KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

SUALTI AKUSTİĞİ İÇİN VERİ TEMELLİ KANAL KESTİRİMİ VE MODELLENMESİ

MEHMET ALİ ÇAVUŞLU

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

SUALTI AKUSTİĞİ İÇİN VERİ TEMELLİ KANAL KESTİRİMİ VE MODELLENMESİ

MEHMET ALİ ÇAVUŞLU

Doç. Dr. Suhap ŞAHİN		
Danışman,	**Kocaeli Üniversitesi**	**.....**
Doç. Dr. Serhat YILMAZ		
Jüri Üyesi,	**Kocaeli Üniversitesi**	**.....**
Prof. Dr. Cihan KARAKUZU		
Jüri Üyesi,	**Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi**	**.....**
Dr. Öğr. Üyesi Burak İNNER		
Jüri Üyesi,	**Kocaeli Üniversitesi**	**.....**
Dr. Öğr. Üyesi Oktay AYTAR		
Jüri Üyesi,	**Abant İzzet Baysal Üniversitesi**	**.....**

Tezin Savunulduğu Tarih: 26.08.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, Erdek bölgesine ait derinliğe bağlı sıcaklık, tuzluluk ve ses hızı verileri kullanılarak bölgenin aylara ait bant genişliği, kapasite ve iletim gücü model parametrelerinin kestirimi gerçekleştirilmiştir. Literatürde önerilen frekansa bağımlı yaklaşımların aksine ölçüm verilerine dayalı olarak oluşturulan modeller ile sualtı ortamında meydana gelen değişimlerin etkisi hesaplamalara doğrudan dahil edilmiştir.

Tez çalışmamda ve doktora eğitimim süresince desteğini esirgemeyen, tezimin her aşamasında sorunlarımı dinleyerek, görüşleri ile çalışmalarıma katkıda bulunan ve yoğun akademik yaşamında değerli zamanını her türlü problemimi çözmeye ayıran tez danışmanım saygı değer hocam Doç. Dr. Suhap ŞAHİN'e içtenlikle teşekkür ederim.
Tez çalışmam boyunca gösterdiği destek ve anlayış için Dr. Serdar ÖZEN'e,
Tez çalışmama gösterdikleri desteklerinden dolayı Koç Bilgi ve Savunma Teknolojileri A.Ş. ailesine,
Çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen Hikmetcan ÖZCAN ve Mehmet Ali ALTUNCU'ya teşekkürü borç bilirim.

Ağustos – 2020 Mehmet Ali ÇAVUŞLU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ix
ÖZET x
ABSTRACT xi
GİRİŞ 1
1. SUALTI AKUSTİK ORTAMI VE MODELLENMESİ 5
1.1. Ses Hızı 5
1.2. Ses Basınç Seviyesi (SBS) 7
1.3. Ses Şiddet Seviyesi (SŞS) 8
1.4. Sonar Eşitlikleri 9
1.5. Ortam Gürültüsü 9
1.5.1. Termal gürültü 10
1.5.2. Yüzey gürültüsü 10
1.5.3. Gemi trafiği gürültüsü 11
1.5.4. Türbülans gürültüsü 12
1.5.5. Toplam ortam gürültüsü 13
1.6. İletim Kayıpları 13
1.6.1. Yayılımdan dolayı oluşan kayıplar 14
1.6.2. Dağılmadan dolayı oluşan kayıplar 15
1.6.3. Önerilen emilim kayıp parametreleri 19
1.6.4. Toplam iletim kayıplarının hesaplanması 20
1.7. Çok Yolluluk Etkisi 21
1.7.1. Çok yolluluğun frekansa etkisi 23
2. SUALTI AKUSTİK KANAL KESTİRİMİ 25
2.1. Toplam Sinyal Zayıflaması ve Sinyal Gürültü Oranı 25
2.2. Bant Genişliği ve Kapasite 26
2.2.1. Çok yolluğun etkisi 35
2.2.2. Eş değer bit SNR 36
3. ÖLÇÜM VERİLERİ KULLANILARAK KANAL KESTİRİMİ 38
3.1. Temmuz 2018 Verilerinin Analizleri 39
3.2. Ağustos 2018 Verilerinin Analizleri 42
3.3. Eylül 2018 Verilerinin Analizleri 46
3.4. Ekim 2018 Verilerinin Analizleri 50
3.5. Kasım 2018 Verilerinin Analizleri 54
3.6. Aralık 2018 Verilerinin Analizleri 58
3.7. Ocak 2019 Verilerinin Analizleri 62
3.8. Şubat 2019 Verilerinin Analizleri 66
3.9. Mart 2019 Verilerinin Analizleri 70
3.10. Nisan 2019 Verilerinin Analizleri 74
3.11. Mayıs 2019 Verilerinin Analizleri 78

