındaki levhalar, kaldırımdaki yayalar, trafik işaret ve lambaları, park etmiş araçlar gibi birçok hareketli ve hareketsiz nesne, alıcıya ulaşan sinyallerin değişimine sebep olur. Bu yüzden kent ölçümlerinin daha iyi bir şekilde modellenmesi için daha detaylı ve spesifik çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu tezde yapılan kent ölçümleri sadece ortamın yol kaybı üssünü elde etmek ve ortam yoğunluğunun çokyolluluk etkisini gözlemlemek amacıyla yapılmıştır. Bu ortamda yapılan ölçüm senaryolarının belirlenmesi alınan sinyal gücünün değişimini önemli ölçüde etkilemektedir. Alıcı ve verici araç kent merkezinde aynı yol üzerinde hareket ederken alınan bir ölçümle; araçların farklı sokaklarda hareket etmesiyle araya binaların girmesi durumunda alınan bir ölçüm sonuçları kıyaslanamayacak kadar farklı olmuştur. Kent ortamı ölçümlerinde verici ve alıcı araç mümkün merteye aynı yol üzerinde



kalmaya çalışmıştır. Böylece araya binaların girmemesine dikkat edilmiştir. Kent ortamında gerçekleştirilen ölçümlere örnek bir senaryo Şekil 54’te verilmiştir.

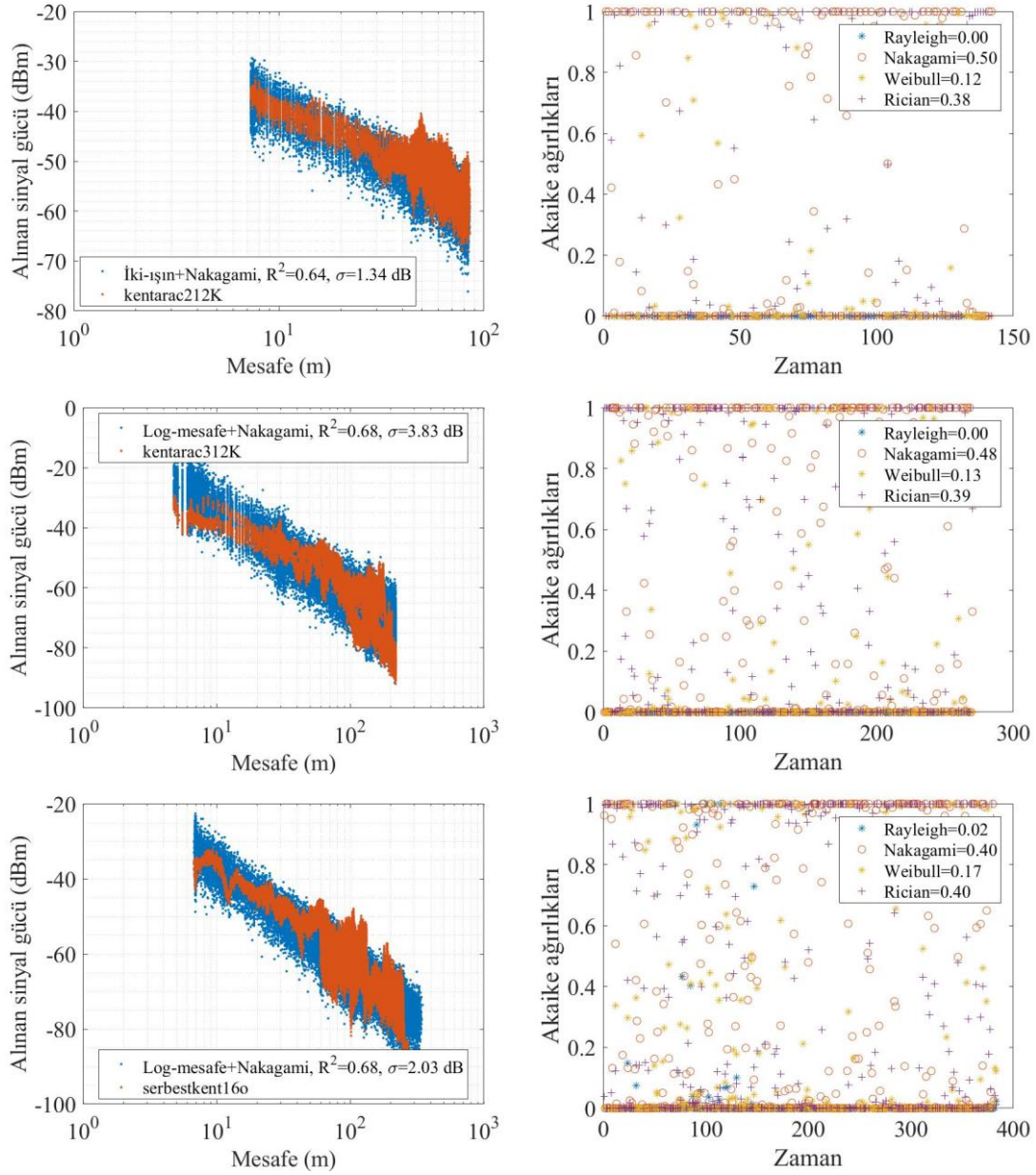


Şekil 54. Kent senaryosu

Kelkit bir ilçe olmasına rağmen, ölçüm yapılan merkezdeki yol diğer birçok şehir merkezindeki yollara şu yönlerden benzerdir; tek yönlü olma, yol boyunca yol kenarında park etmiş arabaların olması, yolun her iki tarafında art arda gelen binaların olması, anayol ve yarıkente göre trafiğin daha yavaş akması, trafik sıkışıklığının daha fazla olması ve kaldırımda yaya yoğunluğunun fazla olması gibi. Ölçüm süresince araçlar-arasında hem direk görüş hattı hem de direk görüş hattının diğer araçlar veya dönüşlerde binalardan dolayı engellendiği olmuştur. Şekil 55’te Kelkit kent ortamında yapılan ölçümlerin modelleme sonuçları verilmiştir. “kentarac2” ölçümünde araçlar diğer ölçümlere göre biraz daha yakın takipte kalmıştır ve aralarında maksimum 90 m mesafe oluşmuştur. “kentarac3” ve “serbestkent” etiketli ölçümlerde ise araçlar-arasındaki mesafe sırasıyla 200 m ve 300 m’ye kadar çıkmıştır. Verici ve alıcı arasına diğer araçların ve/veya binaların engel olarak girdiği anlar, alınan sinyal gücü değerinin alt ve üst sınırlarının genişlediği anlara denk gelmektedir. Bu durum; ilk ölçümde 50 m’den sonra, ikinci ölçümde 100 m’den sonra ve üçüncü ölçümde 60 m’den sonra gerçekleşmiştir. Araya giren engellerin yoğunluğunun hızlı bir şekilde değişmesinden dolayı alınan sinyal gücü değerleri de çok değişkenlik göstermiştir. Araçların birbirini gördüğü ilk ölçümde, iki-ışın yol kaybı modeli daha uygun olmasına rağmen, ikinci



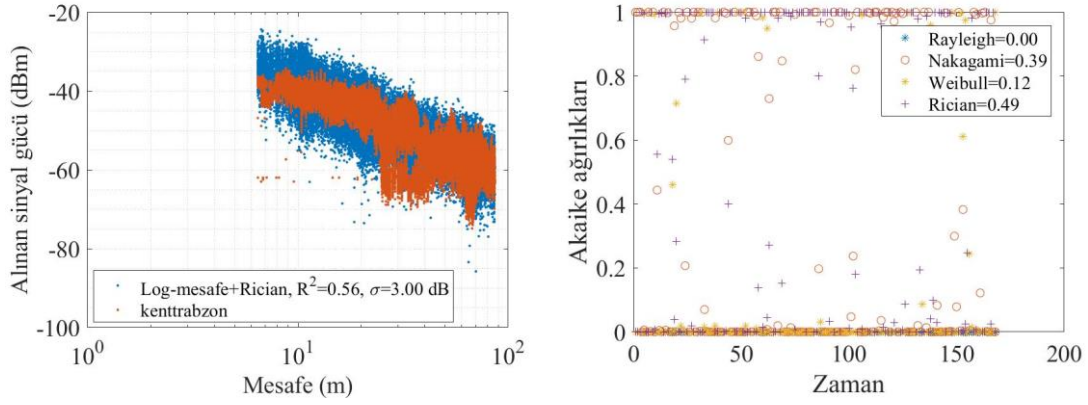
ve üçüncü ölçümde direk görüş hattının yitilmesi ve araya engellerin girmesinden dolayı iki-ışın modelinin genel karakteristiği bozularak log-mesafe modeli daha uygun olmuştur. Modellerin R^2 değerleri ortalama 0.65 civarında hesaplanmıştır. Çokyolluluk ise üç ölçümde de Nakagami-m dağılımı ile modellenmiştir. Araya engeller girdikçe gölgelemenin standart sapması da artmıştır. Bu değer ilk ölçüm için 1.34 dB, ikinci ölçüm için 3.82 dB ve üçüncü ölçüm için ise 2.03 dB olarak elde hesaplanmıştır.



Şekil 55. Kelkit kent ölçümleri veri, model ve AIC ağırlıkları



Trabzon'un kent merkezinde yapılan ölçümün modelleme sonucu Şekil 56'da verilmiştir. Genellikle verici ve alıcı araç birbirini yakın mesafe takip etmiştir. Sokaklardan caddeye dönüşlerde iki kez direk görüş hattı binadan dolayı engellenmiştir. Bu durum alınan sinyal gücünün 25 m ve 65 m'de yaklaşık 15 dB ilaveten zayıflamasına sebep olmuştur. Log-mesafe yol kaybı modeli daha uyumlu çıkmıştır. Model ve veri arasındaki R^2 değeri 0.56 olarak hesaplanmıştır. Gölgelemenin standart sapması 3 dB olarak bulunmuştur. Çokyolluluk etkisi yer yer Nakagami dağılımına uygun çıkmasına rağmen Rician dağılımın Akaike ağırlığı daha yüksek çıktığı için Rician dağılımı ile modellenmiştir.



Şekil 56. Trabzon kent ölçümü veri, model ve AIC ağırlıkları

2.3.3. Yarıkent Senaryoları

Yarıkent ortamı; kente göre daha az yoğun trafik, daha az bina, araç ve nesnelerin olduğu kent merkezinin dışındaki ortamlardır. Yarıkent ortamında iki tür ölçüm yapılmıştır. Birincisi; serbest anayol ölçümlerinde olduğu gibi, verici ve alıcının elips şeklindeki bir rotada, herhangi bir sınırlama olmadan yapılan, serbest yarıkent ölçümüdür. İkincisi ise anayoldaki sabit aynı yön ve zıt yön senaryolarının benzerinin yarıkent ortamında yapılmış halidir. Yani verici araç sabit; alıcı araç ise vericiden uzaklaşmak ve vericiye yakınlaşmak suretiyle, iki farklı şekilde ölçüm yapılmıştır. Yarıkent ortamında gerçekleştirilen serbest senaryolarda araçların izlediği rota Şekil 57'de gösterilmiştir.

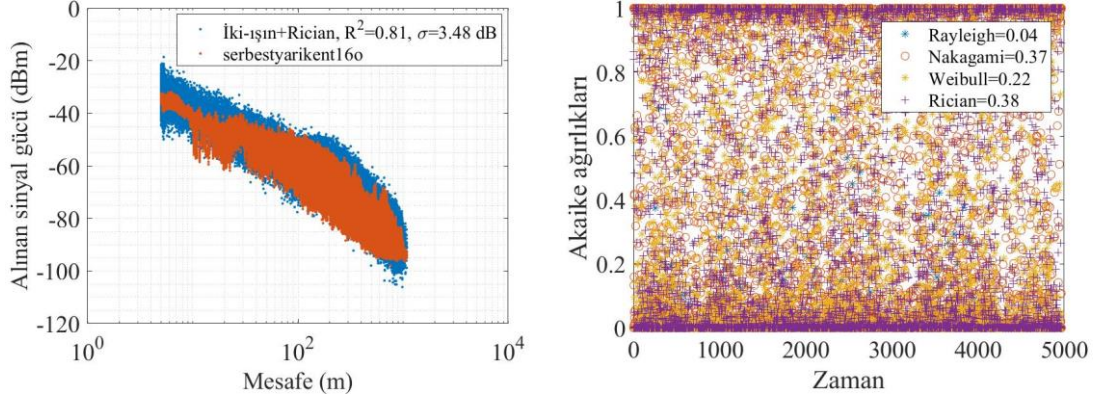




Şekil 57. Yarıkent senaryosu

Serbest yarıkent ölçümü, Kelkit-Erzincan anayolunun Kelkit'in girişine doğru olan ve aralarında refüjün de olduğu 2 gidiş 2 geliş yolda yapılmıştır. Bu yolda, verici ve alıcı araç arasına; araçlar, refüj ve ışıkların da olduğu bir kavşak girmiştir. Refüj de belirli aralıklarla ağaçlar ve bir yaya üst geçidi bulunmaktadır. Ölçüm esnasında verici ve alıcı araç arasındaki mesafe 1000 m'ye kadar ulaşmıştır. Bu yüzden verici ve alıcı araç arasına pek çok engel girmiştir. Bu ölçüme ait sonuçlar Şekil 58'de verilmiştir. Ölçüm verisi için iki-ışın yol kaybı modeli daha uyumlu olmuştur. R^2 değeri 0.81 elde edilirken, gölgelemenin standart sapması 3.48 dB olarak hesaplanmıştır. Çokyolluluk Nakagami-m ve Rician dağılımı ile modellenmişken, diğer ölçümlerden farklı olarak Weibull dağılımı da iyi bir sonuç vermiştir.

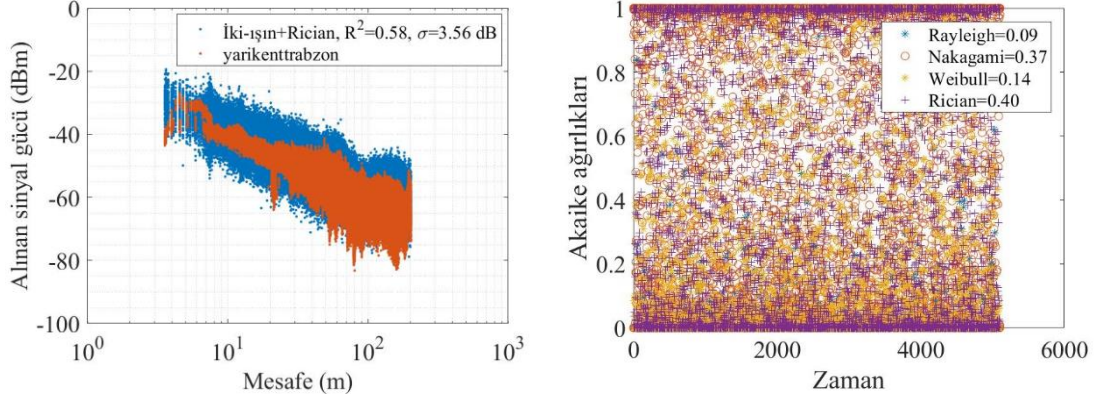




Şekil 58. Kelkit serbest yarıkent veri, model ve AIC ağırlıkları

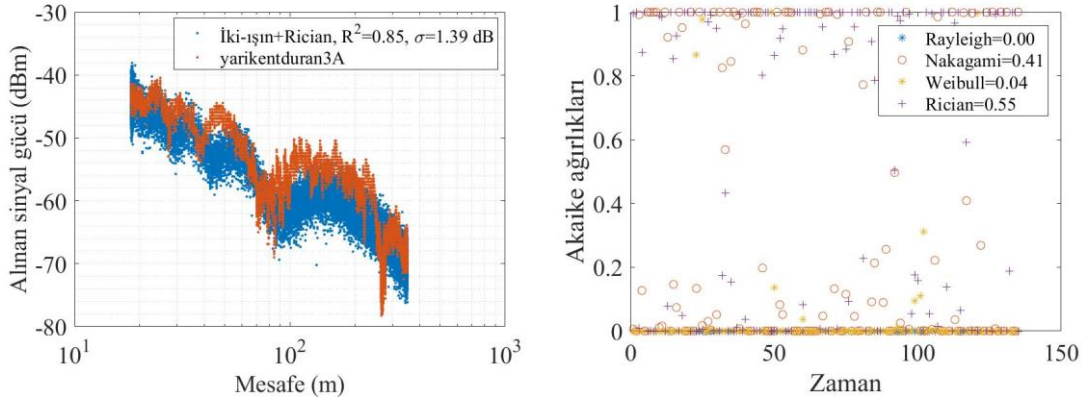
Trabzon’da yapılan yarıkent ölçümü birinci grup yani serbest yarıkent ölçümüdür ve Trabzon’un Beşirli mahallesinde yapılmıştır. Ölçümün yapıldığı ortam Kelkit yarıkent ölçümünün yapıldığı ortama benzemektedir; ancak daha yoğun bir trafik ortamı vardır. Ölçüm esnasında verici ve alıcı araç arasına diğer araçlar, ağaçlar, orta refüjdeki elektrik direkleri gibi birçok nesne girmiş; ortamda ise trafik levhaları, trafik ışıkları, yayalar, binalar, ağaçlar ve yol boyu park etmiş araçlar bulunmaktadır. Ölçüm sonuçları Şekil 59’da verilmiştir. Aynı mesafelerde alınan sinyal gücü oldukça farklılık göstermektedir. Örneğin, 80 m mesafelerde alınan sinyal gücü -55 dBm ile -75 dBm arasında değişmektedir. Bunun sebebi, bazı durumlarda verici ve alıcı araç arasında direk görüş hattı varken, bazı durumlarda da aralarına araç ve ağaç gibi diğer nesnelerin girmesiyle bu direk görüş hattının engellenmesidir. Yol kaybı modeli olarak iki-ışın modeli ölçüme uygun çıkmıştır. Çokyolluluk etkisi, Rician ve Nakagami-m dağılımlarının her ikisiyle de modellenabilir. Gölgelemenin standart sapması ise 3.56 dB olarak hesaplanmıştır. Ölçüme uydurulan modelin R^2 değeri 0.58 olarak elde edilmiştir.





Şekil 59. Trabzon yarıkent veri, model ve AIC ağırlıkları

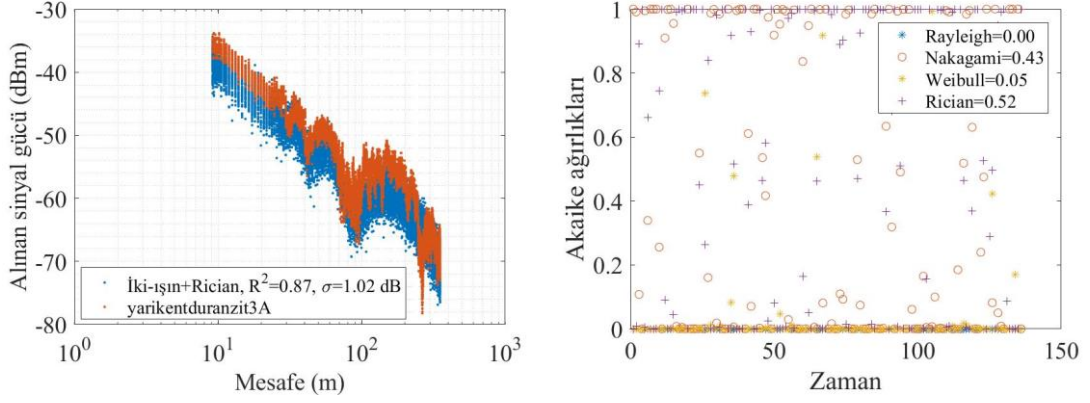
Kelkit'te yarıkente yapılan diğer ölçümler aynı ve zıt yönde yapılan sabit ölçümlerdir. Verici araç sabitken, alıcı araç hem verici araca doğru hem de verici araçtan uzaklaşarak farklı iki ölçüm alınmıştır. Bu ölçümün sonuçları Şekil 60'ta verilmiştir. Her iki ölçüm sonucu da iki-ışın yol kaybı modeline uyum sağlamıştır. R^2 değerleri 0.85 civarında elde edilmiştir. Aynı yön senaryosu için çokyolluluk Rician dağılımı ile modellenirken, zıt yön için Nakagami-m dağılımı ile modellenmiştir.



Şekil 60. Kelkit sabit yarıkent veri, model ve AIC ağırlıkları



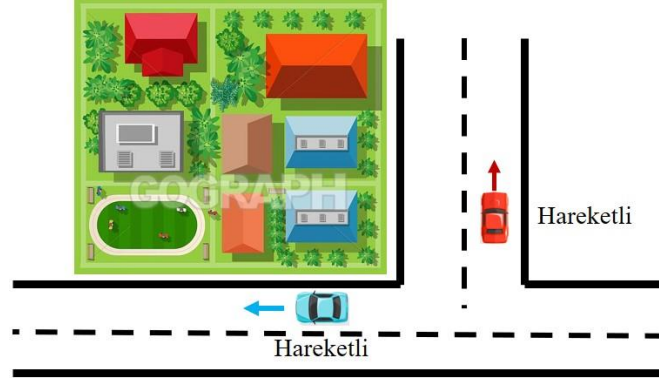
Şekil 60'ın devamı



2.3.4. Bina Senaryoları

Bina senaryoları Kelkit yarıkent ortamında gerçekleştirilmiştir. Ancak ölçüm senaryosu açısından tamamen farklı olduğu için ayrı bir sınıf olarak ele alınmıştır. Bu senaryolarda, verici ve alıcı araç “V” veya “L” şeklinde kesişen yollarda ilerlerken aralarına giderek artan yoğunlukta bina girmiştir. Bu ölçümlerin amacı; verici ve alıcı arasına giren binaların alınan sinyal gücünü ne oranda etkilediğini ortaya çıkarmaktır. Bu senaryolar “bina” olarak etiketlenmiştir. Bina senaryolarında, trafiğin hemen hemen hiç olmadığı cadde ve sokaklarda, verici ve alıcının genelde birbirini araya giren binalardan dolayı görmediği ölçümler gerçekleştirilmiştir. Sadece yolların kesiştiği başlangıç noktasında, kısa bir süre iki araç arasında direk görüş hattı vardır. Bina ölçüm senaryolarında verici ve alıcı aracın izlediği rota Şekil 61’de gösterilmiştir.

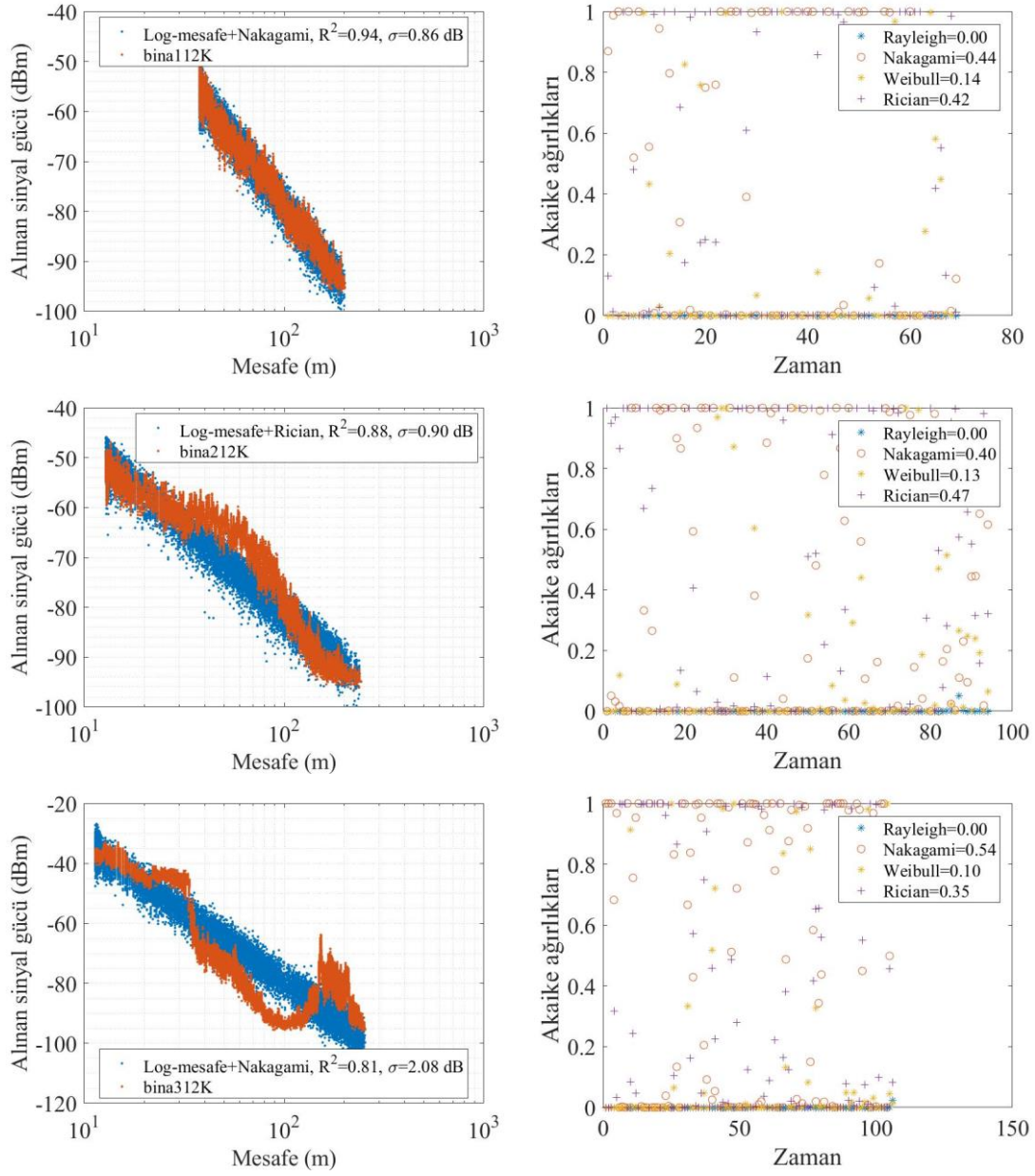




Şekil 61. Bina ölçüm senaryoları

Bina senaryo ölçümlerinin sonuçları Şekil 62’de paylaşılmıştır. Yarıkent ortamlarda arada bina olduğu zaman log-mesafe yol kaybı modeli daha iyi uyum sağlamaktadır. Anayol ortamında 1000 metreyi aşan haberleşme mesafesi, verici ve alıcı araç arasında binaların girmesi durumunda maksimum 200-250 m’lere kadar düşmüştür. Bina112K, bina212K ve bina612K gibi ölçümlerde, verici ve alıcı araç arasındaki bina yoğunluğu araçlar ilerledikçe artmaktadır. Bina312K ve bina2160 gibi senaryolarda ise ölçüm başlangıcında veya ortalarında bina yoğunluğu azalmakta veya araçlar-arasında direk görüş hattı oluşmaktadır. Bu nedenle, ilk bahsi geçen senaryolar log-mesafe yol kaybına paralel bir şekilde ilerlerken; sonrakilerde log-mesafe yol kaybı modelinden sapmaların olduğu anlar oluşmuştur. Ölçümlerin hepsinde log-mesafe yol kaybı modeli daha uygun çıkmıştır. Çokyolluluk, Nakagami-m ve Rician dağılımları ile modellenirken; üç dört ölçüm sonucunun çokyolluluk etkisi için Weibull dağılımının AIC ağırlık değerleri de yüksek çıkmıştır. Modellerin R^2 değerleri ortalama 0.88 civarında iken, gölgelemenin standart sapması 0.8 ile 2.08 dB arasında değişmiştir.