4. SONUÇLAR 84
KAYNAKLAR 88
EKLER 92
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER 94
ÖZGEÇMİŞ 98

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Derinliğe bağlı ses hızı değişimleri 7
Şekil 1.2. Akustik sinyallerin ses hızına bağlı olarak davranışları 8
Şekil 1.3. Sualtı ortamında termal gürültü frekans karakteristiği 10
Şekil 1.4. Sualtı ortamında yüzey gürültüsü frekans karakteristiği 11
Şekil 1.5. Sualtı ortamında gemi trafiği gürültü frekans karakteristiği 12
Şekil 1.6. Sualtı ortamında türbülans gürültü frekans karakteristiği 12
Şekil 1.7. Sualtı ortamında toplam gürültü frekans karakteristiği 13
Şekil 1.8. Küresel yayılım 14
Şekil 1.9. Silindirik yayılım 14
Şekil 1.10. Farklı sıcaklık değerlerinde emilim miktarı değişimleri 17
Şekil 1.11. Farklı tuzluluk oranlarında emilim miktarı değişimleri 18
Şekil 1.12. Farklı derinlik mesafelerinde emilim miktarı değişimleri 18
Şekil 1.13. Çalışma [41]'de önerilen frekansa bağlı emilim miktarının değişimi 19
Şekil 1.14. Emilim kayıplarının karşılaştırılması 20
Şekil 1.15. Kaynaktan algılayıcıya çok yolluluk etkisi 22
Şekil 1.16. Farklı gecikmelere ilişkin frekans yanıtları 24
Şekil 2.1. Dar bant SNR'ın frekansa bağımlılığı 26
Şekil 2.2. Mesafeye bağlı en iyi frekanslar 27
Şekil 2.3. 3 dB bant genişliği 28
Şekil 2.4. SNR_0 = 20 dB ve silindirik yayılım için mesafeye bağlı a) bant genişliği ve kapasite, b) iletim gücü 29
Şekil 2.5. SNR_0 = 20 dB ve pratik yayılım için mesafeye bağlı a) bant genişliği ve kapasite, b) iletim gücü 29
Şekil 2.6. SNR_0 = 20 dB ve küresel yayılım için mesafeye bağlı a) bant genişliği ve kapasite değerleri, b) iletim gücü değerleri 30
Şekil 2.7. SNR 20 dB için hesaplanan ve model parametreleri hesaplanan mesafeye bağlı a)bant genişliği değerleri b)kapasite değerleri 31
Şekil 2.8. SNR 20 dB için hesaplanan ve model parametreleri hesaplanan mesafeye bağlı iletim gücü değerleri 32
Şekil 2.9. SNR 0 dB için hesaplanan ve model parametreleri ile hesaplanan mesafeye bağlı a) bant genişliği değerleri b) kapasite değerleri 33
Şekil 2.10. SNR 0 dB için hesaplanan ve model parametreleri hesaplanan mesafeye bağlı iletim gücü değerleri 34
Şekil 2.11. SNR 30 dB için hesaplanan ve model parametreleri hesaplanan mesafeye bağlı a)bant genişliği değerleri b)kapasite değerleri 35
Şekil 2.12. SNR 30 dB için mesafeye bağlı iletim gücü 35
Şekil 2.13. 0 dB Dip/yüzey zayıflamasında mesafeye bağlı kapasite ve bant genişliği 36
Şekil 2.14. 1 dB Dip/yüzey zayıflamasında mesafeye bağlı kapasite ve bant genişliği 37
Şekil 2.15. SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri 37

Şekil 3.1. Erdek bölgesi ölçüm alanı 38
Şekil 3.2. Kaynak-alıcı arasındaki ilişkinin gösterimi 39
Şekil 3.3. Temmuz 2018 kayıtlarının derinliğe bağlı gösterimi 40
Şekil 3.4. Temmuz 2018 kayıtlarına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 40
Şekil 3.5. Çalışma [40]'da önerilen parametreler ile Temmuz ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 41
Şekil 3.6. Tez kapsamında önerilen parametreler ile Temmuz ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 42
Şekil 3.7. Temmuz ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri 43
Şekil 3.8. Ağustos 2018 kayıtlarının derinliğe bağlı gösterimi 44
Şekil 3.9. Ağustos 2018'de alınan kayıtların her güne ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 44
Şekil 3.10. Çalışma [40]'da önerilen parametreler ile Ağustos ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 45
Şekil 3.11. Tez kapsamında önerilen parametreler ile Ağustos ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 46
Şekil 3.12. Ağustos ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri 47
Şekil 3.13. Eylül 2018 kayıtlarının derinliğe bağlı gösterimi 48
Şekil 3.14. 22 Eylül 2018 kayıtlarına ait mesafeye bağlı a)bant genişliği b)kapasite c) iletim gücü 48
Şekil 3.15. Çalışma [40]'da önerilen parametreler ile Eylül ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 49
Şekil 3.16. Tez kapsamında önerilen parametreler ile Eylül ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 50
Şekil 3.17. Eylül ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri 51
Şekil 3.18. Ekim 2018 kayıtlarının derinliğe bağlı gösterimi 52
Şekil 3.19. Ekim 2018'de kayıtların mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 52
Şekil 3.20. Çalışma [40]'da önerilen parametreler ile Ekim ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 53
Şekil 3.21. Tez kapsamında önerilen parametreler ile Ekim ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 54
Şekil 3.22. Ekim ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri 55
Şekil 3.23. Kasım 2018 kayıtlarının derinliğe bağlı gösterimi 55
Şekil 3.24. Kasım 2018 kayıtlarına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 56
Şekil 3.25. Çalışma [40]'da önerilen parametreler ile Kasım ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 57
Şekil 3.26. Tez kapsamında önerilen parametreler ile Kasım ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 58
Şekil 3.27. Kasım ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri 59
Şekil 3.28. Aralık 2018 tarihlerinde alınan ölçümlerin derinliğe bağlı gösterimi a) sıcaklık b) tuzluluk c) ses hızı 59

Şekil 3.29. Aralık 2018 kayıtlarına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 60
Şekil 3.30. Çalışma [40]'da önerilen parametreler ile Aralık ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 61
Şekil 3.31. Tez kapsamında önerilen parametreler ile Aralık ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 62
Şekil 3.32. Aralık ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri 63
Şekil 3.33. 7 Ocak 2019 tarihlerinde alınan ölçümlerin derinliğe bağlı gösterimi 64
Şekil 3.34. Ocak 2019 kayıtlarına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 64
Şekil 3.35. Çalışma [40]'da önerilen parametreler ile Ocak ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 65
Şekil 3.36. Tez kapsamında önerilen parametreler ile Ocak ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 66
Şekil 3.37. Ocak ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri 67
Şekil 3.38. Şubat 2019 tarihlerinde alınan ölçümlerin derinliğe bağlı gösterimi 67
Şekil 3.39. Şubat 2019 kayıtlarına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 68
Şekil 3.40. Çalışma [40]'da önerilen parametreler ile Şubat ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 69
Şekil 3.41. Tez kapsamında önerilen parametreler ile Şubat ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 70
Şekil 3.42. Şubat ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri 71
Şekil 3.43. Mart 2019 tarihlerinde alınan ölçümlerin derinliğe bağlı gösterimi 71
Şekil 3.44. Mart 2019 kayıtlarına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 72
Şekil 3.45. Çalışma [40]'da önerilen parametreler ile Mart ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 73
Şekil 3.46. Tez kapsamında önerilen parametreler ile Mart ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 74
Şekil 3.47. Mart ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri 75
Şekil 3.48. Nisan 2018 tarihlerinde alınan ölçümlerin derinliğe bağlı gösterimi 76
Şekil 3.49. Nisan 2019'da alınan kayıtların her güne ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 76
Şekil 3.50. Çalışma [40]'da önerilen parametreler ile Nisan ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 77
Şekil 3.51. Tez kapsamında önerilen parametreler ile Nisan ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 78
Şekil 3.52. Nisan ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri 79