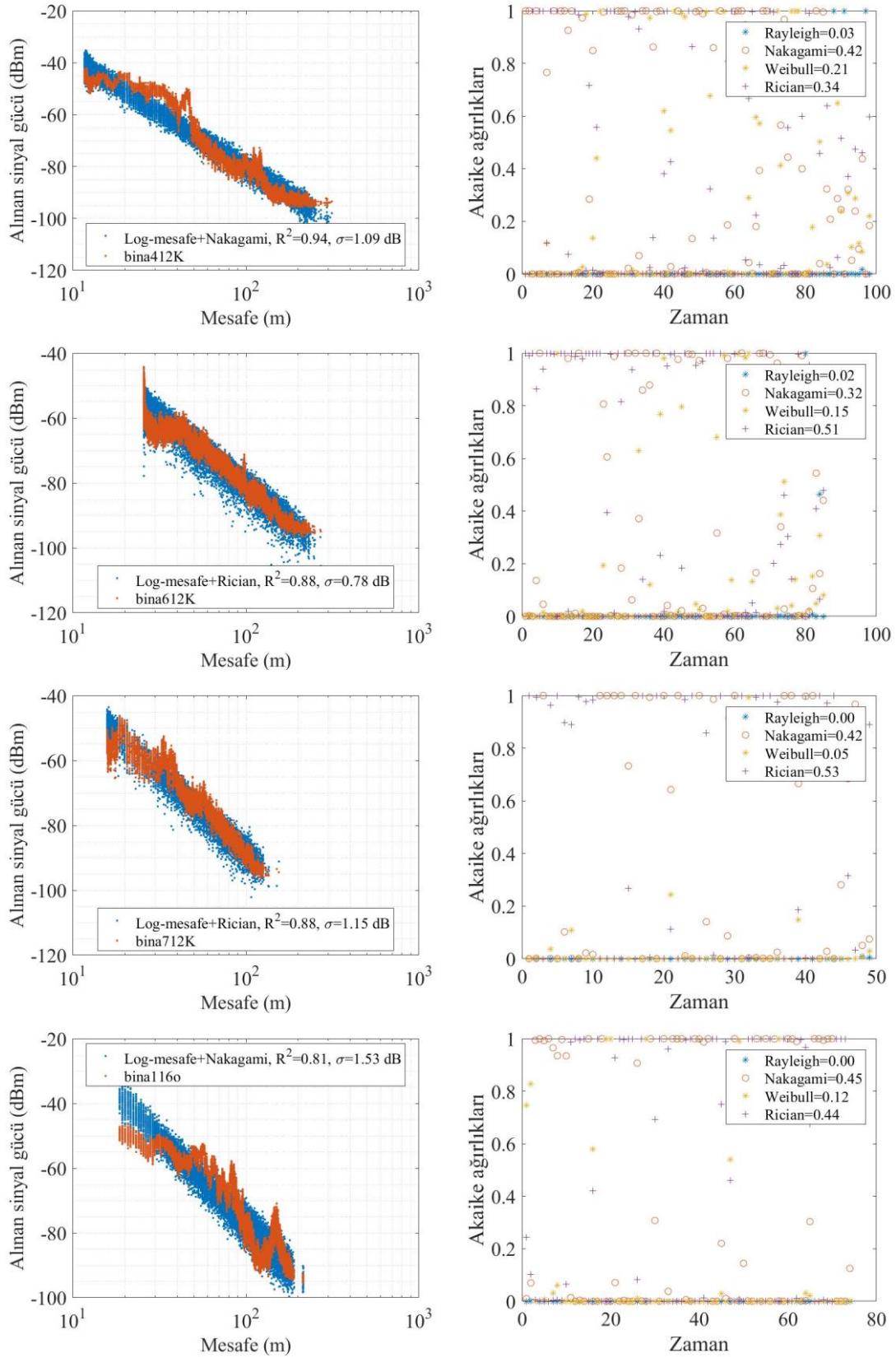




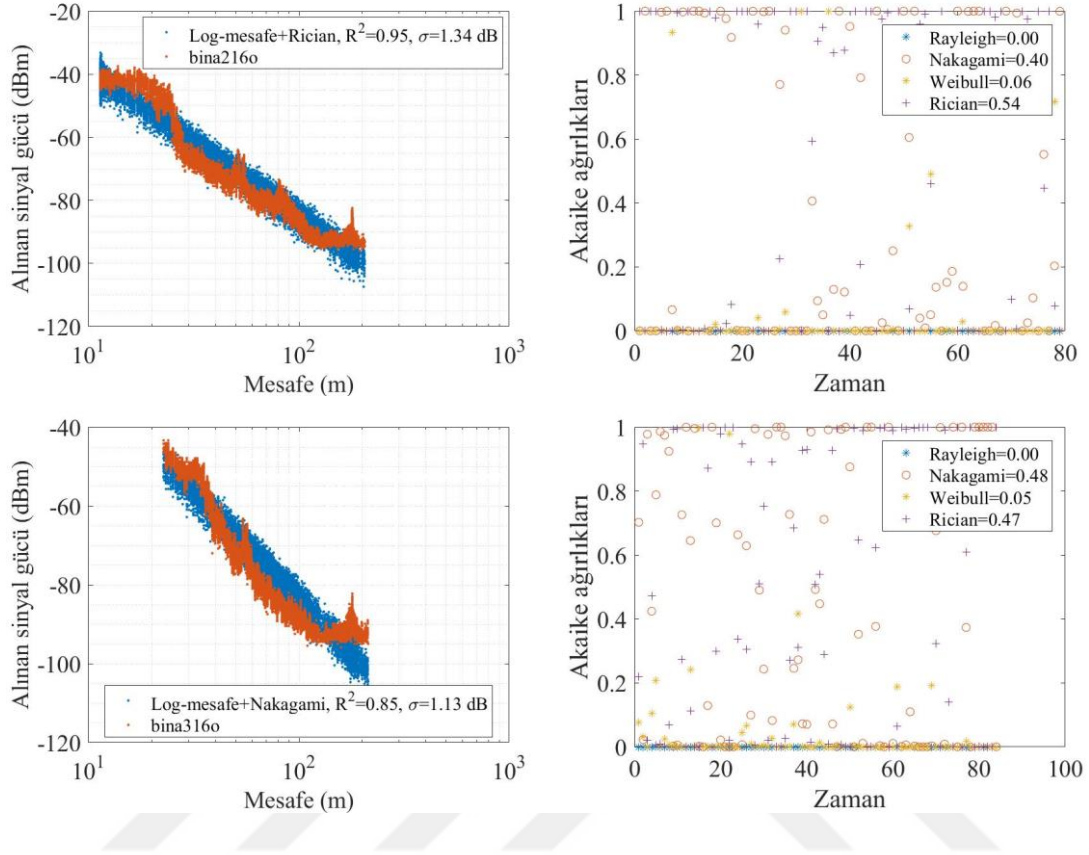
Şekil 62. Bina senaryolarının veri, model ve AIC ağırlıkları



Şekil 62'nin devamı



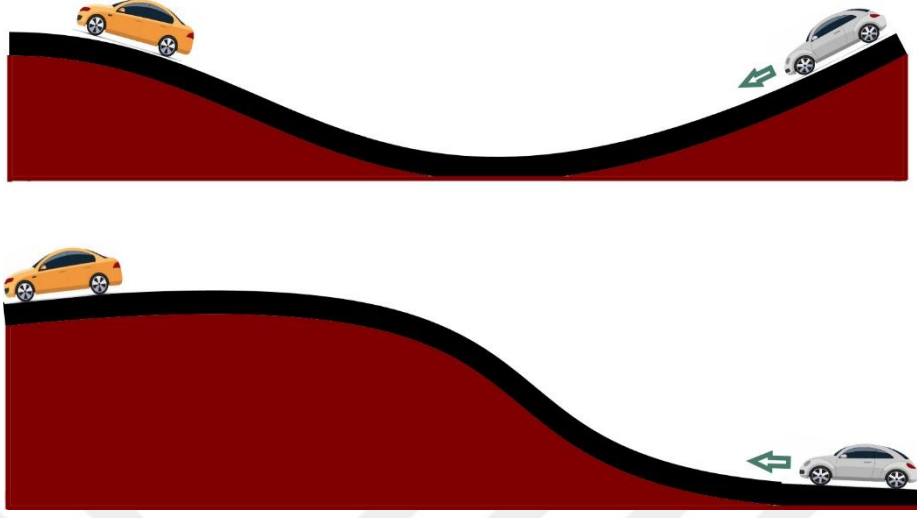
Şekil 62'nin devamı



2.3.5. Kırsal Senaryoları

Kırsal ortamlar daha çok şehirden uzak trafiğin olmadığı, yol yapısının anayol ortamlarına göre daha bozuk, çoğunlukla bir veya iki şeritli, etrafında yer yer ağaçların olduğu ortamlardır. Bu ortamlarda yol yapısı düz olduğunda anayol ortamlarına benzer sonuçlar elde edilmiştir. Burada ele alınan kırsal senaryo ölçümleri özellikle yol yapısının anayol ortamlarından farklılık gösterdiği eğimli yollarda yapılmıştır. Bu eğimli yol yapılarında yapılan ölçüm senaryoları çukur ve tümsek olarak adlandırılmıştır. Şekil 63'te kırsal ortamdaki eğimli yollarda gerçekleştirilen çukur ve tümsek ölçüm senaryoları ve verici ve alıcı aracın konumları gösterilmiştir.

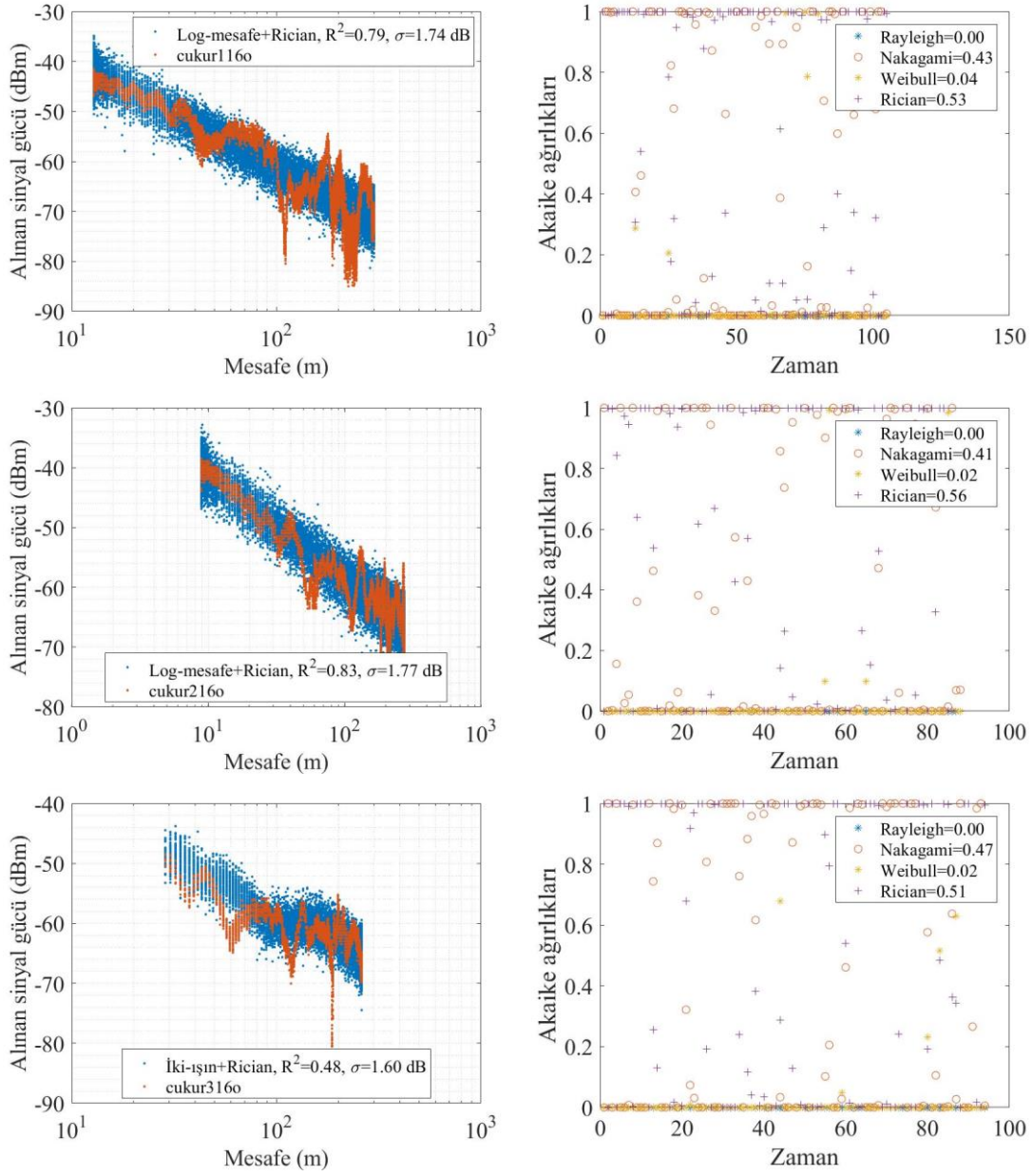




Şekil 63. Eğimli yollardaki çukur ve tümsek ölçüm senaryoları

Kelkit-Bayburt arasındaki kırsal bir ortamda, verici araç sabitken alıcı aracın giderek çukurlaşırıp tekrar düzleşen bir yolda hareket etmesiyle yapılan ölçüm senaryoları “çukur” senaryolar olarak adlandırılmıştır. Çukur senaryolarda yapılan ölçümlerin birincisi farklı bir çukur yolda yapılırken, ortamın trafik açısından tehlikeli olmasından dolayı diğer dört senaryo daha müsait bir çukur ortamında gerçekleştirilmiştir. Ölçümler esnasında, araçlar arasındaki direkt görüş nadiren başka bir araç tarafından engellenmiştir. Birinci, ikinci ve dördüncü ölçümlerde alıcı araç vericiyle aynı yönde ve ondan uzaklaşarak ölçümler yapılırken; üçüncü ve beşinci ölçümlerde, alıcı araç vericiye göre zıt yönde ve ona yaklaşarak ölçüm yapılmıştır. Aynı yönde yapılan ölçümlerin R^2 değeri ortalama 0.85; zıt yönlerinki ise ortalama 0.65 olarak hesaplanmıştır. Gölgelemenin standart sapma ortalaması 1.7 dB’dir. Çokyolluluk etkisi için aynı yönlerde Nakagami-m ve zıt yönlerde Rician dağılımlarının modelleri daha uygun çıkmıştır.

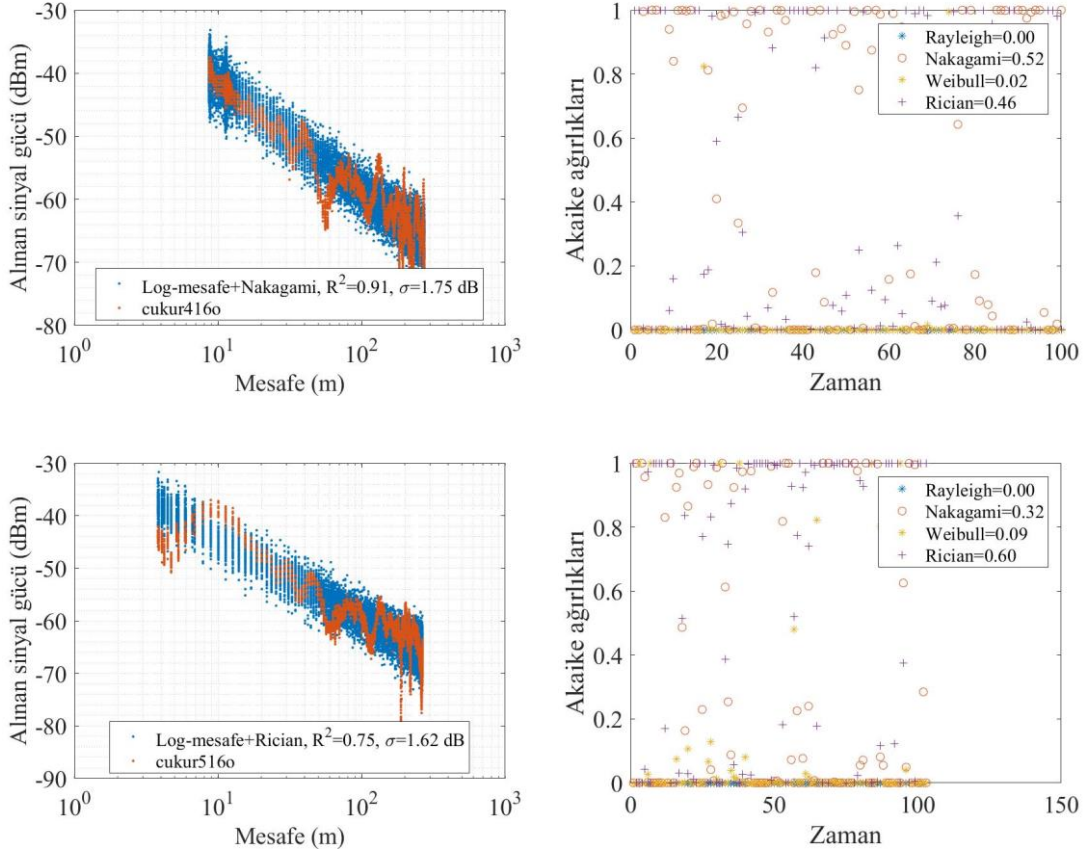




Şekil 64. Çukur senaryoları veri, model ve AIC ağırlıkları

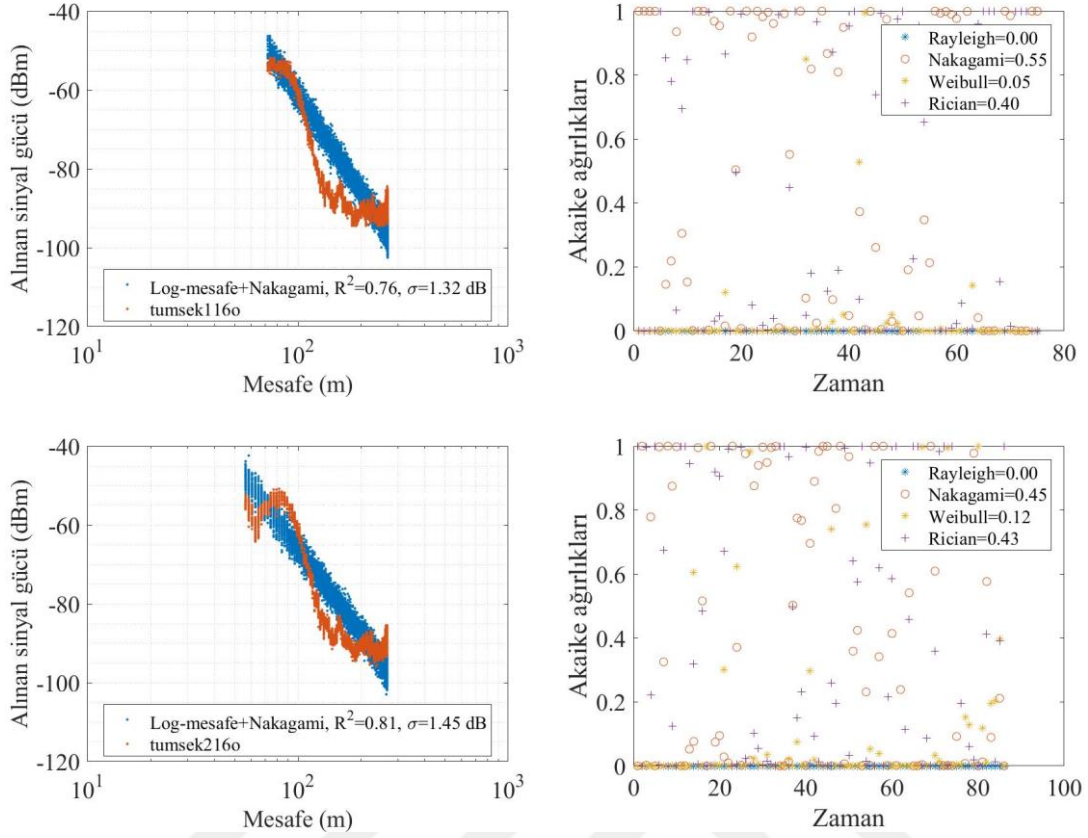


Şekil 64'ün devamı



Kelkit-Bayburt yolunda, kırsal bir ortamda, verici ve alıcı araç arasında yolun tümsek şeklindeki eğimli kısmı alınarak yapılan ölçümlere “tümsek” etiketi verilmiştir. Bu ölçümlerde verici araç yolun düz kısmında sabit olarak dururken, alıcı araç verici araca doğru aynı yönde ve yolun çukur kısmından başlayarak ilerlemiştir. Ölçüm sonuçları, log-mesafe yol kaybı ile modellenmiş; R^2 değerleri ortalama 0.8 civarında bulunmuştur. Tümsek ölçümleri, verici ve alıcı arasında giren tümsek yol ve altındaki toprak parçasının alınan sinyal gücünü 25-30 dB düşürdüğünü göstermiştir.



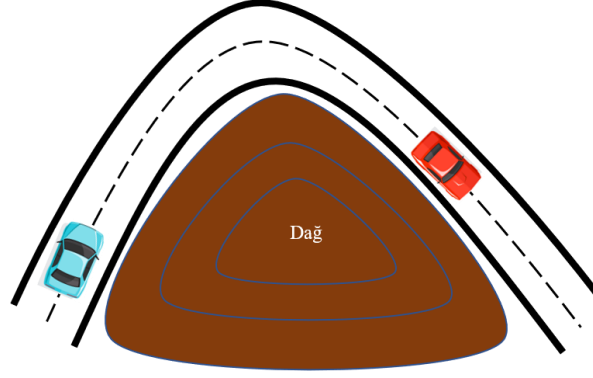


Şekil 65. Tümsek senaryoları veri, model ve AIC ağırlıkları

2.3.6. Dağ Senaryoları

Kelkit-Erzincan anayolunun virajlı yollarında verici ve alıcı araç arasında dağ eteklerinin girmesiyle elde edilen senaryolar “dağ” olarak etiketlenmiştir. Dağ senaryolarında araçlar-arasında direk görüş hattı varken, alıcı araç verici araçla aynı yönde ve ondan uzaklaşarak ilerlemiştir. Alıcı araç ilk virajı döndükten sonra araya dağın eteği girmiş ve sinyal kesilene kadar alıcı araç ilerlemeye devam etmiştir. Sinyal kesilince ölçüm sonlandırılmıştır. Daha sonra alıcı araç bulunduğu konumda sabit kalırken, verici araç ona doğru yaklaşmıştır. Bu şekilde bir alıcı araç hareketli, verici araç sabit; bir alıcı araç sabit, verici araç hareketli olmak üzere toplam dokuz ölçüm alınmıştır. Bu ölçümlerde dağın dört farklı bölgesindeki etekleri araya engel olarak girmiştir. Dağ senaryolarında verici ve alıcı aracın konumları Şekil 66’da gösterilmiştir.

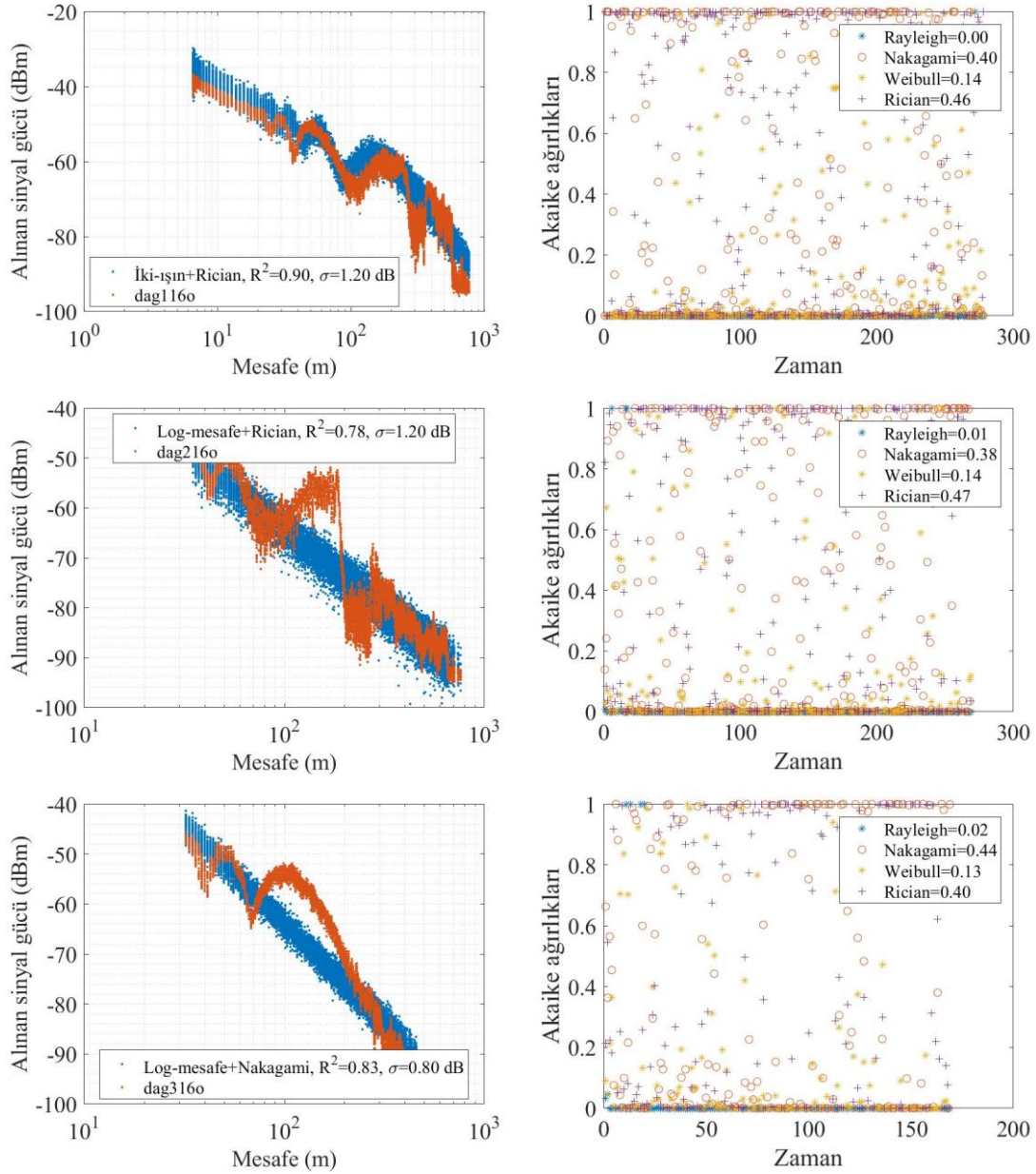




Şekil 66. Dağ senaryoları

Ölçüm sonuçlarında ani düşüşlerin olduğu noktalar araya dağın eteklerinin girdiği noktalardır. Örneğin; birinci ölçümde (dag1) 250 m civarında, ikinci ölçümde (dag2) 200 m civarında sinyal gücünde ani düşüş olmuştur. Alınan sinyal gücü, dag1 ölçümünde -60 dBm'den -80 dBm'e düşerken, dag2 ölçümünde -55 dBm'den -85 dBm'e düşmüştür. Diğer ölçüm sonuçları da ele alındığında, dağ eteğinin araya girmesinden dolayı ortalama 20-25 dBm bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca dağ ortamında verici ve alıcı arasında kot farkının olduğu iniş-çıkış senaryolarında anten kazancının değişmesinden dolayı sonuçlar düz bir yolda yapılanlardan farklı çıkmıştır. Alınan sinyal gücünde oluşan tepe ve çukurların derinliği bu ölçümlerde artmıştır. Birinci ölçüm hariç diğer tüm ölçümler log-mesafe yol kaybı ile modellenmiştir. Birinci ölçümün iki-ışın çıkmasının sebebi, dağ etkisinin olduğu ölçüm anının 300 m'deki az bir veriye denk gelmesidir. Yani ölçümün çoğunluk verisinin direk görüş hattından elde edilmiştir. Çokyolluluk Nakagami-m ve Rician dağılımı ile modellenmiştir. Modellerin ortalama R^2 değeri 0.8 civarındadır.

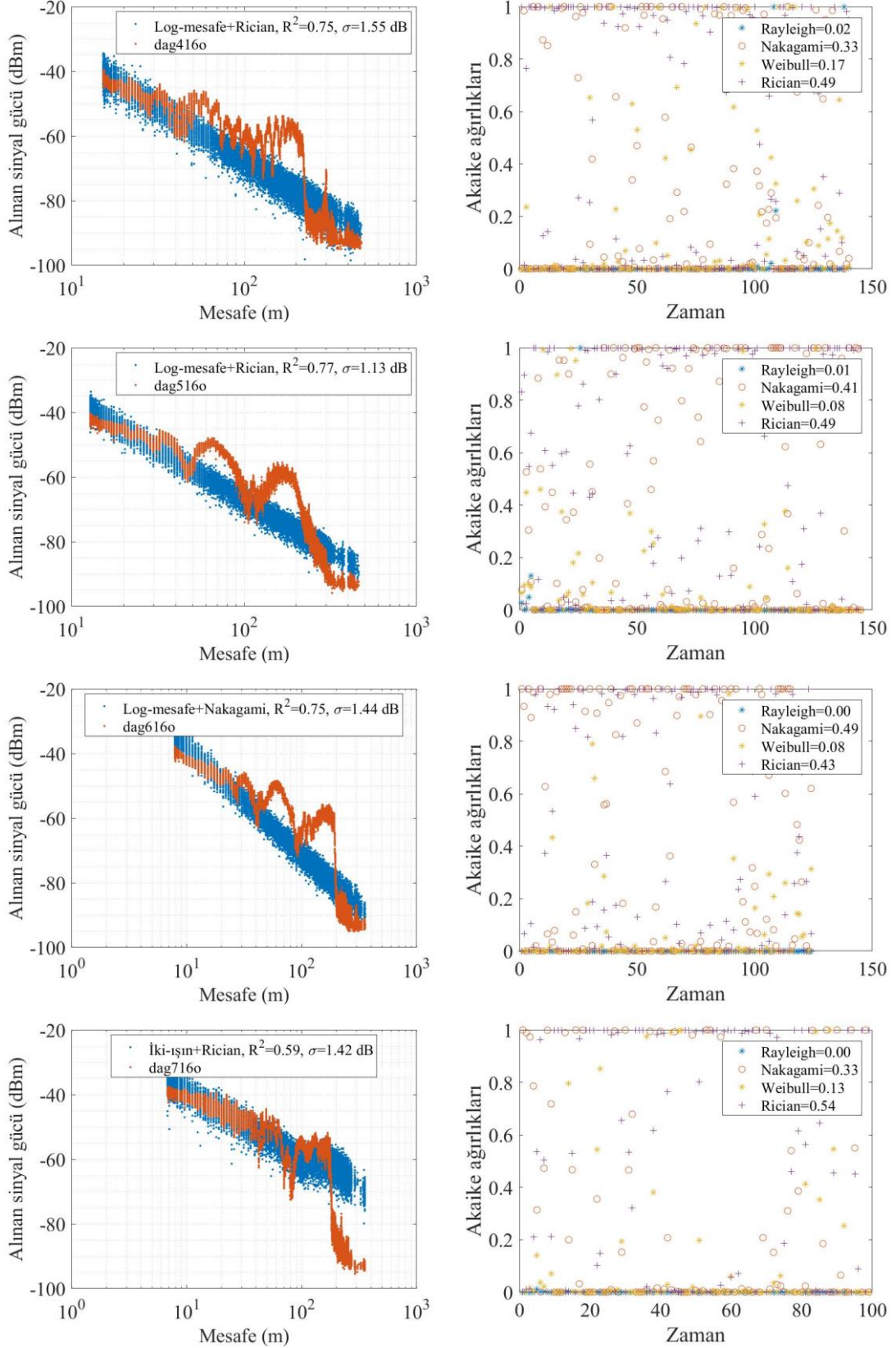




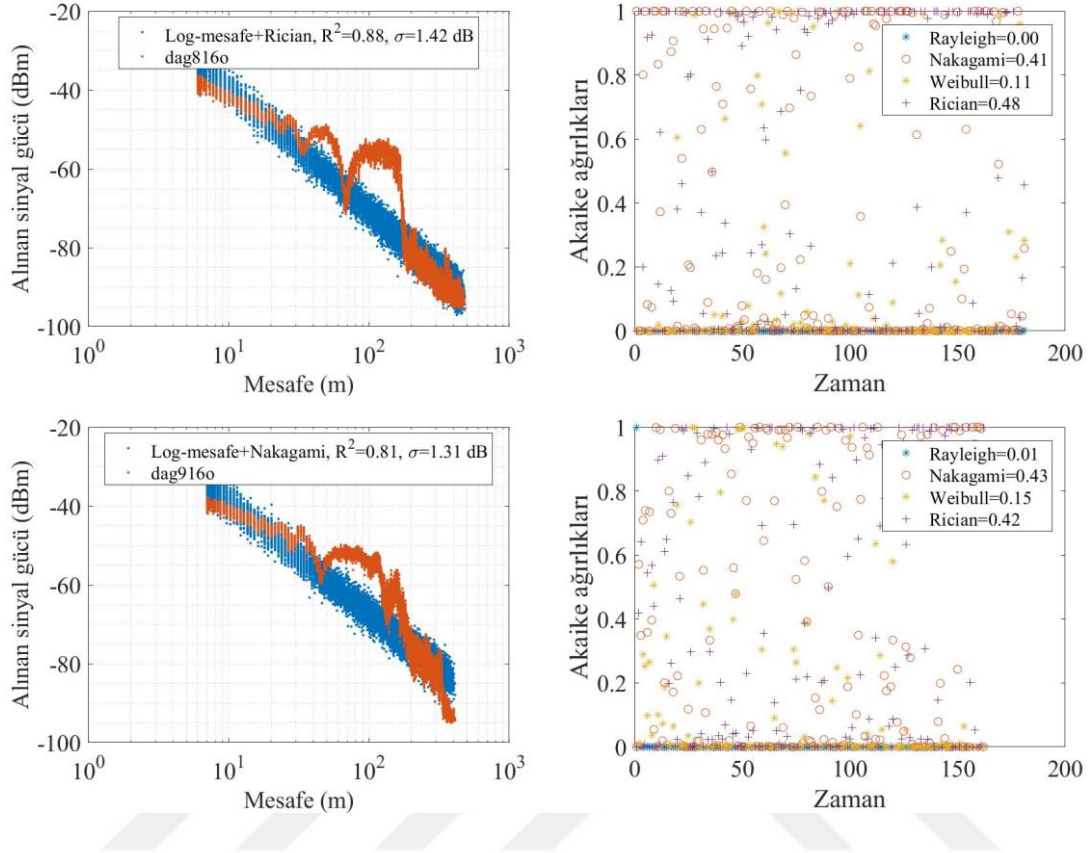
Şekil 67. Dağ senaryoları veri, model ve AIC ağırlıkları



Şekil 67'nin devamı



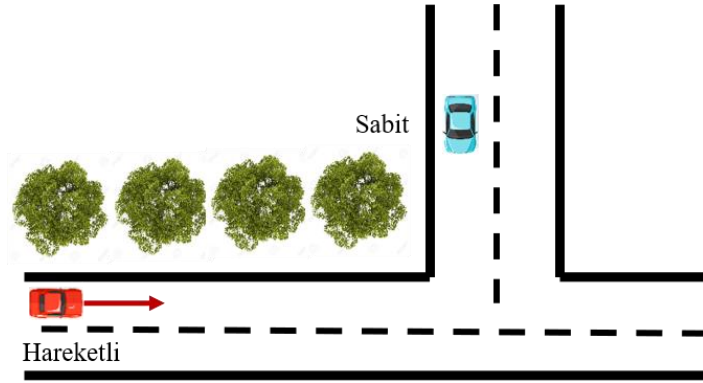
Şekil 67'nin devamı



2.3.7. Ağaç Senaryoları

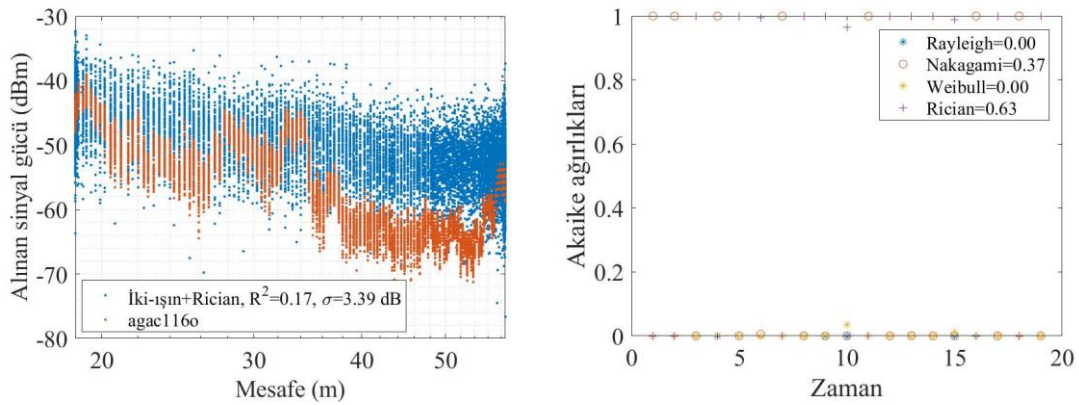
Ağaç senaryoları iki gruba ayrılmıştır; sabit ve serbest. Sabit ölçümler, Kelkit'te kırsal bir ortamda bulunan bir dizi ağacın verici ve alıcı araç arasında engel olarak girmesiyle yapılmıştır. Ölçüm senaryosunda, verici araç sabit; alıcı araç ise verici araca doğru yaklaşmıştır. Şekil 68'de sabit ağaç senaryosu ve araçların konumları gösterilmiştir.





Şekil 68. Sabit ağaç senaryosu

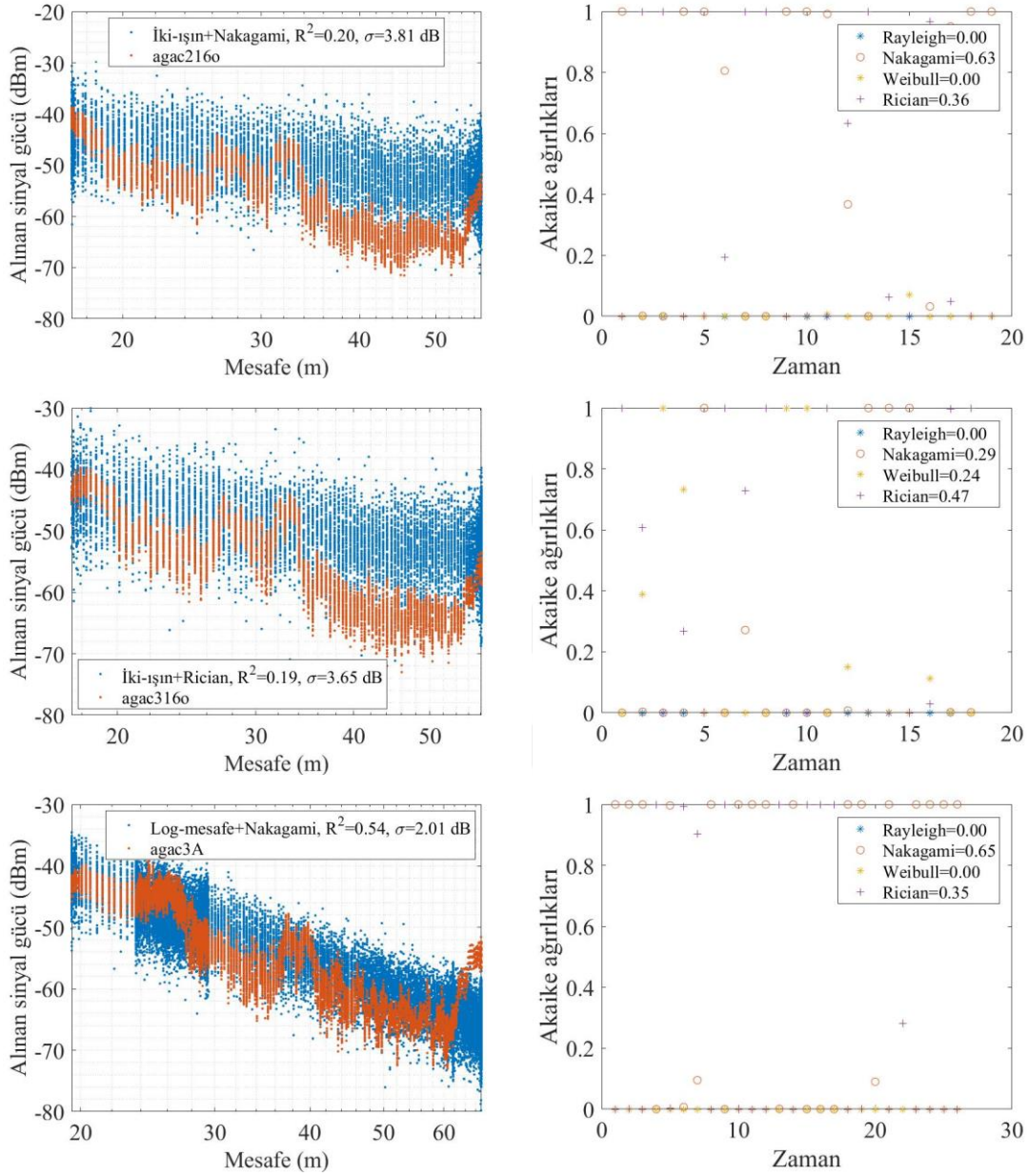
Modelleme sonuçları Şekil 69’da verilmiştir. Ölçüm başlangıcında araçların arasında 60 m gibi kısa mesafede bir dizi sıralı ağaç vardır. Alıcı araç çok düşük hızlarda vericiye doğru yaklaşarak, aralarında ağaç kalmayınca ölçüm sonlandırılmıştır. Verici ve alıcı arasındaki ağaç yoğunluğuna bağlı olarak alınan sinyal gücünün 5–10 dB arasında düştüğü gözlemlenmiştir. Çokyolluluk Nakagami-m dağılımı ile modellenmiştir. 3 aralık ölçümü log-mesafe modeline, diğer ölçümler iki-ışın modeline daha uygun çıkmıştır. Modellerin R^2 değerleri tüm ölçümlerin en düşük değerleridir ve 0.2 – 0.5 arasında değişmektedir.



Şekil 69. Kelkit sabit ağaç senaryoları veri, model ve AIC ağırlıkları

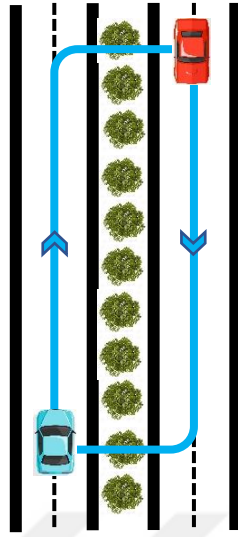


Şekil 69'un devamı



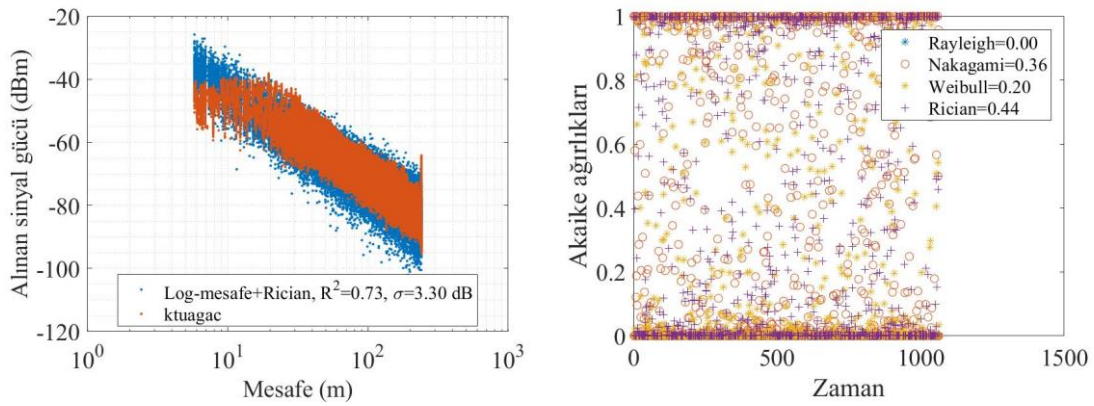
Ağaç senaryolarının serbest ölçümleri Trabzon Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde yapılmıştır. Verici ve alıcı araç, kampüs içerisinde farklı iki gidiş-geliş yolunda, birbirine zıt ve maksimum mesafede konumlandırılarak ölçümler başlatılmıştır. Ölçüm süresince araçlar düşük hızlarda hareket ederek elips şeklinde bir güzergah izlenmiştir. Araçlar-arasına refüjdeki yoğun çeşitli ağaçlar girmiş ve direk görüş hattı olmamıştır. Şekil 70'te serbest ağaç senaryosu ve araçların izlediği rota gösterilmiştir.





Şekil 70. Serbest ağaç senaryosu

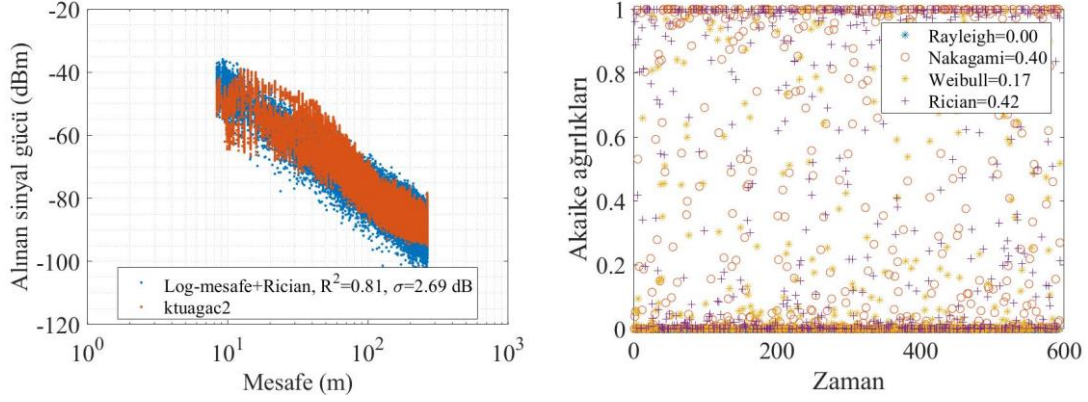
Modelleme sonuçları Şekil 71’de verilmiştir. Ölçümler log-mesafe yol kaybı ile modellenmiş ve gölgelemenin standart sapması ortalama 3 dB olarak hesaplanmıştır. Çokyolluluk etkisi Rician dağılımı ile modellenmiştir ancak Nakagami-m ve Weibull dağılımlarının uyumluluğu da yüksek çıkmıştır. Modellerin R^2 değeri ortalama 0.75 olarak elde edilmiştir.



Şekil 71. Trabzon serbest ağaç senaryoları veri, model ve AIC ağırlıkları



Şekil 71'in devamı



2.4. Ölçümlerin Sayısal Sonuçları

Literatürde araçlar-arası haberleşme kanalı ölçüm çalışmalarının birçoğunda, ölçüm sonuçları yol kaybı üssü parametre değeri verilmiştir. Bu nedenle, bu tez kapsamında yapmış olduğumuz tüm ölçümleri log-mesafe yol kaybına uydurarak; n , d_0 ve PL_{d0} parametrelerinin değerleri elde edilmiştir. Her bir senaryoya ait bu parametre değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Senaryoların n , d_0 ve PL_{d0} parametreleri

No	Senaryo	n	d_0	PL_{d0}
1	agac116o	3.18	21.70	75.00
2	agac216o	3.02	20.85	75.76
3	agac316o	3.86	17.48	70.22
4	agac3A	4.52	20.33	68.00
5	agactum16o	3.31	21.70	75.00
6	altmiskm12K	1.74	44.64	78.32
7	anayoltrabzon	1.62	99.43	92.89
8	anayoltrabzonldk	2.14	9.72	63.01
9	anteniceride116o	1.79	15.01	96.44
10	anteniceride216o	1.67	10.60	94.84
11	anteniceride316o	1.52	17.93	99.60
12	anteniceridetum16o	1.67	10.60	94.84
13	ayniyon116o	1.61	10.68	67.38
14	ayniyon216o	1.62	10.38	67.32



Tablo 6'nın devamı

15	ayniyon316o	1.64	10.86	67.19
16	ayniyon3A	1.46	11.63	67.85
17	ayniyontum16o	1.61	10.42	67.28
18	bina112K	5.38	60.78	92.90
19	bina116o	5.32	34.87	78.32
20	bina212K	3.41	13.56	77.05
21	bina216o	4.67	11.97	67.60
22	bina312K	4.63	11.63	61.77
23	bina316o	5.43	23.55	75.32
24	bina412K	4.18	40.83	89.73
25	bina612K	4.30	91.89	104.87
26	bina712K	4.86	22.70	82.50
27	ciftanten116o	1.61	10.68	67.38
28	ciftanten12K	1.76	8.78	66.23
29	ciftanten216o	1.58	10.38	67.32
30	ciftanten316o	1.64	10.86	67.19
31	ciftanten3A	1.43	12.11	68.11
32	ciftantentum16o	1.61	10.42	67.28
33	coklu107o	1.97	33.01	72.44
34	coklu17o	1.81	91.29	80.67
35	coklu27o	2.10	67.87	78.84
36	coklu37o	1.81	24.59	70.29
37	coklu47o	1.99	65.39	78.22
38	coklu57o	1.92	33.86	72.71
39	coklu67o	2.03	95.44	81.90
40	coklu77o	2.03	98.82	81.97
41	coklu87o	1.98	27.25	70.60
42	coklu97o	2.03	65.80	78.51
43	cokluserbest7o	2.08	19.39	71.93
44	coklutum7o	2.00	98.82	81.97
45	cukur116o	2.12	16.53	70.35
46	cukur216o	1.75	8.93	66.01
47	cukur316o	1.28	39.49	79.89
48	cukur416o	1.73	11.14	68.13
49	cukur516o	1.49	6.87	67.91
50	cukurtum16o	1.79	91.27	84.50
51	dag116o	2.25	7.07	64.55
52	dag216o	3.15	99.02	89.79
53	dag316o	3.93	45.41	76.27
54	dag416o	3.27	19.20	69.88
55	dag516o	3.16	20.33	71.09



Tablo 6'nın devamı

56	dag616o	3.31	16.30	71.01
57	dag716o	3.04	13.13	68.01
58	dag816o	3.14	15.09	70.66
59	dag916o	2.81	14.29	69.10
60	dagcikis12K	2.34	76.72	80.21
61	dagcikis212K	1.81	15.41	69.11
62	dagcikis312K	1.78	34.29	73.37
63	dagdik12K	1.76	6.34	61.64
64	daginis12K	2.01	96.25	81.63
65	daginis212K	1.82	99.74	82.53
66	dagserbest16o	2.14	7.67	66.02
67	dagtum16o	3.04	15.49	68.19
68	duran503A	1.44	10.87	66.57
69	duranhiz1003A	1.34	28.17	74.75
70	duranhiz503A	1.48	21.91	72.85
71	gunesli23A	1.99	64.09	80.70
72	gunesli3A	1.92	66.32	80.51
73	hiz20116o	1.52	11.93	69.37
74	hiz20216o	1.55	14.33	70.48
75	hiz20316o	1.50	9.20	67.48
76	hiz20tum16o	1.52	11.82	69.30
77	hizartan116o	1.61	10.68	67.38
78	hizartan216o	1.62	10.38	67.32
79	hizartan316o	1.64	10.86	67.19
80	hizartantum16o	1.61	10.42	67.28
81	kar412K	1.56	16.20	73.08
82	kar512K	2.01	35.33	74.59
83	karzit12K	1.81	13.95	67.68
84	kentarac212K	1.95	19.91	70.38
85	kentarac312K	2.94	8.58	57.21
86	kenttrabzon	2.27	63.90	82.70
87	kosekelkitayni16o	1.89	10.49	66.98
88	kosekelkitzit16o	2.05	50.21	79.46
89	ktuagac	2.82	9.31	68.81
90	ktuagac2	3.11	8.48	69.59
91	serbestkapiocesil6o	1.31	13.40	71.11
92	serbestkapisonrasi16o	1.90	4.81	60.91
93	serbestkent16o	2.69	8.35	60.01
94	serbestkose16o	2.18	9.01	64.00
95	serbestyarikent16o	2.52	6.67	59.90
96	tekanten116o	1.63	10.26	71.69



Tablo 6'nın devamı

97	tekanten12K	1.65	5.82	71.12
98	tekanten216o	1.62	10.27	71.92
99	tekanten316o	1.64	10.29	71.55
100	tekanten3A	1.47	10.57	71.28
101	tekantentum16o	1.62	10.13	71.73
102	tumsek116o	8.14	99.88	87.15
103	tumsek216o	7.18	71.84	81.56
104	tumsektum16o	8.01	78.87	80.32
105	yarikentduran3A	1.71	60.72	77.85
106	yarikentduranzit3A	1.92	65.69	78.05
107	yarikenttrabzon	2.03	7.32	63.46
108	yuzyirmikm12K	2.15	8.78	62.58
109	zityon116o	1.59	11.99	66.76
110	zityon216o	1.54	18.18	70.10
111	zityon316o	1.59	19.09	69.83
112	zityon3A	1.68	8.19	63.18
113	zityontum16o	1.57	15.76	68.81

Tablo 6'daki parametre değerleri Bölüm 2.2.1.1'de detaylı bir şekilde ele alınan optimum referans mesafe değerine dayalı en uygun yol kaybı üssü değerini bulma yaklaşımı kullanılarak elde edilmiştir. Ölçüm senaryolarına en uygun n değeri elde edilirken, d_0 ve PL_{d0} değerleri her bir ölçüm verisinden ayrı ayrı elde edildiği için her ölçümde kullanılan d_0 ve PL_{d0} değeri farklıdır. Ölçüm sonuçlarından elde edilen değerlerin literatürdeki çalışmalar ile kıyaslanabilmesi için n değerinin ortamlara göre aralığının bilinmesi gerekir. Ölçüm sonuçlarına ait n parametresinin değer aralıkları, ölçüm yapılan ortamlara göre sınıflandırılarak Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Ortamların n parametresinin değer aralığı

Ortam	n değer aralığı		
	Serbest	Sabit	Tümü
Anayol	1.31–2.18	1.34–2.10	1.31–2.18
Kent	Serbest	Yakın Takip	1.95–2.94
	1.95–2.27	2.69–2.94	

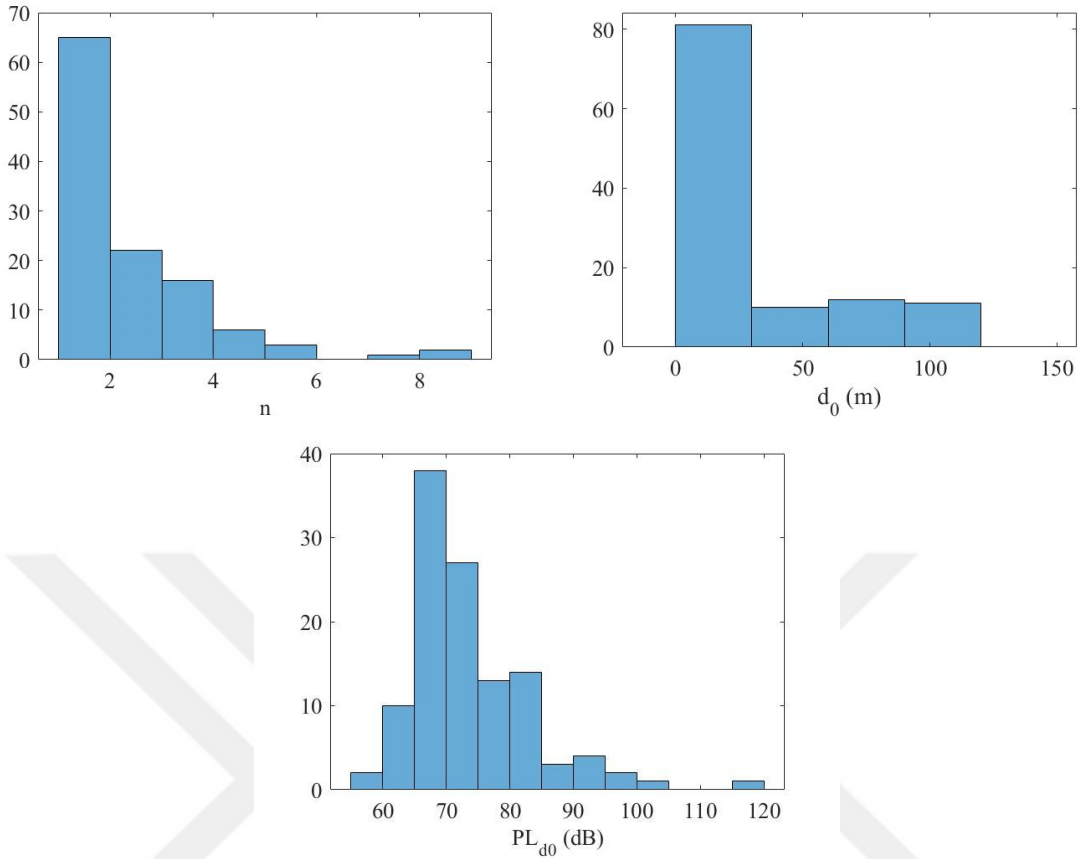


Tablo 7'nin devamı

Yarıkent	Serbest	Sabit	1.71–2.52
	2.03–2.52	1.71–1.92	
Bina	Engel Bina		3.41–5.43
	3.41–5.43		
Kırsal	Çukur	Tümsek	1.28–8.14
	1.28–2.12	7.18–8.14	
Dağ	İniş-Çıkış	Engel	1.76–3.93
	1.76–2.34	2.25–3.93	
Ağaç	Serbest	Sabit	2.82–4.52
	2.82–3.11	3.02–4.52	

Tüm ölçüm verilerinin; n parametresinin değer aralığı 1.28–8.14, d_0 parametresinin değer aralığı 4.81–99.88 m, PL_{d0} parametresinin değer aralığı 57.21–104.87 dB'dir. Tablo 6'da verilen tüm ölçüm parametrelerin histogramları Şekil 72'de verilmiştir.

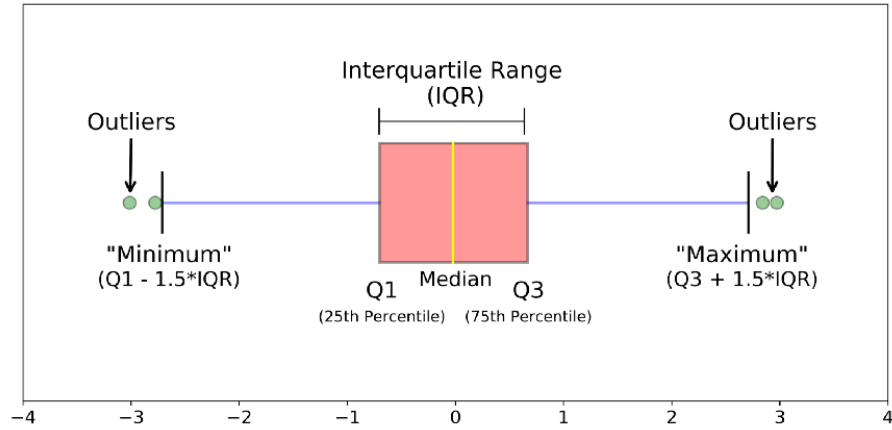




Şekil 72. n , d_0 ve PL_{d_0} parametrelerinin histogramları

Ölçüm sonuçlarından elde edilen parametre değerlerinin daha kolay yorumlanabilmesi için kutu grafik (box plot) ile de sonuçlar verilmiştir. Kutu grafik çiziminin yapılabilmesi için veriden beş değer hesaplanması gerekir. Bunlar; minimum değer, ilk çeyrek (Q_1), ortanca değer (median), üçüncü çeyrek (Q_3) ve maksimum değer. Q_1 , verinin ilk yüzde yirmi beşlik kısmını; Q_3 , verinin yüzde yetmişlik kısmını; minimum ve maksimum değer, aykırı değerler haricindeki verinin en küçük ve en büyük değerini gösterir. Minimum ve maksimum değerler birer çizgi ile kutunun en soluna ve sağına çizilir. Bu çizgiler bıyıklar olarak adlandırılır. Q_1 ve Q_3 kutunun alt ve üst çizgilerini gösterir. Ortanca değer verilerin orta noktasını gösterir ve kutunun ortasında genelde kırmızı bir çizgi ile gösterilir. Bu değerler hesaplandıktan sonra aykırı değerler için sınırlar belirlenir. Bunun için çeyrekler arası mesafe değeri (IQR) kullanılır. $Q_1 - 1.5 \text{ IQR}$ 'den daha düşük veya $Q_3 + 1.5 \text{ IQR}$ 'den daha büyük değerler aykırı değerler olarak adlandırılırlar ve kutu çiziminin dışında küçük daireler şeklinde gösterilir. Şekil 73'te kutu grafiği ve bu beş değer gösterilmiştir. Yeşil daireler aykırı değerleri göstermektedir.

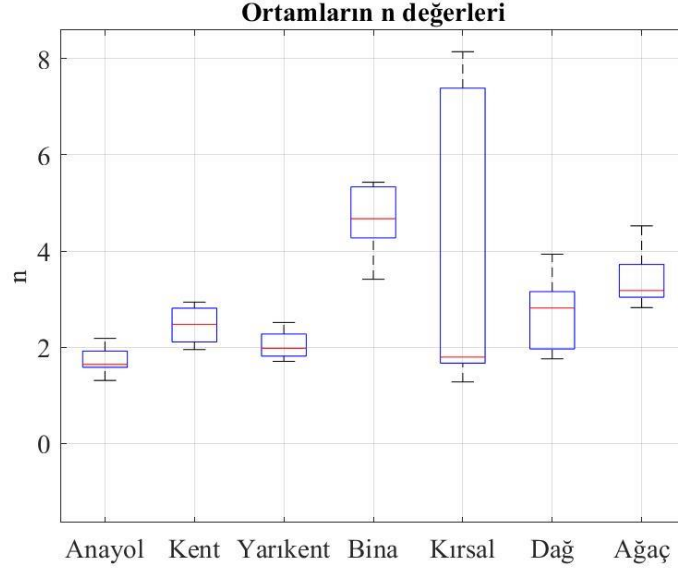




Şekil 73. Kutu grafiğinin gösterimi

Şekil 74'te farklı ortamların n değerleri kutu grafiği ile gösterilmiştir. Kırmızı çizgiler ortanca değeri göstermektedir. Anayol ortamı n değerlerinin %75'i 1.91'nin altında; %25'i 1.58 ile 1.64 arasında ve ortanca değeri 1.64'tür. Kent ortamının n değerleri 1.95 ile 2.94 arasında eşit şekilde dağılmış ve ortanca değeri 2.48'dir. Yarıkent ortamının n değerlerinin ortanca değeri 1,98'dir. Bina ölçümlerinin n değerlerinin %75'i 4.27 ile 5.43 arasında ve ortanca değeri 4.67'dir. Kırsal ortam ölçümlerinin n değerlerinin ortanca değeri 1.8 ve yarısı 1.28 ile 1.8 arasında değişirken diğer yarısı 1.8 ile 8.14 arasında değişmektedir. Dağ ortamı ölçümlerinin n değerlerinin %75'i 1.76 ile 3.16 arasında değişmekte ve ortanca değeri 2.81'dir. Ağaç ortamı ölçümlerinin n değerlerinin %75'i 2.82 ile 3.72 arasında ve ortanca değeri 3.18'dir. En düşük n değerleri anayol ortamında; en yüksek n değerleri kırsal ortamda elde edilmiştir. n değerlerinin en az yayılma gösterdiği ortam anayoldur. Bina ölçümleri hariç diğer tüm ortamların n değerlerinin ortanca değeri 1.64 ile 3.18 arasında değişmektedir.

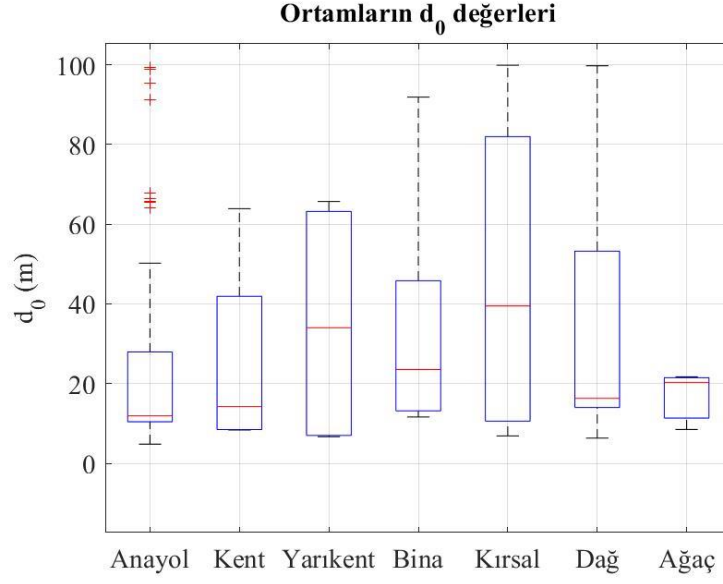




Şekil 74. Ortamların n değerlerinin kutu grafiği ile gösterimi

Ortamların d_0 değerlerinin kutu grafiği ile gösterimi Şekil 75'te verilmiştir. Bütün ortamların d_0 değerlerinin ortanca değeri 11.93 m ile 39.49 m arasında değişmektedir. d_0 değerleri en az ağaç ortamında yayılma göstermesine rağmen ölçüm sayısına (ağaç:7, anayol:63) bakıldığında en az anayol ortamında yayılma göstermiştir. En fazla yayılma ise kırsal ortamda gerçekleşmiştir. Anayol d_0 değerlerinin yarısı 4.8 m ile 11.93 m arasındadır. Ayrıca sadece anayol ortamında aykırı değerler (kırmızı artılar) vardır.

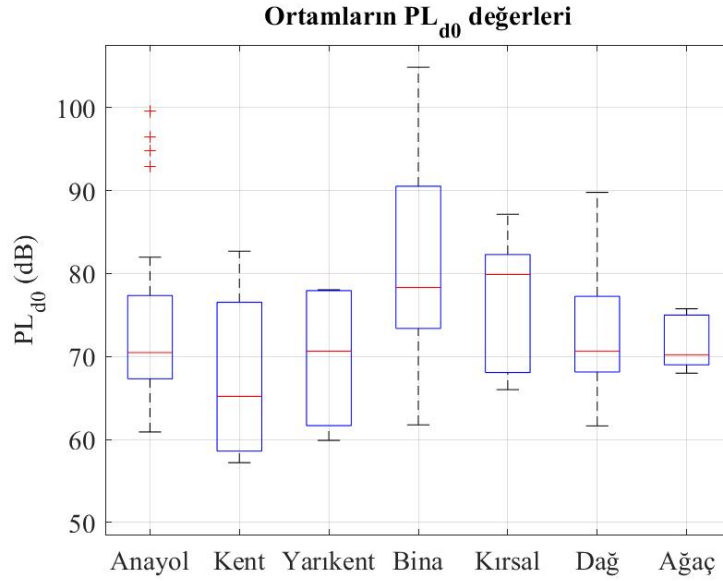




Şekil 75. Ortamların d_0 değerlerinin kutu grafiği ile gösterimi

Ortamların PL_{d0} değerlerinin kutu grafiği ile gösterimi Şekil 76'da verilmiştir. Referans mesafedeki yol kaybına karşılık gelen PL_{d0} değerinin tüm ortamlardaki ortanca değeri 65.2 ile 79.9 dB arasında değişmektedir. Sadece anayol ortamında aykırı değerler vardır. Ayrıca anayol ortamının PL_{d0} değerlerinin yarısı 70.5 değerinin altındadır. En yüksek PL_{d0} değerleri bina ortamında alınmıştır. Bina ortamının PL_{d0} değerlerinin yarısı 78.32 ile 104.87 arasında değişmektedir. En düşük PL_{d0} değeri 57.2 olup, kent ortamında alınmıştır.





Şekil 76. Ortamların PL_{d0} değerlerinin kutu grafiği ile gösterimi

2.5. Modellemenin Sayısal Sonuçları

Ölçüm verileri modellenirken yol kaybı, çokyolluluk ve gölgeleme olmak üzere üç bileşene ayrıldığı, her bir bileşen ayrı ayrı modellendiği ve daha sonra bu üç model birleştirilip, ölçüme en uygun modelin elde edildiği Bölüm 2.2’de ele alınmıştır. Elde edilen en uygun modellerin grafiksel sonuçları ise Bölüm 2.3’te verilmiştir. Burada ise tüm ölçümlerin yol kaybı ve çokyolluluk modelleri ile gölgelemenin standart sapmasının, modellerin R^2 ve RMSE’sinin sayısal değerleri tablo halinde verilmiştir. 113 ölçümün model parametre ve değerleri Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Ölçümlere en uygun modeller ve sayısal değerleri

No	Senaryo	Yol Kaybı Modeli	Çokyolluluk Modeli	Gölgeleme σ (dB)	R^2	RMSE
1	agac116o	İki-ışın	Nakagami	3.39	0.18	8.06
2	agac216o	İki-ışın	Ricean	3.81	0.21	8.95
3	agac316o	İki-ışın	Ricean	3.65	0.19	8.53
4	agac3A	Log-mesafe	Nakagami	2.01	0.54	5.94
5	agactum16o	İki-ışın	Nakagami	3.70	0.19	8.46
6	altmiskm12K	İki-ışın	Ricean	2.63	0.56	5.47
7	anayoltrabzon	İki-ışın	Ricean	4.52	0.32	10.03
8	anayoltrabzon1dk	Log-mesafe	Ricean	1.45	0.92	3.98
9	anteniceride116o	Log-mesafe	Nakagami	0.60	0.88	3.08



Tablo 8'in devamı

10	anteniceride216o	Log-mesafe	Nakagami	0.66	0.89	3.42
11	anteniceride316o	Log-mesafe	Ricean	0.65	0.85	3.45
12	anteniceridetum16o	Log-mesafe	Ricean	1.10	0.86	3.48
13	ayniyon116o	İki-ışın	Ricean	0.89	0.93	3.22
14	ayniyon216o	İki-ışın	Nakagami	0.93	0.91	3.37
15	ayniyon316o	İki-ışın	Ricean	0.92	0.92	3.30
16	ayniyon3A	İki-ışın	Ricean	1.07	0.87	4.87
17	ayniyontum16o	İki-ışın	Nakagami	1.26	0.91	3.44
18	bina112K	Log-mesafe	Nakagami	0.86	0.94	3.14
19	bina116o	Log-mesafe	Ricean	1.53	0.81	6.03
20	bina212K	Log-mesafe	Nakagami	0.90	0.88	5.03
21	bina216o	Log-mesafe	Ricean	1.34	0.95	4.46
22	bina312K	Log-mesafe	Nakagami	2.08	0.81	9.24
23	bina316o	Log-mesafe	Nakagami	1.14	0.86	5.72
24	bina412K	Log-mesafe	Ricean	1.09	0.94	4.81
25	bina612K	Log-mesafe	Ricean	0.78	0.89	4.20
26	bina712K	Log-mesafe	Nakagami	1.15	0.89	4.40
27	ciftanten116o	İki-ışın	Ricean	0.89	0.93	3.20
28	ciftanten12K	İki-ışın	Ricean	4.22	0.59	6.71
29	ciftanten216o	İki-ışın	Nakagami	0.93	0.91	3.38
30	ciftanten316o	İki-ışın	Ricean	0.92	0.91	3.30
31	ciftanten3A	İki-ışın	Ricean	1.06	0.84	4.84
32	ciftantentum16o	İki-ışın	Nakagami	1.26	0.91	3.45
33	coklu107o	İki-ışın	Nakagami	0.56	0.95	5.21
34	coklu17o	İki-ışın	Nakagami	0.61	0.94	5.75
35	coklu27o	İki-ışın	Ricean	0.56	0.94	5.46
36	coklu37o	İki-ışın	Ricean	0.54	0.95	5.88
37	coklu47o	İki-ışın	Ricean	0.53	0.94	5.72
38	coklu57o	İki-ışın	Nakagami	0.52	0.95	5.60
39	coklu67o	İki-ışın	Ricean	0.57	0.95	5.24
40	coklu77o	İki-ışın	Ricean	0.52	0.96	5.34
41	coklu87o	İki-ışın	Nakagami	0.53	0.95	5.41
42	coklu97o	İki-ışın	Ricean	0.53	0.95	5.05
43	cokluserbest7o	İki-ışın	Ricean	2.67	0.75	5.10
44	coklutum7o	İki-ışın	Ricean	1.04	0.94	5.62
45	cukur116o	Log-mesafe	Ricean	1.74	0.79	4.91
46	cukur216o	Log-mesafe	Nakagami	1.77	0.83	3.81
47	cukur316o	İki-ışın	Ricean	1.60	0.48	3.51
48	cukur416o	Log-mesafe	Ricean	1.75	0.91	3.03
49	cukur516o	Log-mesafe	Ricean	1.62	0.75	4.07
50	cukurtum16o	Log-mesafe	Nakagami	2.79	0.80	4.72
51	dag116o	İki-ışın	Nakagami	1.20	0.90	5.25
52	dag216o	Log-mesafe	Ricean	1.20	0.78	6.26
53	dag316o	Log-mesafe	Nakagami	0.80	0.83	6.40
54	dag416o	Log-mesafe	Ricean	1.55	0.75	9.46



Tablo 8'in devamı

55	dag516o	Log-mesafe	Nakagami	1.13	0.77	8.21
56	dag616o	Log-mesafe	Ricean	1.44	0.75	10.12
57	dag716o	İki-ışın	Nakagami	1.42	0.60	13.30
58	dag816o	Log-mesafe	Ricean	1.42	0.88	7.25
59	dag916o	Log-mesafe	Ricean	1.31	0.81	7.42
60	dagcikis12K	Log-mesafe	Ricean	1.47	0.60	4.42
61	dagcikis212K	Log-mesafe	Ricean	0.71	0.93	2.67
62	dagcikis312K	Log-mesafe	Nakagami	1.10	0.92	3.06
63	dagdik12K	İki-ışın	Ricean	1.57	0.70	8.68
64	daginis12K	Log-mesafe	Nakagami	1.31	0.52	3.31
65	daginis212K	Log-mesafe	Ricean	0.63	0.89	2.96
66	dagserbest16o	İki-ışın	Ricean	5.12	0.39	9.61
67	dagtum16o	Log-mesafe	Ricean	4.73	0.72	9.83
68	duran503A	İki-ışın	Nakagami	0.92	0.58	2.48
69	duranhiz1003A	İki-ışın	Ricean	1.62	0.73	5.01
70	duranhiz503A	İki-ışın	Ricean	1.89	0.80	3.93
71	gunesli23A	İki-ışın	Ricean	1.03	0.83	3.87
72	gunesli3A	İki-ışın	Nakagami	0.68	0.90	3.38
73	hiz20116o	İki-ışın	Ricean	1.12	0.93	3.60
74	hiz20216o	İki-ışın	Ricean	1.20	0.87	3.62
75	hiz20316o	İki-ışın	Ricean	1.03	0.90	3.77
76	hiz20tum16o	İki-ışın	Nakagami	1.47	0.90	3.78
77	hizartan116o	İki-ışın	Nakagami	0.89	0.93	3.22
78	hizartan216o	İki-ışın	Ricean	0.93	0.91	3.36
79	hizartan316o	İki-ışın	Ricean	0.92	0.92	3.28
80	hizartantum16o	İki-ışın	Nakagami	1.26	0.91	3.46
81	kar412K	İki-ışın	Ricean	1.25	0.84	3.83
82	kar512K	İki-ışın	Nakagami	0.95	0.96	2.92
83	karzit12K	Log-mesafe	Nakagami	0.60	0.91	2.38
84	kentarac212K	İki-ışın	Ricean	1.34	0.63	4.44
85	kentarac312K	Log-mesafe	Nakagami	3.83	0.69	7.88
86	kentrabzon	Log-mesafe	Ricean	3.01	0.56	5.43
87	kosekelkitayni16o	İki-ışın	Nakagami	0.54	0.97	3.27
88	kosekelkitzit16o	İki-ışın	Nakagami	0.78	0.86	3.84
89	ktuagac	Log-mesafe	Ricean	3.30	0.73	5.97
90	ktuagac2	Log-mesafe	Nakagami	2.69	0.82	5.55
91	serbestkaponcesi16o	İki-ışın	Nakagami	2.26	0.68	5.49
92	serbestkaponrasi16o	İki-ışın	Nakagami	2.72	0.79	4.66
93	serbestkent16o	Log-mesafe	Nakagami	2.03	0.68	6.35
94	serbestkose16o	İki-ışın	Nakagami	2.33	0.88	4.94
95	serbestyarikent16o	İki-ışın	Ricean	3.48	0.81	6.96
96	tekanten116o	İki-ışın	Ricean	0.94	0.92	5.34
97	tekanten12K	İki-ışın	Ricean	3.99	0.56	9.08
98	tekanten216o	İki-ışın	Ricean	1.07	0.90	5.33
99	tekanten316o	İki-ışın	Ricean	0.93	0.91	5.29



Tablo 8'in devamı

100	tekanten3A	İki-ışın	Ricean	1.00	0.90	4.70
101	tekantentum16o	İki-ışın	Nakagami	1.30	0.90	5.40
102	tumsek116o	Log-mesafe	Nakagami	1.32	0.76	7.16
103	tumsek216o	Log-mesafe	Ricean	1.45	0.81	6.53
104	tumsektum16o	Log-mesafe	Ricean	1.42	0.79	7.39
105	yarikentduran3A	İki-ışın	Nakagami	1.39	0.85	4.30
106	yarikentduranzit3A	İki-ışın	Nakagami	1.02	0.87	3.92
107	yarikenttrabzon	İki-ışın	Ricean	3.56	0.58	5.81
108	yuzyirmikm12K	İki-ışın	Ricean	1.59	0.90	4.33
109	zityon116o	İki-ışın	Nakagami	0.70	0.91	4.43
110	zityon216o	İki-ışın	Nakagami	0.78	0.87	4.50
111	zityon316o	İki-ışın	Nakagami	0.80	0.86	4.68
112	zityon3A	İki-ışın	Nakagami	0.65	0.93	3.81
113	zityontum16o	İki-ışın	Ricean	0.97	0.87	4.58

Tablo 8'de verilen 113 ölçüm sonucuna uydurulan en uygun modellerin, ortamlara ve yol kaybı modeline göre sınıflandırılmış biçimi Tablo 9'da verilmiştir. Bu tabloya göre ölçümlerin 63'ü anayol ortamında; 4'ü kent ortamında, 4'ü yarıkent ortamında, 9'u bina ortamında, 9'u kırsal ortamda, 17'si dağ ortamında ve 7'si ağaç ortamında gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin 71'i iki-ışın yol kaybı modeliyle, 42'si log-mesafe yol kaybı modeliyle ile modellenmiştir. Çokyolluluk etkisi için Nakagami-m ve Rician dağılımları daha uygun çıkmıştır. Ölçümlerin 50'si Nakagami-m dağılımı ile 63'ü Rician dağılımı ile modellenmiştir. Sıfır ortalamalı Gauss dağılımı ile modellenen gölgelemenin standart sapması 0.52 dB ile 5.12 dB arasında değişmiştir. En uygun modellerin R^2 değerleri 0.21 ile 0.97 arasında; RMSE değerleri ise 2,38 ile 13,3 arasında değişmiştir.

Tablo 9. En uygun modellerin ortamlara göre dağılımı

Ortam	Yol Kaybı Modeli		Çokyolluluk Modeli		Gölgeleme σ (dB)	R^2	RMSE
Anayol	İki-Işın	57	Nakagami	24	0.52–2.72	0.58–0.97	2.48–5.75
			Rician	33	0.52–4.52	0.32–0.96	3.2–10.03
	Log-mesafe	6	Nakagami	3	0.60–0.66	0.88–0.91	2.38–3.42
			Rician	3	0.65–1.45	0.85–0.92	3.45–3.98
Kent	İki-Işın	1	Nakagami	1	1.34	0.63	4.44
			Rician	-	-	-	-
	Log-mesafe	3	Nakagami	2	2.03–3.83	0.68–0.69	6.35–7.88
			Rician	1	3.00	0.56	5.43

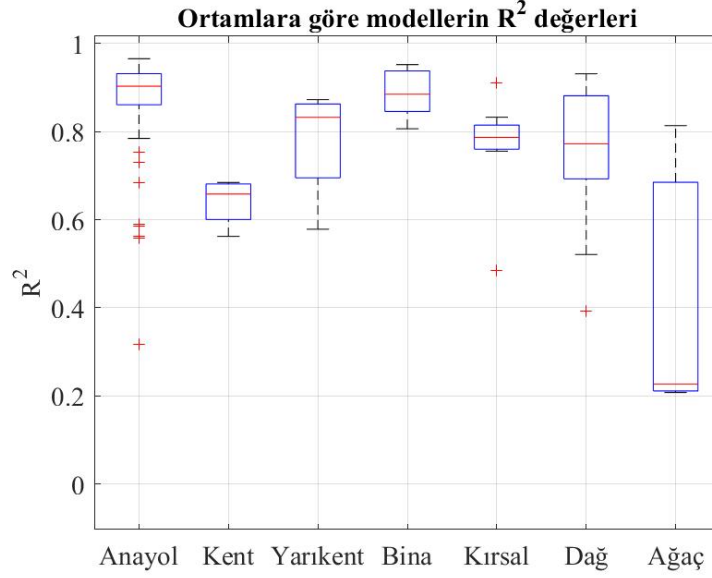


Tablo 9'un devamı

Yarıkent	İki-Işın	4	Nakagami	2	1.02–1.39	0.85–0.87	3.92–4.30
			Rician	2	3.48–3.56	0.58–0.81	5.81–6.96
	Log-mesafe	-	Nakagami	-	-	-	-
			Rician	-	-	-	-
Bina	İki-Işın	-	Nakagami	-	-	-	-
			Rician	-	-	-	-
	Log-mesafe	9	Nakagami	5	0.86–2.08	0.81–0.94	3.14–9.24
			Rician	4	0.78–1.53	0.81–0.95	4.2–6.03
Kırsal	İki-Işın	1	Nakagami	-	-	-	-
			Rician	1	1.60	0.48	3.51
	Log-mesafe	8	Nakagami	3	1.32–2.79	0.76–0.83	3.81–7.16
			Rician	5	1.42–1.75	0.75–0.91	3.03–7.39
Dağ	İki-Işın	4	Nakagami	2	1.2–1.42	0.6–0.90	5.25–13.3
			Rician	2	1.57–5.12	0.39–0.70	8.68–9.61
	Log-mesafe	13	Nakagami	4	0.8–1.31	0.52–0.92	3.06–8.2
			Rician	9	0.63–4.73	0.6–0.93	2.67–10.12
Ağaç	İki-Işın	4	Nakagami	2	3.39–3.7	0.18–0.19	8.06–8.46
			Rician	2	3.65–3.81	0.19–0.21	8.53–8.95
	Log-mesafe	3	Nakagami	2	2.01–2.69	0.54–0.82	5.55–5.94
			Rician	1	3.93	0.73	5.97
Ortalama					1.53	0.80	5.2

Ortalamlara göre sınıflandırılmış en uygun modellerin R^2 değerlerinin kutu grafiği ile gösterimi Şekil 77'de verilmiştir. En yüksek R^2 değerleri anayol ortamında ve en düşük değerler ağaç ortamında alınmıştır. Ölçüm sayıları göz önüne alındığında, R^2 değerlerinin en az yayılım gösterdiği ölçümler anayol ortamındadır. Anayol ortamının R^2 değerleri 0.79 ile 0.97 arasında değişmektedir. Ayrıca 63 ölçümün 8'i ayrık değer olarak hesaplanmıştır. Anayol ortamı R^2 değerlerinin yarısı 0.9'un; kent ortamının R^2 değerlerinin %75'i 0.6'nın; yarıkent ortamının R^2 değerlerinin yarısı 0.83'ün; bina ortamının R^2 değerlerinin tamamı 0.8'in; kırsal ortamın tamamı 0.76'nın; dağ ortamının R^2 değerlerinin yarısı 0.77'nin ve ağaç ortamının R^2 değerlerinin %25'i 0.69'un üzerindedir. Ağaç ortamı (0.23) hariç ortamların R^2 değerlerinin ortanca değerleri 0.65 ile 0.9 arasında değişmektedir.

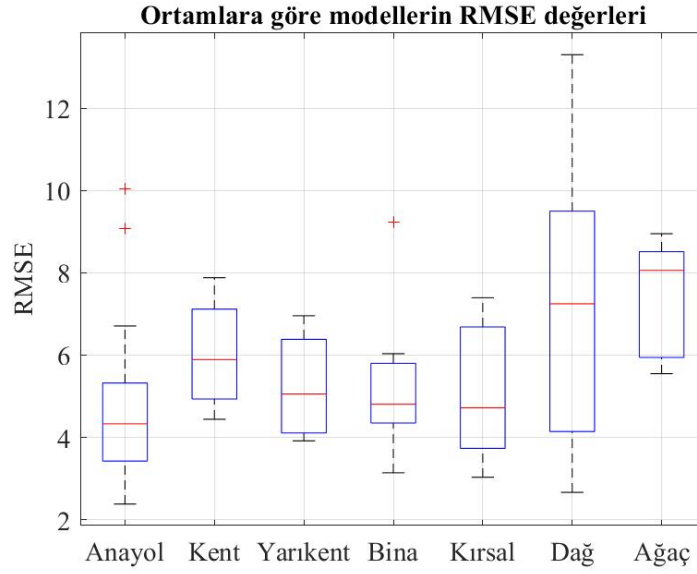




Şekil 77. Ortamların R^2 değerlerinin kutu grafiği ile gösterimi

Modeller ölçümlere uydurulurken R^2 değeri tek başına yeterli bir kriter değildir. Bazı modellerin R^2 değeri yüksek olsa dahi RMSE değerleri yüksek olduğu için tercih edilmemiştir. Şekil 78’de ortamların RMSE değerlerinin kutu grafiği ile gösterimi verilmiştir. R^2 değerleri diğer ortamlara göre düşük çıkan kent, ağaç ve dağ ortamlarının RMSE değerleri de yüksek çıkmıştır. Dağ ortamında hem eğimli yollarda yapılan ölçümler hem de verici ile alıcı arasına giren dağın olduğu ölçümler olduğundan RMSE değerleri yüksek geniş bir değer aralığına sahiptir. RMSE değerlerinin ortanca değeri en yüksek olan ortam R^2 değeri de en düşük olan ağaç ortamıdır. Ağaç ortamına yapılan ölçümler kısa mesafelerde gerçekleştirilmiş ve alınan veri çok geniş bir zarfa sahip olmuştur. Bunun sonucunda uydurulan modeller ise diğer ortamlara nispeten düşük uyumluluk ve yüksek RMSE değerlerinin sahip olmuştur. RMSE değerinin ortanca değeri 4.30 ile 8.05 dB arasında değişmektedir. Tüm modellerin ortalama RMSE değeri ise 5.2 dB’dir.

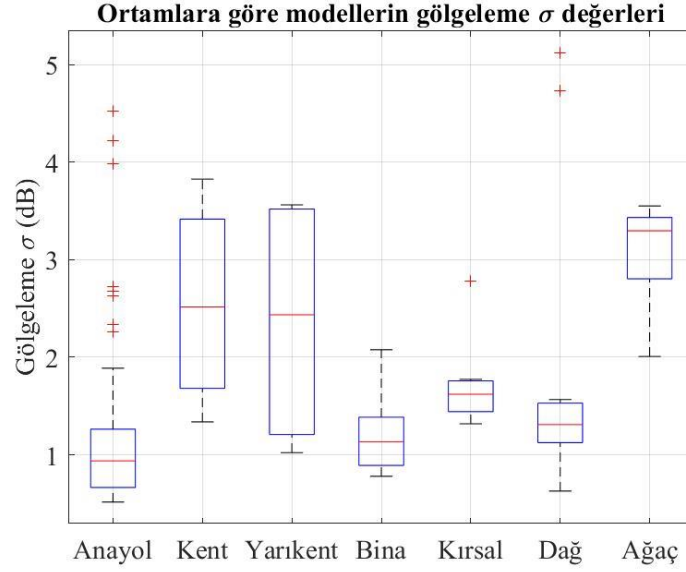




Şekil 78. Ortamların RMSE değerlerinin kutu grafiği ile gösterimi

Gölgeleme modeli Gauss dağılımı ile yapılmıştır. Gauss dağılımı sıfır ortalamalı ve σ standart sapmalıdır. Şekil 79’da ölçümlerin gölgeleme modellerinin standart sapma değerlerinin ortamlara göre kutu grafiği ile gösterimi verilmiştir. Ölçüm sayısına göre en az yayılım ve standart sapma anayol ortamında olmuştur. Standart sapmaların minimum ve maksimum değerleri 0.52 dB ile 5.12 dB arasında; ortanca değerleri ise 0.94 dB ile 3.3 dB arasında değişmiştir. Kent ve yarıkent ortamların standart sapma değerlerinin yarısı 2.5 dB’nin üzerindedir. Ağaç ortamının standart sapmasının %75’i 2.8’in üzerinde; anayol ortamının standart sapma değerinin tamamı 1.89’un altındadır. Gölgelemenin standart sapma değerlerinin en yüksek olduğu ortamlar kent, yarıkent ve ağaç ortamlarıdır.

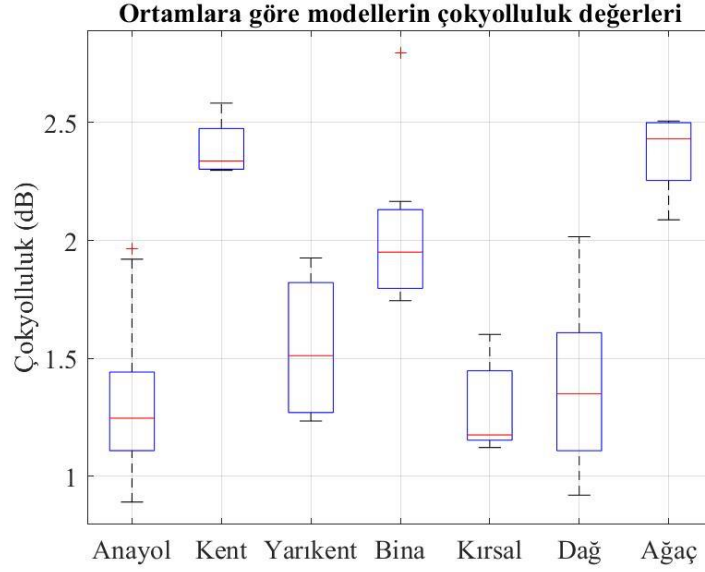




Şekil 79. Ortamlara göre modellerin gölgeleme σ değerlerinin kutu grafiği ile gösterimi

Ölçümlerin çokyolluluk etkisi Nakagami-m ve Rician dağılımları ile modellenmiştir. Çokyolluluk modellerinin standart sapma değerlerinin ortamlara göre dağılımının kutu grafiği ile gösterimi Şekil 80'de verilmiştir. En az yayılım ve en fazla çokyolluluk kent ve ağaç ortamında gözlemlenmiştir. Kent ortamının çokyolluluk etkisinin standart sapma değerinin yarısı 2.34 dB ile 2.58 dB arasında; ağaç ortamının çokyolluluk etkisinin standart sapma değerinin yarısı ise 2.43 dB ile 2.51 dB arasındadır. Bina ortamının çokyolluluk etkisinin standart sapma değerinin %75'i 1.8'in üzerindedir. Ölçüm sayısı göz önüne alındığında, çokyolluluk etkisinin standart sapması en az anayol ortamında görülmüştür ve değerinin yarısı 1.25'in altındadır. Modellerin çokyolluluk etkisinin standart sapmasının değeri 0.89 dB ile 2.58 dB arasında; ortanca değeri ise 1.25 dB ile 2.43 dB arasında değişmiştir.

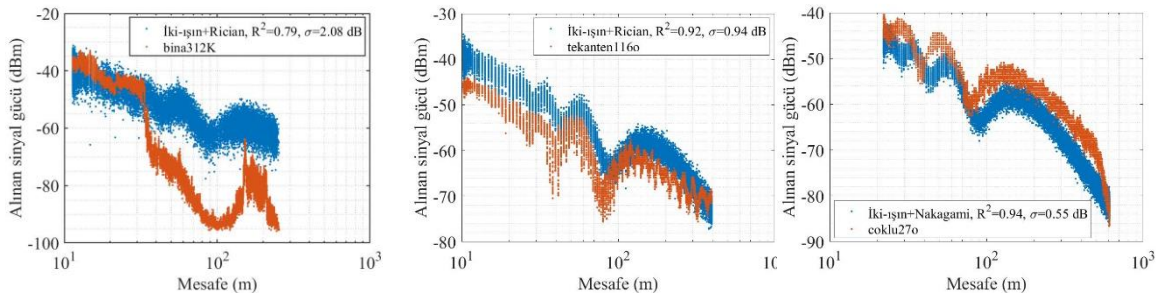




Şekil 80. Ortamların çokyolluluk etkilerinin standart sapmalarının kutu grafiği ile gösterimi

2.6. Önerilen Model

Ölçüm sonuçlarının yol kaybı modellenirken log-mesafe ve iki-ışın modellerinden R^2 değeri yüksek olan, o ölçüm için uygun model olarak önerilmiştir. Bu durumda bazı ölçüm sonuçlarının R^2 değeri yüksek çıkmasına rağmen model ve ölçüm grafiksel olarak incelendiğinde aralarında ihmal edilemeyecek bir sapmanın veya uyumsuzluğun olduğu gözlemlenmiştir. Bu duruma örnek modelleme sonuçları Şekil 81’de verilmiştir.

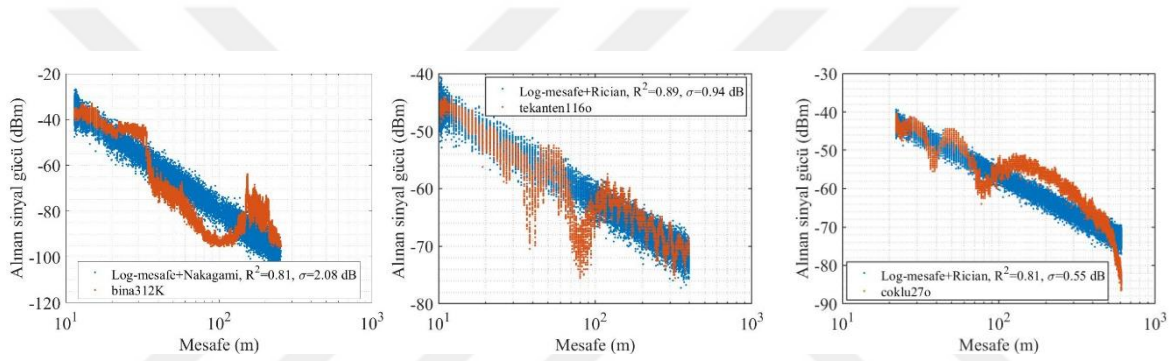


Şekil 81. Sapma olan modellemelere örnekler

Görüldüğü gibi soldaki model R^2 değerine göre iki-ışın yol kaybı modeline uygun çıkmasına rağmen ölçüm verisiyle aralarında önemli bir derecede fark vardır. Diğer iki ölçüm sonucu ise karakteristik açıdan iki-ışın yol kaybı modeline uygun olmalarına rağmen



aralarında bir sapma söz konusudur. Bu durumu düzeltmek için en uygun yol kaybı modelinin önerilmesinde R^2 değeriyle beraber veri ve ölçüm arasındaki RMSE değerlerinin de göz önünde bulundurulmasına karar verilmiştir. RMSE değeri belirli bir değerden yüksek olduğunda o modelin ölçüm için uygun olmadığına karar verildiğinde ise Şekil 82'de görülen durum ortaya çıkmıştır. Soldaki ölçüm sonucu için log-mesafe uygun bir model olmuştur. Ancak bu durumda da diğer iki ölçüm için uygun olan iki-ışın yol kaybı modeli yerine log-mesafe yol kaybı modeli daha uygun çıkmıştır. Ölçüm sonuçları iki-ışın yol kaybı modelinin karakteristiğini takip etmesine rağmen RMSE değerlerinin seçilen eşik değerinden yüksek olması durumunda log-mesafe yol kaybı daha uygun bir model olarak seçilmiştir.



Şekil 82. R^2 ve RMSE değeri ile birlikte seçilen en uygun modeller

R^2 değeri yüksek çıkmasına rağmen uyumsuz gibi görünen modellerin aslında iki-ışın yol kaybı modelinin karakteristiğine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ancak, mesafeye bağlı yol kaybının iki-ışın yol kaybı modelinden daha fazla veya az olması durumunda, ölçüm ve model arasında sapma oluşmuştur. Bu sapma iki-ışın yol kaybı modelinin parametreleri değiştirilerek düzeltilememiştir. Çünkü, iki-ışın yol kaybı modeli parametrelerinin değişimi sadece yerden yansıyan ışının yapıcı ve yıkıcı etkisinin oranını değiştirmektedir. Bunun sonucunda alınan sinyal gücünde oluşan dip ve tepeler değişmektedir. Başka bir ifadeyle, ölçüm sonuçlarının yol kaybı üssü değerleri daha önce verilen Tablo 6'da görüldüğü gibi birbirinden çok farklıdır. İki-ışın yol kaybı modelinin yol kaybı üssü değeri ise serbest uzay yol kaybı değerine denk gelmektedir ki bu da 2'dir. Yani, $n=2$ 'den farklı olan her ölçüm iki-ışın yol kaybı modelinin karakteristiğine daha uygun olsa da modellemeden n değerinin farkına orantılı olarak hata oluşmaktadır. Bu hatayı düzeltmek için model parametrelerinin hem log-mesafe yol kaybı modelinin n değerine duyarlı hem de iki-ışın yol kaybı modelinin



karakteristiğine sahip olması gerekir. Bu amaçla log-mesafe ve iki-ışın yol kaybı modelinin birleştirilmesi ile “log-ray” adı verilen yeni bir model önerilmiştir.

2.6.1. Log-ray Modeli

Friis serbest uzay denkleminde göre vericiden d mesafe uzakta bir alıcı anten tarafından alınan sinyal gücü;

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \quad (2.5)$$

olarak verilmiştir. Log-mesafe yol kaybı modelinin formülü (1.2)’de $n=2$ olma durumu serbest uzay denklemindeki yol kaybına denk gelmektedir. Buradaki $n=2$ değeri d üzerindeki kare ifadesinden gelmekte ve ortamdaki yol kaybının mesafenin karesi ile ters orantılı olarak değiştiğini göstermektedir. İki-ışın yol kaybı modelinde de mesafeye bağlı yol kaybı $n=2$ değerine göre gerçekleşmektedir. Log-ray modelinde bu değer sabit 2 alınmayıp ölçümlerden elde edilen en uygun n değerine göre uyarlanmıştır. Bu işlemin nasıl gerçekleştirildiği adım adım aşağıda verilmiştir.

Vericiden d_0 uzaktaki referans mesafedeki elektrik alan E_0 ise d mesafedeki serbest uzay elektrik alan şu formülle verilir:

$$E(d, t) = \frac{E_0 d_0}{d} \cos\left(\omega_c \left(t - \frac{d}{c}\right)\right) \quad (2.6)$$

Burada $|E(d, t)| = E_0 d_0 / d$, d mesafedeki elektrik alanın zarfını göstermektedir. Serbest uzay alınan sinyal gücü, güç akı yoğunluğu (P_d) ve etkin anten açıklığı (A_e) ile de şu şekilde verilir:

$$P_r(d) = P_d A_e = \frac{|E|^2}{120\pi} \frac{G_r \lambda^2}{4\pi} = \frac{|E|^2 G_r \lambda^2}{480\pi^2} \quad (2.7)$$

(2.7)’deki elektrik alanın genliğinin karesi ise şu şekilde yazılabilir:



$$|E(d, t)|^2 = E_0^2 \left(\frac{d_0}{d}\right)^2 \quad (2.8)$$

Burada $(d_0/d)^2$ ifadesi elektrik alanının mesafenin karesi ile değişimini göstermekte ve $n=2$ değeri bu kare ifadesinden gelmektedir. Log-ray formülünde ölçümlerden elde edilen n değeri buradaki kare ifadesi yerine kullanılarak, alıcıya ulaşan elektrik alanının serbest uzay şartlarında değil, ortamın karakteristiğine göre değişimi sağlanmıştır. Böylece $|E_0|^2$ ifadesi;

$$|E_0|^2 = E_0^2 \left(\frac{d_0}{d}\right)^n \quad (2.9)$$

şeklinde düzenlenmiştir. Buradan iki-ışın modelinde kullanmak amacıyla tekrar elektrik alan ifadesi elde etmek için $|E_0|^2$ ifadesinin karekökü alınarak;

$$|E_0| = E_0 \left(\frac{d_0}{d}\right)^{n/2} \quad (2.10)$$

elde edilmiştir. Bu düzenlenen denklemlerle önerilen log-ray modelinde alıcıya ulaşan toplam elektrik alan şu formülle elde edilir;

$$E_{log-ray}(d, t) = E_0 \left(\frac{d_0}{d'}\right)^{n/2} \cos\left(\omega_c \left(t - \frac{d'}{c}\right)\right) + \Gamma E_0 \left(\frac{d_0}{d''}\right)^{n/2} \cos\left(\omega_c \left(t - \frac{d''}{c}\right)\right) \quad (2.11)$$

Log-ray modelinde alınan sinyal gücü ise;

$$P_{logray}(d) = \frac{|E_{log-ray}|^2 G_r \lambda^2}{480\pi^2} \quad (2.12)$$

formülü ile elde edilir. Log-ray yol kaybı modelinin kullanılabilmesi için ölçüm verilerinden n , d_0 ve PL_{d_0} değerlerinin elde edilmesi gerekir. d_0 değeri seçildikten sonra ona karşılık gelen alınan sinyal gücü değeri $Pr_{d_0} = P_t - PL_{d_0}$ ile elde edilir. Pr_{d_0} değerine karşılık gelen elektrik alan E_0 değeri ise şu şekilde elde edilir;

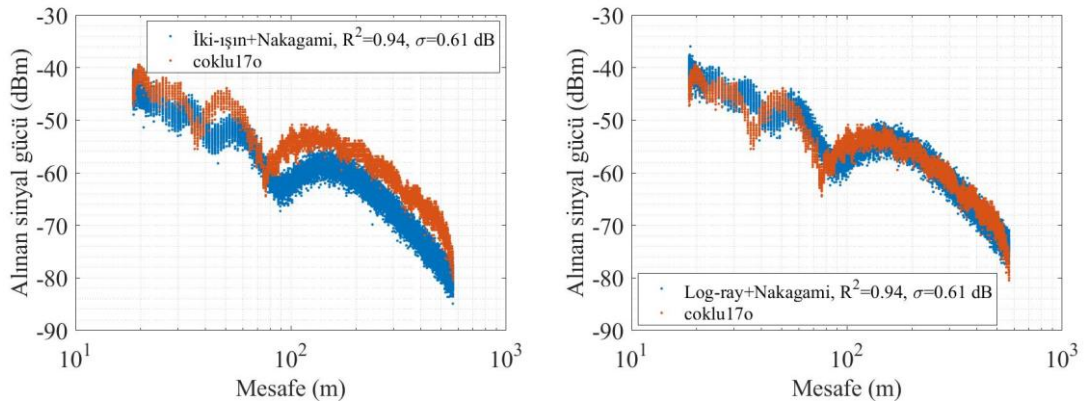


$$E_0 = \sqrt{\frac{Pr_{d0}480\pi^2}{G_r\lambda^2}} \quad (2.13)$$

Böylece n , d_0 ve E_0 değerleri elde edildikten sonra (2.11)'e yerleştirilerek toplam elektrik alan bulunur. Daha sonrada hesaplanan toplam elektrik alan (2.12)'de konularak Log-ray modeline göre alınan sinyal gücü elde edilir.

2.6.2. Log-ray Modeli Sonuçları

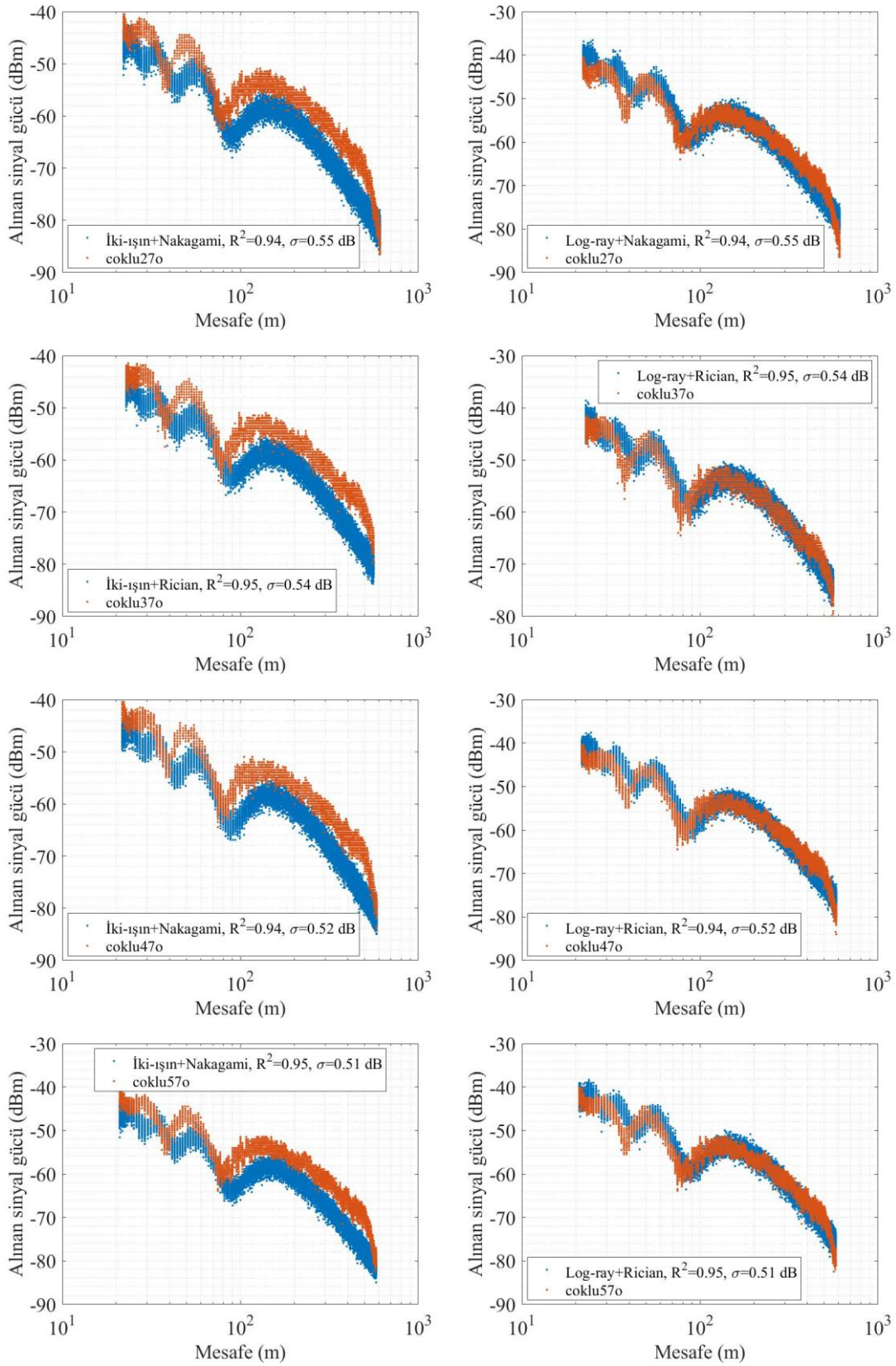
Log-ray modeli ile yapılan modelleme sonuçlarının RMSE değerleri azaltılmış ve veriye daha uygun bir model önermede başarılı sonuç vermiştir. Bu kısımda sadece en çok sapmanın olduğu modelleme sonuçlarının log-ray ile modellendikten sonraki kıyaslamalı sonuçları verilmiştir. Daha sonra tüm ölçüm sonuçlarının tekrar iki-ışın, log-mesafe ve log-ray modellerine uydurularak en uygun model sonuçları tablo şeklinde verilmiştir. Şekil 83'te log-mesafe ve iki-ışın modelleriyle modellendiğinde RMSE değerleri diğer sonuçlara göre yüksek çıkan modellerin log-ray ile modellendikten sonraki sonuçları verilmiştir. Sol taraftaki sonuçlar önceki en uygun modele, sağ taraftakiler ise log-ray ile modelleme sonuçlarına aittir.



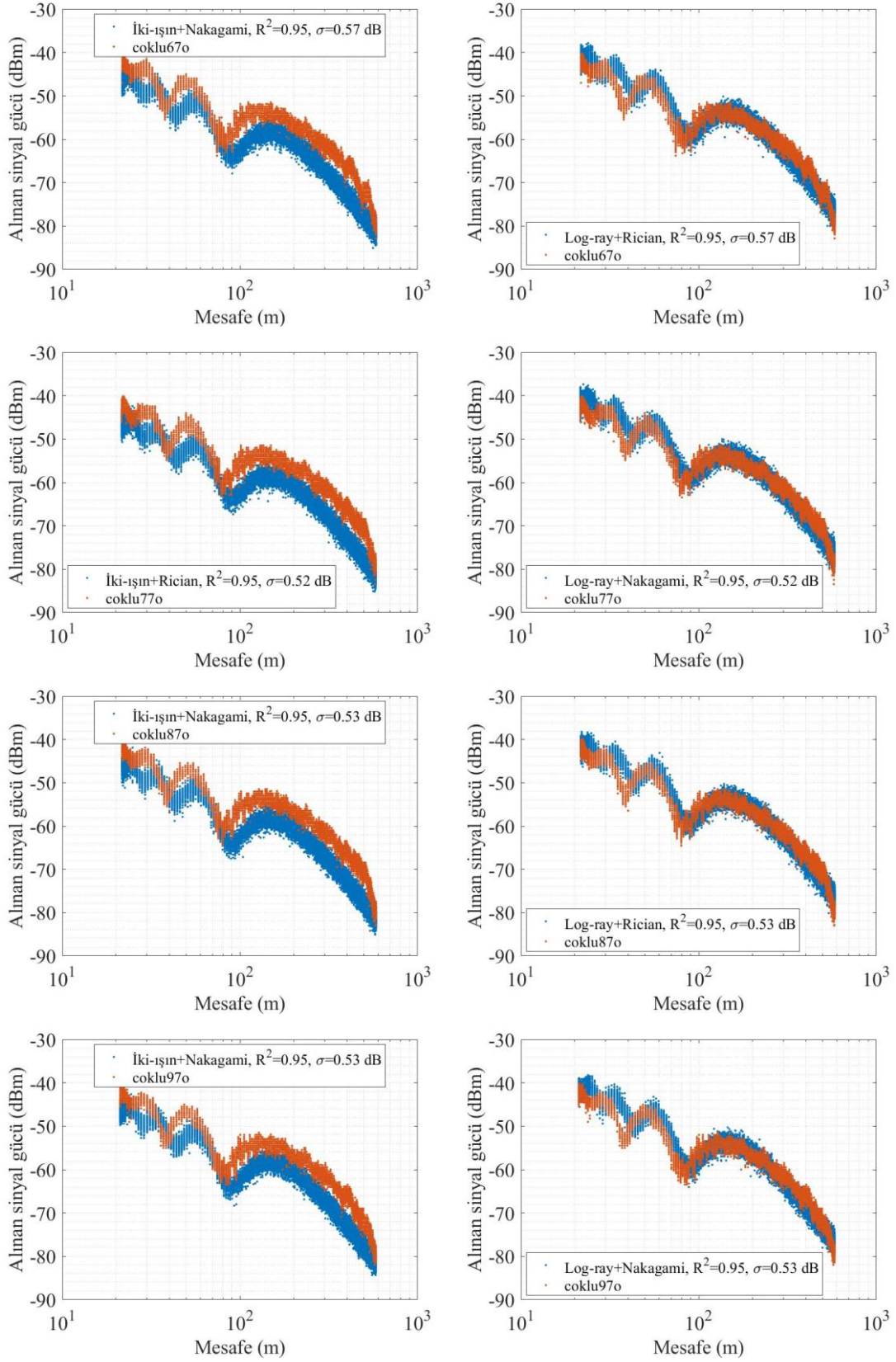
Şekil 83. Log-ray modelinin daha uyumlu çıktığı bazı ölçüm sonuçları



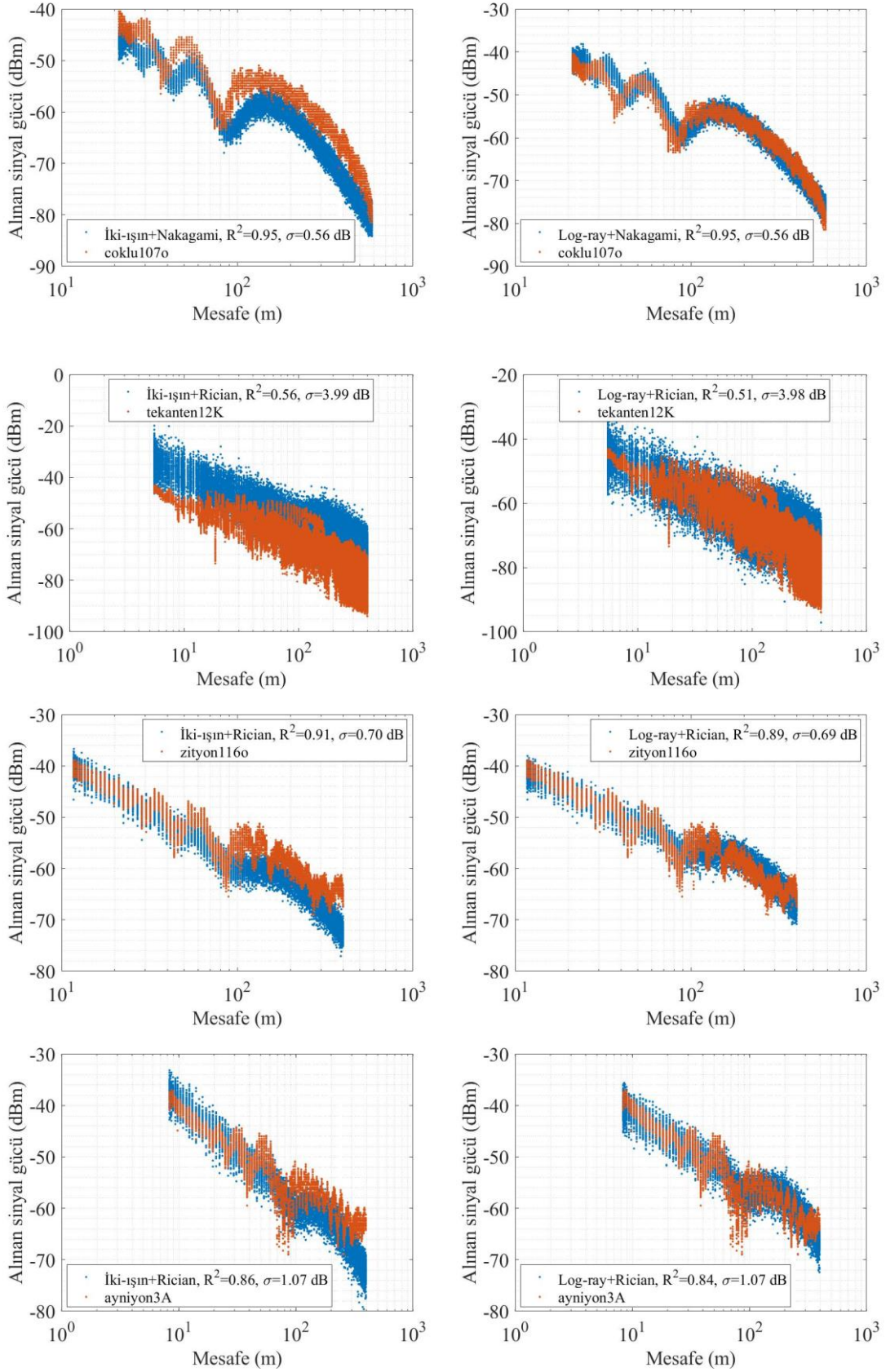
Şekil 83'ün devamı



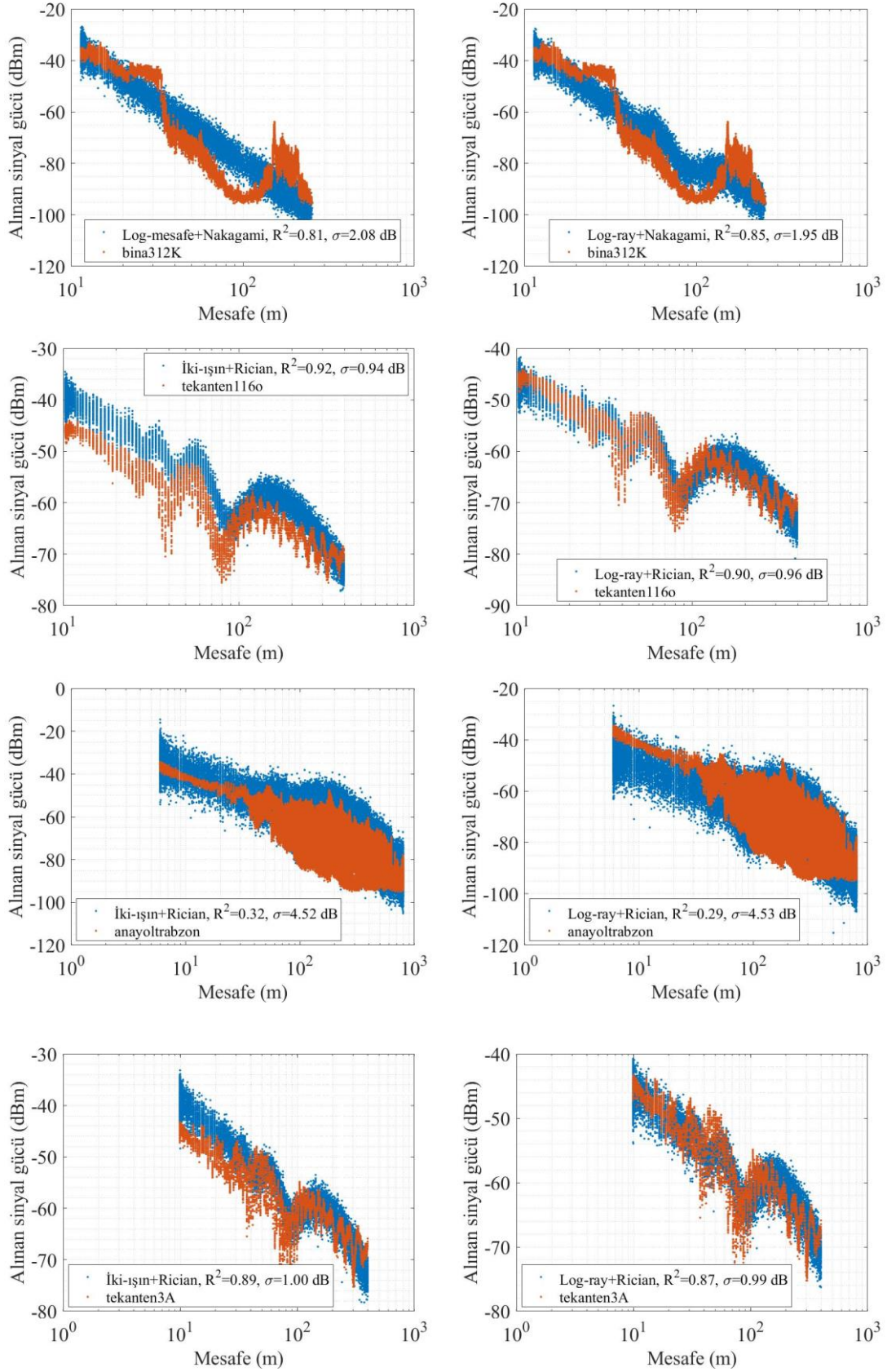
Şekil 83'ün devamı



Şekil 83'ün devamı



Şekil 83'ün devamı



Log-ray modeli, özellikle iki-ışın yol kaybı modelinin karakteristiğine uygun alınan sinyal güçlerinin, mesafeye göre yol kaybı oranının iki-ışın modelininkinden farklı olduğu ölçümlerde aradaki hatayı minimize etmek açısından başarılı sonuçlar vermiştir. Bu durum genellikle yerden yansıyan ışmanın baskın olduğu anayol ortamlarında ortaya çıkmıştır. Ayrıca diğer ortamlarda da verici ve alıcı arasında zaman zaman direk görüş hattı olduğunda log-ray modeli başarılı sonuçlar vermiştir. Özellikle verici ve alıcı arasında yoğun engellenmenin olduğu bina gibi ortamlarda log-mesafe yol kaybı modelinin daha uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca iki-ışın modelinin tamamen örtüştüğü ölçümlerde de iki ışın modeli log-ray modelinden daha iyi bir modelleme sonucu vermiştir. Tablo 10'da verilen modelleme sonuçlarına göre; 113 ölçümün 76'sı log-ray, 32'si log-mesafe ve 5'i iki-ışın yol kaybı modeliyle modellenmiştir.

Tablo 10. Log-ray modeli dahil edildikten sonra en uygun modelleme sonuçları

No	Senaryo	Yol Kaybı Modeli	Çokyolluluk Modeli	Gölgeleme σ (dB)	R ²	RMSE
1	agac116o	Log-ray	Nakagami	3.08	0.32	5.89
2	agac216o	Log-ray	Nakagami	3.42	0.36	6.36
3	agac316o	Log-ray	Nakagami	3.34	0.39	6.17
4	agac3A	Log-ray	Nakagami	2.03	0.54	5.86
5	agactum16o	Log-ray	Ricean	3.32	0.34	6.16
6	altmiskm12K	Log-ray	Nakagami	2.60	0.55	5.06
7	anayoltrabzon	Log-ray	Ricean	4.53	0.29	8.40
8	anayoltrabzon1dk	Log-mesafe	Ricean	1.45	0.92	3.99
9	anteniceride116o	Log-mesafe	Ricean	0.60	0.87	3.11
10	anteniceride216o	Log-mesafe	Nakagami	0.66	0.89	3.40
11	anteniceride316o	Log-mesafe	Ricean	0.65	0.85	3.42
12	anteniceridetum16o	Log-mesafe	Ricean	1.10	0.86	3.48
13	ayniyon116o	Log-ray	Ricean	0.89	0.92	2.69
14	ayniyon216o	Log-ray	Ricean	0.94	0.89	2.98
15	ayniyon316o	Log-ray	Ricean	0.93	0.90	2.87
16	ayniyon3A	Log-ray	Ricean	1.07	0.83	3.14
17	ayniyontum16o	Log-ray	Nakagami	1.27	0.89	3.04
18	bina112K	Log-mesafe	Nakagami	0.86	0.94	3.12
19	bina116o	Log-mesafe	Nakagami	1.53	0.81	5.97
20	bina212K	Log-mesafe	Nakagami	0.90	0.88	4.78
21	bina216o	Log-ray	Ricean	1.36	0.96	4.29
22	bina312K	Log-ray	Ricean	1.95	0.85	7.97
23	bina316o	Log-ray	Nakagami	1.12	0.89	4.90
24	bina412K	Log-mesafe	Ricean	1.09	0.94	4.80
25	bina612K	Log-mesafe	Ricean	0.78	0.89	4.20
26	bina712K	Log-ray	Nakagami	1.09	0.89	4.35



Tablo 10'un devamı

27	ciftanten116o	Log-ray	Nakagami	0.89	0.92	2.69
28	ciftanten12K	İki-ışın	Ricean	4.22	0.59	6.74
29	ciftanten216o	Log-ray	Ricean	0.94	0.89	2.95
30	ciftanten316o	Log-ray	Nakagami	0.93	0.90	2.83
31	ciftanten3A	Log-ray	Ricean	1.07	0.80	3.32
32	ciftantentum16o	Log-ray	Nakagami	1.27	0.89	3.02
33	coklu107o	Log-ray	Nakagami	0.57	0.95	2.32
34	coklu17o	Log-ray	Ricean	0.61	0.94	2.43
35	coklu27o	Log-ray	Nakagami	0.55	0.94	2.98
36	coklu37o	Log-ray	Nakagami	0.54	0.95	2.27
37	coklu47o	Log-ray	Nakagami	0.53	0.94	2.59
38	coklu57o	Log-ray	Ricean	0.52	0.95	2.46
39	coklu67o	Log-ray	Nakagami	0.57	0.95	2.48
40	coklu77o	Log-ray	Nakagami	0.52	0.95	2.44
41	coklu87o	Log-ray	Nakagami	0.53	0.95	2.47
42	coklu97o	Log-ray	Ricean	0.53	0.95	2.41
43	cokluserbest7o	Log-ray	Nakagami	2.68	0.76	4.97
44	coklutum7o	Log-ray	Ricean	1.04	0.94	2.82
45	cukur116o	Log-mesafe	Ricean	1.74	0.79	4.92
46	cukur216o	Log-mesafe	Ricean	1.77	0.83	3.77
47	cukur316o	İki-ışın	Nakagami	1.60	0.49	3.43
48	cukur416o	Log-mesafe	Ricean	1.75	0.91	3.01
49	cukur516o	Log-mesafe	Ricean	1.62	0.75	4.12
50	cukurtum16o	Log-mesafe	Nakagami	2.79	0.81	4.71
51	dag116o	İki-ışın	Ricean	1.20	0.90	4.93
52	dag216o	Log-mesafe	Nakagami	1.20	0.78	6.00
53	dag316o	Log-ray	Nakagami	0.81	0.85	5.56
54	dag416o	Log-ray	Nakagami	1.53	0.78	8.14
55	dag516o	Log-ray	Ricean	1.08	0.80	6.77
56	dag616o	Log-ray	Ricean	1.41	0.75	9.27
57	dag716o	Log-mesafe	Nakagami	1.52	0.66	10.07
58	dag816o	Log-ray	Ricean	1.42	0.88	7.10
59	dag916o	Log-ray	Ricean	1.33	0.80	7.10
60	dagcikis12K	Log-mesafe	Ricean	1.47	0.60	4.43
61	dagcikis212K	Log-mesafe	Nakagami	0.71	0.93	2.67
62	dagcikis312K	Log-mesafe	Ricean	1.10	0.92	3.05
63	dagdik12K	Log-ray	Ricean	1.56	0.70	6.88
64	daginis12K	Log-mesafe	Nakagami	1.31	0.52	3.30
65	daginis212K	Log-mesafe	Nakagami	0.63	0.89	2.95
66	dagserbest16o	Log-ray	Ricean	5.12	0.41	9.42
67	dagtum16o	Log-mesafe	Ricean	4.73	0.71	9.53
68	duran503A	Log-ray	Ricean	0.94	0.50	1.97
69	duranhiz1003A	Log-ray	Nakagami	1.59	0.65	3.66
70	duranhiz503A	Log-ray	Ricean	1.85	0.73	3.72
71	gunesli23A	Log-ray	Ricean	1.03	0.83	3.93

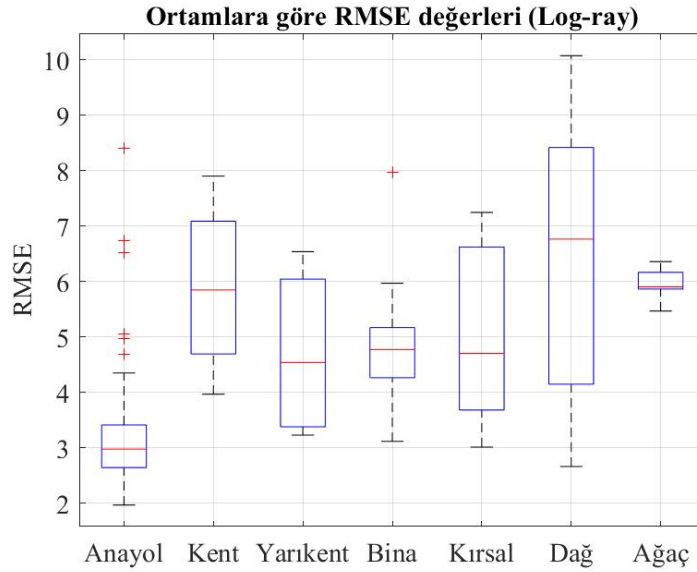


Tablo 10'un devamı

72	gunesli3A	Log-ray	Ricean	0.68	0.89	3.40
73	hiz20116o	Log-ray	Nakagami	1.13	0.90	2.83
74	hiz20216o	Log-ray	Ricean	1.21	0.83	3.14
75	hiz20316o	Log-ray	Nakagami	1.03	0.86	2.93
76	hiz20tum16o	Log-ray	Nakagami	1.46	0.86	3.13
77	hizartan116o	Log-ray	Ricean	0.89	0.92	2.67
78	hizartan216o	Log-ray	Ricean	0.94	0.89	2.97
79	hizartan316o	Log-ray	Ricean	0.93	0.90	2.89
80	hizartantum16o	Log-ray	Ricean	1.27	0.89	3.03
81	kar412K	Log-ray	Nakagami	1.23	0.81	3.31
82	kar512K	Log-ray	Ricean	0.95	0.96	2.76
83	karzit12K	Log-mesafe	Ricean	0.60	0.91	2.39
84	kentrac212K	Log-ray	Nakagami	1.33	0.63	3.97
85	kentrac312K	Log-mesafe	Nakagami	3.83	0.68	7.90
86	kenttrabzon	Log-mesafe	Ricean	3.01	0.56	5.42
87	kosekelkitayni16o	Log-ray	Nakagami	0.54	0.96	2.81
88	kosekelkitzit16o	Log-ray	Ricean	0.78	0.86	3.75
89	ktuagac	Log-mesafe	Ricean	3.30	0.73	5.90
90	ktuagac2	Log-mesafe	Nakagami	2.69	0.82	5.47
91	serbestkapiocesil6o	Log-ray	Nakagami	2.26	0.59	4.14
92	serbestkapisonrasi16o	Log-ray	Ricean	2.72	0.78	4.70
93	serbestkent16o	Log-mesafe	Nakagami	2.03	0.68	6.28
94	serbestkose16o	İki-ışın	Ricean	2.33	0.88	4.35
95	serbestyarikent16o	Log-ray	Ricean	3.48	0.84	6.54
96	tekanten116o	Log-ray	Nakagami	0.96	0.90	2.96
97	tekanten12K	Log-ray	Ricean	3.98	0.51	6.52
98	tekanten216o	Log-ray	Ricean	1.08	0.87	3.08
99	tekanten316o	Log-ray	Ricean	0.93	0.90	2.90
100	tekanten3A	Log-ray	Ricean	0.99	0.87	3.21
101	tekantentum16o	Log-ray	Nakagami	1.31	0.88	3.13
102	tumsek116o	Log-mesafe	Nakagami	1.32	0.76	6.87
103	tumsek216o	Log-mesafe	Nakagami	1.45	0.81	6.54
104	tumsektum16o	Log-mesafe	Nakagami	1.42	0.79	7.25
105	yarikentduran3A	Log-ray	Ricean	1.39	0.84	3.53
106	yarikentduranzit3A	Log-ray	Ricean	1.02	0.87	3.23
107	yarikenttrabzon	Log-ray	Ricean	3.56	0.58	5.55
108	yuzyirmikm12K	İki-ışın	Nakagami	1.59	0.90	4.26
109	zityon116o	Log-ray	Nakagami	0.69	0.89	2.43
110	zityon216o	Log-ray	Ricean	0.77	0.84	2.51
111	zityon316o	Log-ray	Nakagami	0.80	0.83	2.64
112	zityon3A	Log-ray	Nakagami	0.65	0.92	2.35
113	zityontum16o	Log-ray	Ricean	0.96	0.85	2.61



Tablo 8 ve Tablo 10 karşılaştırıldığında R^2 ve gölgeleme değerleri önemsenmeyecek oranda değişim göstermiştir. Ancak log-ray modelinin ölçüm ve modeller arasındaki sapmayı düzeltmesinden dolayı RMSE değerleri değişmiştir. Bu yüzden sadece ortamlara göre RMSE değerlerinin değişimi Şekil 84’te verilmiştir ve diğer parametreler birkaç sonuç hariç Bölüm 2.5’te paylaşılan şekillerdeki gibi kalmıştır.



Şekil 84. Ortamlara göre RMSE değerleri (Log-ray modeli dahil edildikten sonra)

RMSE değerleri en düşük anayol ortamında çıkmıştır. Bunun sebebi log-ray modeli iki-ışın modelinin karakteristiğini ortama göre uyarlamasıdır. Diğer ortamlarda da iki-ışın modelinin olduğu ölçümlerde RMSE değerleri düşmüştür. Ortamların RMSE değerlerinin ortanca değerleri 2.98–6.77 dB arasında değişmektedir. Tüm ortamların ortalama RMSE değeri ise 4.31 dB olarak hesaplanmıştır.

2.7. Ortamlara Göre Önerilen Ortalama Modeller

Yapılan ölçüm sonuçları farklı ortamlara göre sınıflandırılıp her biri ayrı ayrı modellenerek en uygun modeller elde edilmiştir. Alınan sinyal gücünün değişiminde en baskın bileşen mesafeyle değişim gösteren yol kaybıdır. Ölçüm sonuçlarının modellenmesinden elde edilen istatistiksel bilgiler doğrultusunda ortamlara en uygun yol kaybı



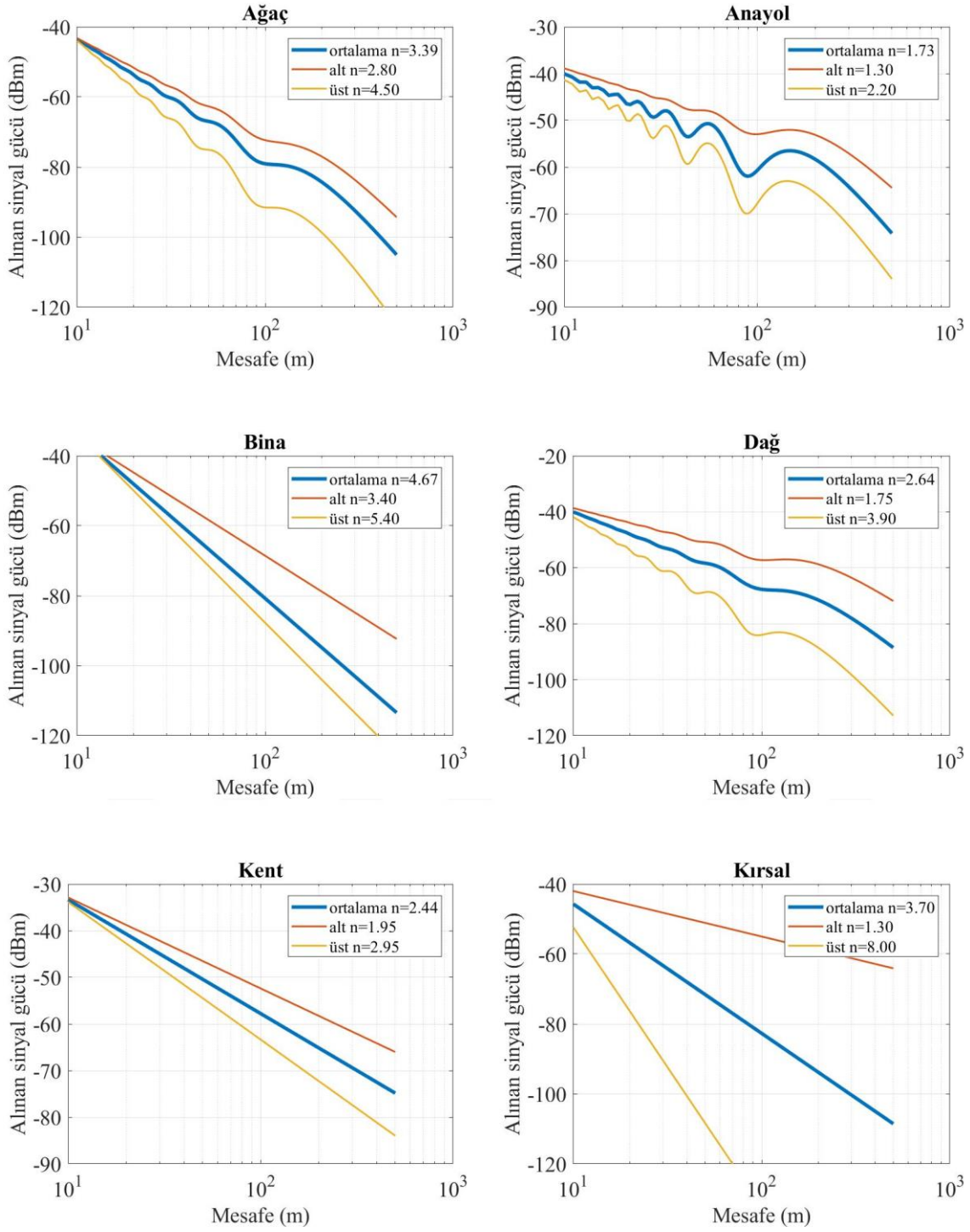
modelleri önerilmiştir. Buna göre; anayol, yarıkent, dağ ve ağaç ortamlarında log-ray modelini; kent, bina ve kırsal ortamlara ise log-mesafe yol kaybı modelini kullanılmıştır. Her bir ortam için önerilen yol kaybı modellerinin yol kaybı üssü (n), efektif elektriksel bağlı geçirgenlik (ε_r), referans mesafe (d_0) ve ona karşılık gelen yol kaybı (PL_{d0}) parametrelerinin ağırlıklı ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca ortalama değerlerin %95 güven aralığı sınırları da hesaplanmıştır. Tablo 11’de ortamlara göre önerilen ortalama modeller ve hesaplanan parametre değerleri verilmiştir.

Tablo 11. Ortamlara göre ortalama modeller ve parametre değerleri

Ortamlar	Model	n		d_0		PL_{d0}		ε_r	
		μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
Anayol	Log-ray	1.73 ± 0.06	0.24	17.28 ± 6.76	26.33	70.67 ± 1.4	5.82	1.0077 ± 0.0014	0.0054
Kent	Log-mesafe	2.44 ± 0.61	0.45	25 ± 36.60	28.05	67.55 ± 16.06	11.59	-	-
Yarıkent	Log-ray	2.06 ± 0.47	0.39	36.89 ± 45.14	34.43	69.87 ± 13.20	9.49	1.0032 ± 0.0029	0.0022
Bina	Log-mesafe	4.67 ± 0.50	0.69	34.33 ± 20.22	28.35	81.17 ± 9.95	13.39	-	-
Kırsal	Log-mesafe	3.70 ± 2.31	3.16	45.98 ± 38.79	28.35	76.24 ± 6.08	7.77	-	-
Dağ	Log-ray	2.64 ± 0.35	0.70	34.89 ± 17.69	36.71	72.76 ± 3.74	7.68	1.0012 ± 0.0029	0.0007
Ağaç	Log-ray	3.89 ± 0.53	0.60	17.29 ± 5.19	5.85	71.73 ± 2.99	3.39	1.0019 ± 0.001	0.0013

Ortamlar için önerilen ortalama modeller yeniden üretilmek istendiğinde Tablo 11’deki parametrelerden n ve ε_r değerlerinin ortalama değerleri kullanılabilir. Ancak, d_0 ve PL_{d0} değerleri log-mesafe yol kaybı modeli kullanılarak ölçüm verilerinden ortama ait n değeri çıkarılırken önemli olmasına rağmen teorik modellerin üretilmesinde sadece başlangıç noktasını belirlemek açısından önemlidir. Çünkü, n değeri belli olduğu için farklı d_0 ve PL_{d0} bu eğri üzerindeki başlangıç noktasının ileri veya geri kaymasına sebep olur. Ayrıca en uygun d_0 değerine karşılık gelen PL_{d0} değeri Tablo 11’den elde edilemez. Yani ortalama PL_{d0} değeri ortalama d_0 mesafesine karşılık gelmemektedir. Bunun için ortamlara ait ortalama modeller hesaplanan parametrelerle tekrar ürettirilirken ortalama d_0 ve PL_{d0} değerleri yerine, ortamlarda elde edilen en küçük değerler alınmıştır. Tüm bu değerler yani ortalama n ve ε_r ile en küçük d_0 ve PL_{d0} değerleri kullanılarak ortamların ortalama modelleri ile bunların ölçümlerde elde edilen en alt ve üst sınırları Şekil 85’te verilmiştir.

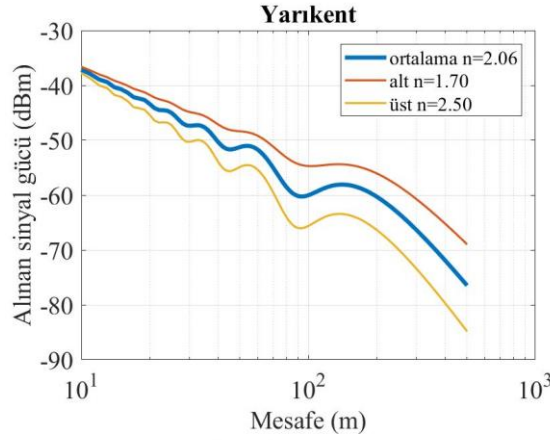




Şekil 85. Ortamların ortalama modelleri (mavi) ve alt (turuncu) üst (sarı) sınırları



Şekil 85'in devamı



Yukarıdaki modellerin oluşturulmasında kullanılan parametre değerleri Tablo 12'de verilmiştir. Bu parametreler ortamlara ait log-mesafe veya log-ray modellerinin formüllerinde yerlerine konularak ortamlara ait ortalama teorik modeller üretilebilir.

Tablo 12. Ortamların ortalama, alt ve üst modellerinin parametreleri

Ortam	Model	n_{ort}	n_{alt}	$n_{üst}$	d_0	PL_{d0}	ϵ_{rort}	ϵ_{ralt}	ϵ_{rust}
Anayol	Log-ray	1,73	1,3	2,2	5	61	1,0077	1,0001	1,016
Kent	Log-mesafe	2,44	1,95	2,95	8	57	-	-	-
Yarıkent	Log-ray	2,06	1,7	2,5	7	60	1,0032	1,0001	1,005
Bina	Log-mesafe	4,67	3,4	5,4	11	62	-	-	-
Kırsal	Log-mesafe	3,70	1,3	8	7	66	-	-	-
Dağ	Log-ray	2,64	1,75	3,9	7	62	1,0012	1,0001	1,006
Ağaç	Log-ray	3,39	2,8	4,5	9	68	1,0019	1,0001	1,005

Şekil 85'te ortamların ortalama modellerinin alt ve üst sınırlar ile arasındaki farklar da hesaplanmış ve Tablo 13'te verilmiştir. Buna göre anayol ortamında ortalama ile alt sınır arasında 7 dB, üst sınır arasında 7.8 dB; kent ortamında ortalama ile alt sınır arasında 7 dB, üst sınır arasında 7.3 dB; yarıkent ortamında ortalama ile alt sınır arasında 5.4 dB, üst sınır arasında 6.5 dB; bina ortamında ortalama ile alt sınır arasında 16 dB, üst sınır arasında 9.5 dB; kırsal ortamda ortalama ile alt sınır arasında 36 dB, üst sınır arasında 64 dB; dağ ortamında ortalama ile alt sınır arasında 13 dB, üst sınır arasında 19 dB; ağaç ortamında ortalama ile alt sınır arasında 8 dB, üst sınır arasında 15 dB fark oluşmuştur. Kırsal ortamdaki değerlerin çok yüksek olmasının sebebi farklı iki senaryo türünün aynı sınıf altında olmasından kaynaklanıyor. Çukur ve tümsek senaryoları kırsal ortamlar altında toplanmış



olup bu senaryoların n değerleri 1.3 ile 8 arasında değiştiği için ortalama modelin alt ve üst model arasındaki farkları çok yüksek çıkmıştır.

Tablo 13. Ortalama modeller ile alt ve üst modeller arasındaki farklar

Ortam	Ortalama model-alt model arasındaki fark	Ortalama model-üst model arasındaki fark
Anayol	7.02 dB	7.8 dB
Kent	7.08 dB	7.33 dB
Yarıkent	5.39 dB	6.56 dB
Bina	16.63 dB	9.53 dB
Kırsal	35.9 dB	64.4 dB
Dağ	13.32 dB	18.81 dB
Ağaç	8.13 dB	15.47 dB

Ortamlara göre önerilen ortalama modeller ile literatürdeki parametre değerleriyle elde edilen modeller arasında farklar dB cinsinden hesaplanarak Tablo 14’te verilmiştir. Literatürde 700 MHz’den 5.9 GHz’e kadar farklı frekanslarda farklı ölçüm düzenekleri kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Buradaki çalışmalar sadece 5 ile 5.9 GHz arasında anayol, kent ve yarıkent ortamlarında yapılan çalışmalardır. Tezde kullanılan DSRC OBU cihazı 5.9 GHz’de çalıştığı için diğer frekans sonuçları tabloda verilmemiştir.

Tablo 14. Literatürdeki modeller ile önerilen ortalama modeller arasındaki farklar

Referans	Ortam	Frekans	n	Fark (dB)
[60]	Anayol	5.9	2.03	5.9
[45]	Anayol	5.2	1.80	3.20
[14]	Anayol	5.9	1.90	4.18
[29]	Anayol	5.9	1.85	3.63
[49]	Anayol	5.9	1.80	3.20
[86]	Anayol	5.9	2.85	18.82
[30]	Anayol	5.2	1.77	3.02
[81]	Anayol	5.9	2.00	5.48
[32]	Anayol	5.9	1.98	5.21
[65]	Anayol	5.8	1.77	3.02
[52]	Anayol	5.75	1.6-1.9	3.46-4.18
[34]	Anayol	5.9	1.66-2.53	3.03-13.66
[37]	Anayol	5.6	1.66	3.03
[38]	Anayol	5.9	3.11	23.04



Tablo 14'ün devamı

[31]	Anayol	5.22	11.6 -2.68	3.45-16.07
[60]	Kent	5.9	2.15	4.2
[29]	Kent	5.9	1.61	11.98
[61]	Kent	5.9	2.75	4.45
[30]	Kent	5.2	1.68	10.98
[32]	Kent	5.9	1.47-1.84	14-8.67
[65]	Kent	5.8	1.68	10.98
[34]	Kent	5.9	1.67-2.18	11.12-3.77
[67]	Kent	5.25	1.95 - 2.18	7.08 - 3.77
[37]	Kent	5.6	1.81-1.93	9.1-7.37
[68]	Kent	5.9	1.92-2.23	7.52-3.05
[38]	Kent	5.9	3.17-3.36	10.5-13.2
[70]	Kent	5.9	1.92	7.52
[73]	Kent	5.9	1.51	13.43
[31]	Kent	5.22	1.7-2.68	10.69-3.43
[40]	Yarıkent	5.9	2.75	10.72
[13]	Yarıkent	5.9	1.57	7.62
[30]	Yarıkent	5.2	1.59	7.33
[42]	Yarıkent	5.9	1.83-3.27	4.11-18.39
[65]	Yarıkent	5.8	1.53	8.19
[78]	Yarıkent	5.9	1.2 - 2.22	12.99- 3.48
[38]	Yarıkent	5.9	2.56-3.41	7.98-20.47

Tablo 14'teki farklar incelendiğinde anayol ortamı için ortalama 6 dB, kent ortamı için ortalama 8 dB ve yarıkent ortamı için ortalama 9 dB bir fark elde edilmiştir. Anayol ortamında bir iki çalışma hariç farklar 3 dB civarında elde edilmiştir. Bu, ölçümlerin yapıldığı anayol ortamlarının birbirlerine benzer yapıda olduğunu göstermektedir. Ancak kent ve yarıkent ortamında oldukça değişken yol kaybı üssü değeri elde edilmiş ve farklar yüksek çıkmıştır. Bu da literatürde kent ve yarıkent olarak adlandırılan ortamların çok değişkenlik gösterdiğini ortaya koymuştur. Özellikle bu ortamlarda bulunan bina gibi sinyali büyük oranda etkileyen yapıların ölçüm senaryolarına dahil edilip edilmediği sonuçların farklı çıkmasına sebep olmuştur.



3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Akıllı ulaşım sistemlerinin bir alt bileşeni olan araçlar-arası haberleşme; trafik kazalarının önlenmesi ve trafik karmaşıklığının azaltılması temel amacıyla geliştirilen, tahsis edilmiş kısa mesafe haberleşme (DSRC) teknolojisine dayalı bir kablosuz haberleşme ağıdır. Araçlar-arası haberleşme kanalı ile ilgili ölçüm çalışmaları, 1999 yılında Amerika Federal İletişim Haberleşme Komisyonunun 5.9 GHz’de 75 MHz’lik bir spektrumu DSRC tabanlı uygulamalara tahsis etmesinden sonra hız kazanmıştır. Başlangıçta yapılan ölçümlerde sinyal üreteçleri ve spektrum analizörleri kullanılırken; DSRC tabanlı OBU’ların ticari olarak piyasaya sürülmesinden sonra, bu cihazlarda araçlar-arası haberleşme kanalı ölçüm çalışmalarında sıkça kullanılmaya başlamıştır. Literatürde, bazı çalışmalar sadece araçlar-arası haberleşme kanalını yol kaybı açısından modellenmiş, bazıları ise çokyolluluk etkisi ve/veya gölgelemeyi de analiz etmiştir. Ölçüm çalışmaları yapılırken ortamlar; kent, yarıkent, anayol, otoyol, kırsal gibi sınıflara ayrılmış ve bu ortamların modelleme sonuçları paylaşılmıştır. Araştırmacılar, paylaşılan bu verilerin aynı sınıflandırmadaki ortamlar için bile diğer çalışmalardan farklılık göstermesinden dolayı, bu ölçüm çalışmalarının başka ülke ve şehirlerde de tekrarlamasını önermişlerdir. Bu tez çalışmasında, bu amaç doğrultusunda, farklı şehir ve trafik ortamlarında 5.9 Ghz’de araçlar-arası haberleşme kanalı ölçüm çalışmaları yapılmış, elde edilen ölçüm verileri modellenmiştir.

Araçlar-arası haberleşme kanalı anayol ölçümleri; Gümüşhane-Erzincan, Gümüşhane-Bayburt, Trabzon-Giresun şehirlerarası yollarında gerçekleştirilmiştir. Kent, yarıkent, bina, kırsal, dağ, ağaç gibi ortamların ölçümleri ise Gümüşhane/Kelkit ve Trabzon’un çeşitli cadde ve sokaklarında gerçekleştirilmiştir. Bu ölçüm çalışmaları kapsamında;

- Çoğunluğu anayol ortamında olmak üzere farklı ortamlarda değişik aylarda toplam 113 ölçüm gerçekleştirilmiştir.
- Ölçüm sonuçları, ortamların araçlar-arası haberleşme karakteristiğini çıkartmak ve literatürdeki diğer çalışmalarla kıyaslayabilmek açısından log-mesafe yol kaybı modeline uydurulmuştur. Böylece farklı ortamların yol kaybı üssü parametreleri (n) elde edilmiştir.
- Ölçümlerden n parametresi elde edilirken d_0 ve PL_{d0} değerlerinin ölçümden seçilmesi gerekir. Bu işlem literatürde birçok çalışmada sabit bir d_0 alınarak gerçekleştirilmiştir. Bunun sebep olacağı hataları minimize etmek için optimum d_0



değerine bağlı en uygun n değerinin belirlenmesi için bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşım bir araştırma makalesine dönüştürülerek yayınlanmıştır.

- Önerilen yaklaşıma göre n , d_0 ve PL_{d0} parametreleri 113 ölçüm çalışması için elde edilmiştir.

Ölçüm verilerinin log-mesafe yol kaybı modeline uydurularak elde edilen yol kaybı üssü (n) parametresinin değeri;

- Anayol ortamında 1.31–2.18 arasında,
- Kent ortamında 1.95–2.94 arasında,
- Yarıkent ortamında 1.71–2.52 arasında,
- Bina ortamında 3.41–5.43 arasında,
- Kırsal ortamında 1.28–8.14 arasında,
- Dağ ortamında 1.76–3.93 arasında,
- Ağaç ortamında 2.82–4.52 arasında değişmiştir.

Tüm ortamlarda yapılan ölçümler için n değer aralığı 1.28–8.14 arasında bulunmuştur. Ancak en düşük ve en yüksek değerler gerçek trafik ortamını yansıtmayıp; farklı ortamların alınan sinyal gücünü nasıl etkilediğini ortaya koymak için yapılmış sabit (verici araç sabit, alıcı araç hareketli) ölçümlerin sonuçlarına aittir. 1.28 değeri kırsal bir ortamda çukur senaryosuna aitken, 8.14 yine kırsal bir ortamdaki tümsek senaryosuna aittir. Ölçümlerin çoğunluğunun yapıldığı ve gerçek trafik ortamını daha çok yansıtan anayol, kent ve yarıkent ortamlarının n değerlerinin ortanca değerleri sırasıyla 1.73, 2.44 ve 2.06'dir. Ayrıca literatürdeki senaryolara en çok benzeyen ölçümler serbest (her iki araç da hareketli) senaryolar olarak adlandırılmıştır. Bu senaryoların n değerlerinin aralığı; anayol için 1.31–2.18, kent için 1.95–2.27 ve yarıkent için 2.03–2.52 olarak elde edilmiştir.

Ölçümlerden elde edilen veriler; yol kaybı, gölgeleme ve çokyolluluk olmak üzere üç ana bileşene ayrılmış ve her biri ayrı ayrı modellenmiştir. Bu üç model birleştirilerek ölçümlere en uygun model elde edilmiştir. En uygun modelin elde edilmesinde;

- Yol kaybının modellenmesi için log-mesafe ve iki-ışın yol kaybı modelleri,
- Çokyolluluk etkisinin modellenmesi için Nakagami-m, Rician, Rayleigh ve Weibull dağılımları,



- Gölgelemenin modellenmesi için sıfır ortalamalı ve ölçümlerden elde edilen standart sapma değerli Gauss dağılımı kullanılmıştır.

Yol kaybı modellemesinde, ölçümler hem log-mesafe hem de iki-ışın modeline uydurulmuş ve R^2 değeri yüksek çıkan model yol kaybı için seçilmiştir. İki-ışın yol kaybı modelinin değişken parametrelerinden biri yerden yansıma katsayısıdır (Γ) ve ortamın efektif elektriksel bağül geçirgenlik değerine (ϵ_r) bağlıdır. Bu parametre yerden yansıyan bileşenin değerinin belirlenmesinde kullanılır. Farklı ortamların ϵ_r değeri bilinmediği ve yol yapısının düz olmamasından kaynaklanan sapmaları en aza indirgenmesi için bu parametre en küçük kareler yöntemi ile veriye en uygun olacak şekilde elde edilmiştir. Tüm ölçüm verilerinde hesaplanan ϵ_r değeri 1.0001 ile 1.016 arasında değişmiştir.

Çokyolluluk etkisi, ölçüm verilerinden ortalamalarının çıkarılması sonucu elde edilmiştir. Daha sonra Nakagami, Rician, Weibull ve Rayleigh dağılımlarına uydurulmuştur. Elde edilen istatistiksel çokyolluluk modellerinden en uygunun bulunması için AIC ağırlıkları kullanılmıştır. En yüksek AIC ağırlığına sahip istatistiksel model ile çokyolluluk etkisi modellenmiştir. Ölçüm verilerine Nakagami-m ve Rician dağılımları uygun çıkmıştır. Rayleigh ve Weibull dağılımları genel olarak sonuçlara uygun çıkmamıştır.

Gölgeleme modellenirken ölçüm verilerinden çokyolluluk verisi ve en uygun yol kaybı modeli çıkarılmıştır. Geriye kalan veri gölgeleme olarak ele alınmış, ortalama ve standart sapması hesaplanmıştır. Bu ortalama ve standart sapmalı Gauss dağılımı kullanılarak da veriye en uygun gölgeleme modeli oluşturulmuştur.

En uygun yol kaybı modeli, çokyolluluk modeli ve gölgeleme modeli birleştirilerek o veriye ait en uygun model elde edilmiştir. 113 ölçüm çalışmasına uydurulan en uygun modellerin genel sonuçları şöyledir:

- Yol kaybı modeli olarak 71 ölçüme iki-ışın yol kaybı modeli ve 42 ölçüme log-mesafe yol kaybı modeli daha uygun elde edilmiştir.
- Çokyolluluk etkisi 63 ölçümde Rician ve 50 ölçümde Nakagami-m dağılımı ile modellenmiştir.
- Gölgelemenin standart sapması 0.52 dB ile 5,12 dB arasındadır.
- Modeller ve ölçümler arasındaki R^2 değerini 0.21–0.97 arasında değişmekte ve ortalaması ise 0.8'dir.
- Model ve ölçümler arasındaki RMSE değerleri 2,38–13,3 dB arasında değişmektedir.



Log-mesafe ve iki-ışın yol kaybı modelleriyle modellenen bazı ölçümlerde model ile ölçüm arasında karakteristik olarak uyum olmasına rağmen aralarında belirli bir sapma oluşmuştur. Bu sapmanın sebebi iki-ışın modelinin mesafeye karşın yol kaybı oranının sabit olup, parametrelerinin değişmesiyle ortama uyarlanamamasıdır. Bu problemi çözmek ve aradaki sapmayı minimize etmek için log-mesafe ve iki-ışın yol kaybı modellerinin birleştirilmesiyle elde ettiğimiz ve “log-ray” olarak adlandırılan yeni bir model önerilmiştir. Tüm ölçümler log-mesafe, iki-ışın ve log-ray ile tekrar modellenmiştir. Ölçümlerin 76’sı log-ray modeline, 32’si log-mesafe modeline ve 5’i iki-ışın modeline daha uyumlu çıkmıştır. Böylece karakteristik olarak iki-ışın modeline uygun olan ancak mesafeye karşın yol kaybının iki-ışın modelinkinden daha şiddetli veya daha zayıf olduğu ölçümlerin modellenmesinde oluşan sapma log-ray modeliyle giderilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında genel olarak şu katkılar sunulmuştur;

- Araçlar-arası haberleşme kanalı ölçüm çalışmaları kapsamında 7 farklı ortamda toplam 113 ölçüm gerçekleştirilmiştir.
- Ortamların karakteristiği hakkında bilgi vermesi ve literatürdeki benzer ortamlar ile kıyaslamak için tüm ölçümlerin n değeri hesaplanmıştır. Bu değer 1.13–8.14 arasında değiştiği ortaya konmuştur. Literatürde en çok veri paylaşılan anayol, kent ve yarıkent için n değerinin ağırlıklı ortalama değerleri sırasıyla 1.73, 2.44 ve 2.06 olarak hesaplanmıştır. Literatürde ise bu ortamlar için hesaplanmış n değerleri anayolda 1.59–2.78 arasında, kentte 1.47–3.36 arasında ve yarıkentte 1.53–3.41 arasındadır.
- n değeri hesaplanırken sabit d_0 ve PL_{d_0} almanın hataya sebep olabileceği durumu saptanmış ve bunun için ortamlar için optimum d_0 mesafesine dayalı en uygun n değerinin bulunması için bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşım araştırma makalesi olarak yayınlanmış ve bu çalışmada ortamların n değeri buradaki yaklaşım kullanılarak elde edilmiştir.
- Ölçümler yol kaybı, gölgeleme ve çokyolluluk olarak üç bileşene ayrılarak her biri ayrı ayrı modellendikten sonra bu üç model birleştirilerek tüm ölçümlere özgü en uygun modeller önerilmiştir.
- İki-ışın yol kaybı modelinin karakteristiğine sahip ortamların ölçüm ve modelleri arasında sapmalar oluşmuş ve bunun giderilmesi için log-mesafe yol kaybı



modelinin n , d_0 ve PL_{d0} parametreleriyle, iki-ışın yol kaybı modelinin ϵ_r parametresinin bir fonksiyonu olan ve “log-ray” olarak adlandırılan yeni bir model önerilmiştir.

- Ölçümler log-ray modeli de dahil edildikten sonra tekrar modellenmiş ve 113 ölçümün 76’sı log-ray modeline, 32’si log-mesafe modeline ve 5’i iki-ışın modeline uyum sağlamıştır.
- 7 farklı ortam için ortalama yol kaybı modelleri önerilmiş ve bu modellerin teorik olarak elde edilebilmesi için n , d_0 , PL_{d0} ve ϵ_r parametrelerinin ağırlıklı ortalama değerleri verilmiştir. Ayrıca bu ortamlardan elde edilen model parametrelerinin en alt ve en üst değerleri ile modeller hesaplanıp ortalama model ile aralarında oluşabilecek maksimum hata verilmiştir.
- Anayol, yarıkent, dağ ve ağaç gibi ortamlar için log-ray modelinin; bina, kent ve verici alıcı arasına yoğun engellerin girdiği ortamlarda da log-mesafe modelinin daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.
- Literatürde anayol, kent ve yarıkent ortamlarında 5 ile 5.9 GHz arasında yapılan çalışmalarda elde edilen n değerleriyle modeller üretilmiştir. Bu modeller ile tezde önerilen ortalama modeller arasında fark değerleri hesaplanmıştır. Anayol ortamının fark değerleri oldukça düşük çıkarken kent ve yarıkent ortamları yüksek çıkmıştır. Bu da anayol ortamlarının birbirine benzer bir yapıya sahip olmasına rağmen, kent ve yarıkent senaryolarının çok değişken olduğunu göstermiştir.

Bu tez çalışması kapsamında elde edilen bilgiler doğrultusunda aşağıdaki çalışmaların yapılması önerilir:

- DSRC OBU cihazlarının kaydettiği RSSI değeri ile yol kaybı analizi yapılabilmesine rağmen frekansa bağlı parametrelerin analizi gerçekleştirilememiştir. Farklı ortamlarda sinyal üretici ve spektrum analizörü kullanılarak frekansa bağlı parametrelerin analizi için ölçümler gerçekleştirilebilir.
- DSRC standartlarına göre üretilmiş OBU’lar kullanılarak farklı ortamlar için ölçüm çalışmalarından n değerleri elde edilmiştir. Bu değerler farklı ortamlardaki maksimum V2V haberleşme mesafesini belirlemek için bir bilgi vermektedir. Kaza önleme gibi kritik uygulamalarda bu mesafenin yeterli olup olmadığı konusunda çalışmalar yapılabilir.



- DSRC tabanlı V2V haberleşmede yalnızca OBU'ların gönderdiği bilgiler değil kamera ve sensör gibi araca monte edilmiş diğer aygıtlardan gelen verilerin işlenerek diğer araçlara gönderilmesi planlanmaktadır. Bu kapsamda, DSRC OBU'lar ile araçlar arasında gönderilen veri paketlerinin içeriği, kamera ve sensör gibi sistemlerden alınan bilgiler doğrultusunda geliştirilebilir ve V2V haberleşmeye dayalı güvenlik uygulamaları gerçekleştirilebilir.
- Akıllı ulaşım sistemlerinde OBU'lar V2V haberleşmede, RSU (road side unit)'lar V2I yani araç ve altyapı arasındaki haberleşmede kullanılır. Bu çalışmada yalnızca OBU'lar kullanılmıştır. Hem OBU hem de RSU'lardan oluşan bir ölçüm düzeneği kurularak kör noktaların olduğu ortamlarda alınan sinyal gücünün nasıl değiştiği gözlemlenebilir.



4. KAYNAKLAR

1. Organization, W. H., World health statistics 2020: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals, (2020) . World Health Organization, 2020.
2. Organization, W. H., World health statistics 2018: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals, (2018) . World Health Organization, 2018.
3. ULUSAL AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ STRATEJİ BELGESİ ve 2020-2023 EYLEM PLANI 1, T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanl., (2020) .
4. Amendment of the Commission's Rules Regarding Dedicated Short-Range Communication Services in the 5.850-5.925 GHz Band (5.9 GHz Band), .
5. Kenney, B. J. B., Dedicated Short-Range Communications (DSRC) Standards in the United States, 99, 7 (2011) .
6. Campolo, C. and A. Molinaro, Multichannel communications in vehicular Ad Hoc networks: A survey, IEEE Commun. Mag., 51, 5 (2013) 158–169.
7. Bayless, S., A. Guan, A. Shaw, M. Johnson, G. Pruitt, and B. Abernathy, Recommended Practices for DSRC Licensing and Spectrum Management: A Guide for Management, Regulation, Deployment, and Administration for a Connected Vehicle Environment, December 2015 (2015) .
8. Rappaport, T. S. and others, Wireless communications: principles and practice, (1996) . prentice hall PTR New Jersey, 1996.
9. Issariyakul, T. and E. Hossain, Introduction to network simulator 2 (NS2), , in *Introduction to network simulator NS2*, (2009) , Springer, 2009, 1–18.
10. Riley, G. F. and T. R. Henderson, The ns-3 network simulator, , in *Modeling and tools for network simulation*, (2010) , Springer, 2010, 15–34.
11. Boban, M., J. Barros, and O. K. Tonguz, Geometry-based vehicle-to-vehicle channel modeling for large-scale simulation, IEEE Trans. Veh. Technol., 63, 9 (2014) 4146–4164.
12. Goldsmith, A., Wireless communications, (2005) . Cambridge university press, 2005.
13. Cheng, L., B. E. Henty, D. D. Stancil, F. Bai, and P. Mudalige, Mobile vehicle-to-vehicle narrow-band channel measurement and characterization of the 5.9 GHz Dedicated Short Range Communication (DSRC) frequency band, IEEE J. Sel. Areas Commun., 25, 8 (2007) 1501–1516.
14. Cheng, L., B. E. Henty, F. Bai, and D. D. Stancil, Highway and rural propagation channel modeling for vehicle-to-vehicle communications at 5.9 GHz, 2008 IEEE Int. Symp. Antennas Propag. Usn. Natl. Radio Sci. Meet. APSURSI, 6611, 1 (2008) 4–5.



15. Papoulis, A. and S. U. Pillai, Probability, random variables, and stochastic processes, (2002) . Tata McGraw-Hill Education, 2002.
16. Devore, J. L., Probability and Statistics for Engineering and the Sciences, (2011) . Nelson Education, 2011.
17. Akaike, H., A New Look at the Statistical Model Identification, IEEE Trans. Automat. Contr., 19, 6 (1974) 716–723.
18. Maurer, J., T. Fugen, and W. Wiesbeck, Narrow-band measurement and analysis of the inter-vehicle transmission channel at 5.2 GHz, , IEEE 55th Vehicular Technology Conference, 02, Spring, (2002) , 1274–1278.
19. Sen, I., D. W. Matolak, and W. Xiong, Wireless channels that exhibit “worse than rayleigh” fading: Analytical and measurement results, Proc. - IEEE Mil. Commun. Conf. MILCOM, (2006) .
20. Matolak, D. W., Channel modeling for vehicle-to-vehicle communications, IEEE Commun. Mag., 46, 5 (2008) 76–83.
21. Rodrigo-Peñarrocha, V. M., J. Reig, L. Rubio, H. Fernández, and S. Loredó, Analysis of Small-Scale Fading Distributions in Vehicle-to-Vehicle Communications, Mob. Inf. Syst., 2016, (2016) .
22. Paier, A. *et al.*, First results from car-to-car and car-to-infrastructure radio channel measurements at 5.2 GHz, IEEE Int. Symp. Pers. Indoor Mob. Radio Commun. PIMRC, (2007) 3–7.
23. Tan, I., W. Tang, K. Laberteaux, and A. Bahai, Measurement and analysis of wireless channel impairments in DSRC vehicular communications, IEEE Int. Conf. Commun., (2008) 4882–4888.
24. Karedal, J. *et al.*, Radio channel measurements at street intersections for vehicle-to-vehicle safety applications, IEEE VIEEE Veh. Technol. Conf., (2010) .
25. Sen, I. and D. W. Matolak, Vehicle-vehicle channel models for the 5-GHz band, IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., 9, 2 (2008) 235–245.
26. Matolak, D. W. and J. Frolik, Worse-than-Rayleigh fading: Experimental results and theoretical models, IEEE Commun. Mag., 49, 4 (2011) 140–146.
27. Abbas, T., J. Karedal, and F. Tufvesson, Measurement-based analysis: The effect of complementary antennas and diversity on vehicle-to-vehicle communication, IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., 12, (2013) 309–312.
28. Wang, Q., D. W. Matolak, and B. Ai, Shadowing Characterization for 5-GHz Vehicle-to-Vehicle Channels, IEEE Trans. Veh. Technol., 67, 3 (2018) 1855–1866.
29. Kunisch, J. and J. Pamp, Wideband car-to-car radio channel measurements and model at 5.9 GHz, IEEE Veh. Technol. Conf., (2008) 1–5.



30. Karedal, J., N. Czink, A. Paier, F. Tufvesson, and A. F. Molisch, Path Loss Modeling for Vehicle-to-Vehicle Communications, Veh. Technol. IEEE Trans., 60, 1 (2011) 323–328.
31. Guan, K. *et al.*, 5-GHz Obstructed Vehicle-to-Vehicle Channel Characterization for Internet of Intelligent Vehicles, IEEE Internet Things J., 6, 1 (2019) 100–110.
32. Fernández, H., L. Rubio, J. Reig, V. M. Rodrigo-Peñarrocha, and A. Valero, Path loss modeling for vehicular system performance and communication protocols evaluation, Mob. Networks Appl., 18, 6 (2013) 755–765.
33. Mhz, C., H. Fernández, L. Rubio, V. M. Rodrigo-peñarrocha, and J. Reig, Path Loss Characterization for Vehicular Under LOS and NLOS Conditions, 13, EuCAP (2014) 931–934.
34. Fernandez, H., L. Rubio, V. M. Rodrigo-Penarrocha, and J. Reig, Path loss characterization for vehicular communications at 700 MHz and 5.9 GHz under LOS and NLOS conditions, IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., 13, (2014) 931–934.
35. Al-Hourani, A., S. Chandrasekharan, G. Baldini, and S. Kandeepan, Propagation measurements in 5.8GHz and pathloss study for CEN-DSRC, 2014 Int. Conf. Connect. Veh. Expo, ICCVE 2014 - Proc., (2014) 1086–1091.
36. Karlsson, K. *et al.*, Utilizing Two-Ray Interference in Vehicle-to-Vehicle Communications, EuCAP (2014) 2544–2547.
37. Abbas, T., K. Sjöberg, J. Karedal, and F. Tufvesson, A Measurement Based Shadow Fading Model for Vehicle-to-Vehicle Network Simulations, Int. J. Antennas Propag., 2015, (2015) 1–12.
38. Rubio, L., V. M. Rodrigo-Penarrocha, J. Reig, and H. Fernandez, Investigation of the path loss propagation for V2V communications in the opposite direction, 2016 IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp. APSURSI 2016 - Proc., (2016) 1685–1686.
39. Ibdah, Y. and Y. Ding, Path Loss Models for Low-Height Mobiles in Forest and Urban, Wirel. Pers. Commun., 92, 2 (2017) 455–465.
40. Cheng, L., B. Henty, D. D. Stanci, F. Bai, and P. Mudalige, A fully mobile, GPS enabled, vehicle-to-vehicle measurement platform for characterization of the 5.9 GHz DSRC channel, IEEE Antennas Propag. Soc. AP-S Int. Symp., (2007) 2005–2008.
41. Lin, C., E. H. Benjamin, D. S. Daniel, and B. Fan, Doppler component analysis of the suburban vehicle-to-vehicle DSRC propagation channel at 5.9 GHz, 2008 IEEE Radio Wirel. Symp. RWS, (2008) 343–346.
42. Campuzano, A. J. *et al.*, Vehicular-to-Vehicular Channel Characterization and Measurement Results, (2012) 15–24.
43. Cheng, L., D. D. Stancil, and F. Bai, A roadside scattering model for the Vehicle-To-Vehicle communication channel, IEEE J. Sel. Areas Commun., 31, 9 (2013) 449–459.



44. He, R. *et al.*, Vehicle-to-Vehicle Radio Channel Characterization in Crossroad Scenarios, IEEE Trans. Veh. Technol., 65, 8 (2016) 5850–5861.
45. Paier, A. *et al.*, Car-to-car radio channel measurements at 5 GHz: Pathloss, power-delay profile, and delay-Doppler spectrum, Proc. 4th IEEE International Symp. Wirel. Commun. Syst. 2007, ISWCS, (2007) 224–228.
46. Cheng, L., B. Henty, F. Bai, and D. D. Stancil, Doppler spread and coherence time of rural and highway vehicle-to-vehicle channels at 5.9 GHz, GLOBECOM - IEEE Glob. Telecommun. Conf., (2008) 4180–4185.
47. Matolak, D. W., I. Sen, and W. Xiong, Channel modeling for V2V communications, , 2006 3rd Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, MobiQuitous, 06, (2006) , 1–7.
48. Cheng, L., B. Henty, R. Cooper, D. D. Stancil, and F. Bai, Multi-path propagation measurements for vehicular networks at 5.9 GHz, IEEE Wirel. Commun. Netw. Conf. WCNC, (2008) 1239–1244.
49. Paier, A. *et al.*, Characterization of vehicle-to-vehicle radio channels from measurements at 5.2 GHz, Wirel. Pers. Commun., 50, 1 (2009) 19–32.
50. Wang, P. J., C. M. Li, and H. J. Li, Influence of the shadowing on the information transmission distance in inter-vehicle communications, IEEE Int. Symp. Pers. Indoor Mob. Radio Commun. PIMRC, (2009) 3015–3019.
51. Abbas, T., L. Bernado, A. Thiel, C. F. Mecklenbrauker, and F. Tufvesson, Measurements based channel characterization for vehicle-to-vehicle communications at merging lanes on highway, 2013 IEEE 5th Int. Symp. Wirel. Veh. Commun. WiVeC 2013 - Proc., (2013) .
52. Vlastaras, D., T. Abbas, M. Nilsson, R. Whiton, M. Olback, and F. Tufvesson, Impact of a truck as an obstacle on vehicle-to-vehicle communications in rural and highway scenarios, 2014 IEEE 6th Int. Symp. Wirel. Veh. Commun. WiVeC 2014 - Proc., (2014) .
53. Karedal, J. *et al.*, Measurement-based modeling of vehicle-to-vehicle MIMO channels, IEEE Int. Conf. Commun., (2009) .
54. Maurer, J., T. Fügen, and W. Wiesbeck, A ray-optical channel model for vehicular ad-hoc networks, 11th Eur. Wirel. Conf. 2005 - Next Gener. Wirel. Mob. Commun. Serv. Eur. Wirel. 2005, (2005) .
55. Molina-Garcia-Pardo, J. M., M. Lienard, A. Nasr, and P. Degauque, Wideband analysis of large scale and small scale fading in tunnels, Proc. - 2008 8th Int. Conf. Intell. Transp. Syst. Telecommun. ITST 2008, (2008) 270–273.
56. Liu, P., D. W. Matolak, B. Ai, and R. Sun, Path loss modeling for vehicle-to-vehicle communication on a slope, IEEE Trans. Veh. Technol., 63, 6 (2014) 2954–2958.



57. Liu, P., B. Ai, D. W. Matolak, and R. Sun, V2V path loss modeling for example 5 GHz overpass channels, IEEE Veh. Technol. Conf., 2015-Janua, January (2014) 1–5.
58. Liu, P., B. Ai, D. W. Matolak, R. Sun, and Y. Li, 5-GHz Vehicle-to-Vehicle Channel Characterization for Example Overpass Channels, IEEE Trans. Veh. Technol., 65, 8 (2016) 5862–5873.
59. Yang, M. *et al.*, V2V channel characterization and modeling for underground parking garages, China Commun., 16, 9 (2019) 93–105.
60. Kukshya, V. and H. Krishnan, Experimental measurements and modeling for vehicle-to-vehicle Dedicated Short Range Communication (DSRC) wireless channels, IEEE Veh. Technol. Conf., (2006) 223–227.
61. Mangel, T., O. Klemp, and H. Hartenstein, 5.9 GHz inter-vehicle communication at intersections: a validated non-line-of-sight path-loss and fading model, Eurasip J. Wirel. Commun. Netw., 2011, 1 (2011) 182.
62. Boban, M., R. Meireles, J. Barros, O. Tonguz, and P. Steenkiste, Exploiting the height of vehicles in vehicular communication, IEEE Veh. Netw. Conf. VNC, (2011) 163–170.
63. Schumacher, H. *et al.*, Vehicle-to-Vehicle IEEE 802.11p performance measurements at urban intersections, IEEE Int. Conf. Commun., (2012) 7131–7135.
64. Boban, M., W. Viriyasitavat, and O. Tonguz, Modeling vehicle-to-vehicle line of sight channels and its impact on application-layer performance, VANET 2013 - Proc. 10th ACM Int. Work. Veh. Inter-NETworking, Syst. Appl., (2013) 91–93.
65. Onubogu, O., K. Ziri-Castro, D. Jayalath, S. Demmel, and H. Suzuki, Doppler and pathloss characterization for vehicle-to-vehicle communications at 5.8 GHz, 2014 Australas. Telecommun. Networks Appl. Conf. ATNAC 2014, (2015) 58–64.
66. Onubogu, O., K. Ziri-Castro, D. Jayalath, K. Ansari, and H. Suzuki, Empirical vehicle-to-vehicle pathloss modeling in highway, suburban and urban environments at 5.8 GHz, 2014, 8th Int. Conf. Signal Process. Commun. Syst. ICSPCS 2014 - Proc., (2014) 7–12.
67. Roivainen, A., P. Jayasinghe, J. Meinilau, V. Hovinen, and M. Latva-Aho, Vehicle-to-vehicle radio channel characterization in urban environment at 2.3 GHz and 5.25 GHz, IEEE Int. Symp. Pers. Indoor Mob. Radio Commun. PIMRC, 2014-June, (2014) 63–67.
68. Wang, Y., J. Hu, Y. Zhang, and C. Xu, Reliability evaluation of IEEE 802.11p-based vehicle-to-vehicle communication in an urban expressway, Tsinghua Sci. Technol., 20, 4 (2015) 417–428.
69. Lv, F. *et al.*, An empirical study on urban IEEE 802.11p vehicle-to-vehicle communication, 2016 13th Annu. IEEE Int. Conf. Sensing, Commun. Networking, SECON 2016, (2016) .



70. Joo, J., O. S. Eyobu, D. S. Han, and H. J. Jeong, Measurement based V2V path loss analysis in urban NLOS scenarios, Int. Conf. Ubiquitous Futur. Networks, ICUFN, 2016-Augus, (2016) 73–75.
71. Nilsson, M. G., C. Gustafson, T. Abbas, and F. Tufvesson, A path loss and shadowing model for multilink vehicle-to-vehicle channels in urban intersections, Sensors (Switzerland), 18, 12 (2018) 1–19.
72. Gani, S. M. O., Y. P. Fallah, and S. A. Ahmad, Identifying DSRC Channel Loss Factors of Urban Intersections Using RSS Datasets, IEEE Veh. Technol. Conf., 2018-Augus, (2018) 1–7.
73. Yang, M. *et al.*, Path Loss Analysis and Modeling for Vehicle-To-Vehicle Communications with Vehicle Obstructions, 2018 10th Int. Conf. Wirel. Commun. Signal Process. WCSP 2018, (2018) .
74. Shui, Y. *et al.*, Vehicle-to-vehicle radio channel characteristics for congestion scenario in Dense Urban region at 5.9GHz, Int. J. Antennas Propag., 2018, (2018) .
75. Li, C. *et al.*, V2V Radio Channel Performance Based on Measurements in Ramp Scenarios at 5.9 GHz, IEEE Access, 6, (2018) 7503–7514.
76. Chang, F., W. Chen, J. Yu, C. Li, F. Li, and K. Yang, Vehicle-to-Vehicle Propagation Channel Performance for Overtaking Cases Based on Measurements, IEEE Access, 7, (2019) 1–1.
77. Bai, F. and H. Krishnan, Reliability analysis of DSRC wireless communication for vehicle safety applications, IEEE Conf. Intell. Transp. Syst. Proceedings, ITSC, (2006) 355–362.
78. Kihei, B., J. A. Copeland, and Y. Chang, Improved 5.9GHz V2V short range path loss model, Proc. - 2015 IEEE 12th Int. Conf. Mob. Ad Hoc Sens. Syst. MASS 2015, (2015) 244–252.
79. Ibdah, Y. and Y. Ding, Mobile-to-Mobile Channel Measurements at 1.85 GHz in Suburban Environments, Ieee Trans. Commun., 63, 2 (2015) 466–475.
80. R.~Meireles, M.~Boban, P.~Steenkiste, O.~Tonguz, and J.~Barros, Experimental Study on the Impact of Obstructions in Vehicular Ad Hoc Networks, Proc. IEEE Veh. Networks Conf., (2010) 338–345.
81. Schumacher, H. and H. Tchouankem, Highway propagation modeling in VANETS and its impact on performance evaluation, 2013 10th Annu. Conf. Wirel. On-Demand Netw. Syst. Serv. WONS 2013, (2013) 178–185.
82. Kokalj-Filipovic, S., L. Greenstein, B. Cheng, and M. Gruteser, Methods for extracting V2V propagation models from imperfect RSSI field data, 2015 IEEE 82nd Veh. Technol. Conf. VTC Fall 2015 - Proc., (2015) 1–5.



83. Nilsson, M. G., C. Gustafson, T. Abbas, and F. Tufvesson, A Measurement-Based Multilink Shadowing Model for V2V Network Simulations of Highway Scenarios, IEEE Trans. Veh. Technol., 66, 10 (2017) 8632–8643.
84. Chandrasekharan, S., A. Al-Hourani, K. Magowe, L. Reynaud, and S. Kandeepan, Propagation measurements for D2D in rural areas, 2015 IEEE Int. Conf. Commun. Work. ICCW 2015, (2015) 639–645.
85. Yin, J., G. Holland, T. Elbatt, F. Bai, and H. Krishnan, DSRC channel fading analysis from empirical measurement, First Int. Conf. Commun. Netw. China, ChinaCom '06, November (2006) .
86. Miucic, R., Z. Popovic, and S. M. Mahmud, Experimental characterization of DSRC signal strength drops, IEEE Conf. Intell. Transp. Syst. Proceedings, ITSC, (2009) 311–315.
87. Boban, M., T. T. V. Vinhoza, M. Ferreira, J. Barros, and O. K. Tonguz, Impact of vehicles as obstacles in Vehicular Ad Hoc Networks, IEEE J. Sel. Areas Commun., 29, 1 (2011) 15–28.
88. Sommer, C., S. Joerer, and F. Dressler, On the applicability of Two-Ray path loss models for vehicular network simulation, IEEE Veh. Netw. Conf. VNC, (2012) 64–69.
89. Segata, M., B. Bloessl, S. Joerer, C. Sommer, R. Lo Cigno, and F. Dressler, Short paper: Vehicle shadowing distribution depends on vehicle type: Results of an experimental study, IEEE Veh. Netw. Conf. VNC, (2013) 242–245.
90. Chen, Y. and B. Chamadiya, Propagation model for vehicle to vehicle LOS communication in foliage scenario, 2014 Int. Conf. Connect. Veh. Expo, ICCVE 2014 - Proc., (2014) 1120–1125.
91. He, R., A. F. Molisch, F. Tufvesson, Z. Zhong, B. Ai, and T. Zhang, Vehicle-to-vehicle propagation models with large vehicle obstructions, IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., 15, 5 (2014) 2237–2248.
92. He, R., A. F. Molisch, F. Tufvesson, Z. Zhong, B. Ai, and T. Zhang, Vehicle-to-vehicle channel models with large vehicle obstructions, 2014 IEEE Int. Conf. Commun. ICC 2014, (2014) 5647–5652.
93. Joo, J., H. J. Jeong, and D. S. Han, Verification of Fresnel Zone Clearance for Line-of-sight Determination in 5.9 GHz Vehicle-to-Vehicle Communications, Wirel. Pers. Commun., 101, 1 (2018) 239–249.
94. Cheng, L. and H. Wu, A study on rush hour vehicular communication blockage, IEEE Antennas Propag. Soc. AP-S Int. Symp., (2011) 829–831.
95. Theodorakopoulos, A., P. Papaioannou, T. Abbas, and F. Tufvesson, A geometry based stochastic model for MIMO V2V channel simulation in cross-junction scenario, 2013 13th Int. Conf. ITS Telecommun. ITST 2013, (2013) 290–295.



96. Jeong, Y., J. W. Chong, H. Shin, and M. Z. Win, Intervehicle communication: Cox-fox modeling, IEEE J. Sel. Areas Commun., 31, 9 (2013) 418–433.
97. Abbas, T. and F. Tufvesson, Line-of-sight obstruction analysis for vehicle-to-vehicle network simulations in a two-lane highway scenario, Int. J. Antennas Propag., 2013, ii (2013) .
98. Wu, T., J. Wang, Y. Liu, W. Deng, and J. Deng, Image-based modeling and simulating physical channel for vehicle-to-vehicle communications, Ad Hoc Networks, 19, (2014) 75–91.
99. Gustafson, C., T. Abbas, D. Bolin, and F. Tufvesson, Statistical Modeling and Estimation of Censored Pathloss Data, IEEE Wirel. Commun. Lett., 4, 5 (2015) 569–572.
100. Gustafson, C., T. Abbas, D. Bolin, and F. Tufvesson, Tobit Maximum-likelihood estimation of Censored Pathloss Data, (2016) 0–8.
101. Mostajeran, E., R. M. Noor, M. H. Anisi, I. Ahmady, and F. A. Khan, A realistic path loss model for real-time communication in the urban grid environment for Vehicular Ad hoc Networks, KSII Trans. Internet Inf. Syst., 11, 10 (2017) 4698–4716.
102. Stadler, C., T. Gruber, R. German, and D. Eckhoff, A Line-of-Sight probability model for VANETs, 2017 13th Int. Wirel. Commun. Mob. Comput. Conf. IWCMC 2017, (2017) 466–471.
103. Sinnott, R. W., Virtues of the Haversine, Sky Telesc., 68, (1984) 159.
104. Dupleich, D. *et al.*, Multi-band Characterization of Path-loss, Delay, and Angular Spread in V2V Links, IEEE Int. Symp. Pers. Indoor Mob. Radio Commun. PIMRC, 2018-Septe, (2018) 85–90.
105. He, R., Z. Zhong, B. Ai, L. Xiong, and J. Ding, The effect of reference distance on path loss prediction based on the measurements in high-speed railway viaduct scenarios, Proc. 2011 6th Int. ICST Conf. Commun. Netw. China, CHINACOM 2011, (2011) 1201–1205.
106. Kuzulugil, K., Z. Hasirci, and I. H. Cavdar, Optimum reference distance based path loss exponent determination for vehicle-to-vehicle communication, Turkish J. Electr. Eng. Comput. Sci., 28, 5 (2020) 2956–2967.



ÖZGEÇMİŞ

İlköğretimi Dadaşkent İlkokulunda, ortaöğretimini Sabancı Ortaokulunda ve Liseyi Erzurum Lisesi'nde 2003 yılında tamamladıktan sonra aynı yıl Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2007 yılında mezun olduktan sonra 2007 Aralık-2008 Aralık arasında vatani görevini hava piyade asteğmen olarak yaptı. 2009 yılında Gümüşhane Üniversitesi Kelkit Aydın Doğan Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümünde öğretim elemanı olarak göreve başladı ve aynı yıl Atatürk Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2011 yılında yüksek lisans eğitimini bitirdikten sonra 2012 Ocak'ta Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora eğitimine başladı. 2010 yılından beri Gümüşhane Üniversitesi Kelkit Aydın Doğan Meslek Yüksekokulu'nda Müdür Yardımcısı ve bölüm başkanı olarak görev almış olup, halen Elektronik ve Otomasyon Bölümü'nde bölüm başkanlığı görevini yürütmektedir. Evli ve üç çocuk sahibidir. Orta derece İngilizce bilmektedir.

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler (SCI/SCI-E)

1. KUZULUGİL, K., HASIRCI, Z., & CAVDAR, I. H, "Optimum reference distance based path loss exponent determination for vehicle-to-vehicle communication," *Turkish J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 28, no. 5, pp. 2956–2967, 2020.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler

1. KUZULUGİL, K., HASIRCI, Z., & CAVDAR, I. H. "The Effect of Buildings, Number of Vehicles, and Road Types on Vehicle to Vehicle (V2V) Communication Channel", *7th International Conference on Advanced Technologies (ICAT18)*, Antalya, Türkiye, 28 Nisan - 01 Mayıs 2018
2. KUZULUGİL, K., HASIRCI TUĞCU, Z., & ÇAVDAR, İ. H. , (2020). "Vehicle to Vehicle Communication Channel Measurements on a Vertical Curve Road", *9th International Conference on Advanced Technologies (ICAT'xx20)*, İstanbul, Turkey.
3. KUZULUGİL, K., HASIRCI TUĞCU, Z., & ÇAVDAR, İ. H. , (2020). "Experimental Measurements on The Effect of Vehicle Movement Direction on Received Signal Power in V2V Communication", *9th International Conference on Advanced Technologies (ICAT'xx20)*, İstanbul, Turkey.