Şekil 3.53. Mayıs 2019 tarihlerinde alınan ölçümlerin derinliğe bağlı gösterimi 79
Şekil 3.54. Mayıs 2019 kayıtların her güne ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 80
Şekil 3.55. Çalışma [40]'da önerilen parametreler ile Mayıs ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 81
Şekil 3.56. Tez çalışmasında önerilen parametreler ile Mayıs ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü 82
Şekil 3.57. Mayıs ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri 83

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Ölçüm verileri kullanılarak farklı frekanslardaki emilim kayıpları 21
Tablo 2.1. SNR 20 dB için kanal model parametreleri 31
Tablo 2.2. SNR 0 dB için kanal model parametreleri 33
Tablo 2.3. SNR 30 dB için kanal model parametreleri 34
Tablo 3.1. Temmuz 2018 için oluşturulan kanal model parametreleri 41
Tablo 3.2. Ağustos 2018 için oluşturulan kanal model parametreleri 45
Tablo 3.3. Eylül 2018 için oluşturulan kanal model parametreleri 49
Tablo 3.4. Ekim 2018 için oluşturulan kanal model parametreleri 53
Tablo 3.5. Kasım 2018 için oluşturulan kanal model parametreleri 57
Tablo 3.6. Aralık 2018 için oluşturulan kanal model parametreleri 61
Tablo 3.7. Ocak 2019 için oluşturulan kanal model parametreleri 65
Tablo 3.8. Şubat 2019 için oluşturulan kanal model parametreleri 69
Tablo 3.9. Mart 2019 için oluşturulan kanal model parametreleri 73
Tablo 3.10. Nisan 2019 için oluşturulan kanal model parametreleri 77
Tablo 3.11. Mayıs 2019 için oluşturulan kanal model parametreleri 81

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

CDT : Conductivity, Temperature, Depth (İletkenlik, Sıcaklık, Derinlik)
DK : Dağılım Kayıpları
GS : Gürültü Seviyesi
HK : Hedef Kuvvet
İK : İletim Kaybı
KBS : Koç Bilgi ve Savunma Teknolojileri
KHz : Kilo Hertz
KS : Kaynak Seviyesi
SBS : Ses Basınç Seviyesi
SNR : Signal to Noise Ratio (Sinyal Gürültü Oranı)
SŞS : Ses Şiddet Seviyesi
TE : Tespit Eşik Seviyesi
YK : Yayılım Kayıpları
YNK : Yönlülük Katsayısı

SUALTI AKUSTİĞİ İÇİN VERİ TEMELLİ KANAL KESTİRİMİ VE MODELLENMESİ

ÖZET

Sualtı ortamına yönelik haberleşme ve algılayıcı teknolojilerinde meydana gelen gelişmelerle ile birlikte noktadan noktaya haberleşmenin sağlanabilmesine yönelik yeni teknikler ortaya çıkmıştır. Kaotik yapısından dolayı sualtı ortamında oluşan kanallar içerisinde haberleşme link kalitesini ve performansını etkileyen birçok olumsuz faktör barındırmaktadır. Bu olumsuz faktörler kaynakla alıcı arasında veri aktarımını doğrudan etkilemektedir. Örneğin su altı akustik haberleşme kanalında, akustik enerjinin ısıya aktarılması nedeniyle oluşan emilim kaybı, iletilen işaretin frekansına bağlıdır. Emilim kaybı frekansa ek olarak derinlik, sıcaklık, tuzluluk, pH ve ses hızına bağlı olarak değişmektedir ve sistem tarafından kullanılacak bant genişliğini ve iletişim için gerekli mesafeyi doğrudan etkilemektedir. Bu tez çalışmasında, Türkiye'nin Balıkesir ili Erdek ilçesinin sualtı ortamında oluşan kanalların sıcaklık, tuzluluk, derinlik ve ses hızı değişimlerinin kanal bant genişliği, kanal kapasitesi ve iletim gücü üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Tez kapsamında, Erdek bölgesinde saha testlerinde kayıt altına alınan derinliğe bağlı sıcaklık, tuzluluk ve ses hızı verileri kullanılarak bant genişliği, kapasite ve iletim gücü model parametrelerinin kestirimleri gerçekleştirilmiştir. Yayılım kaybı hesaplamalarında silindirik, küresel ve pratik yayılım modelleri kullanılmıştır. Emilim kaybı hesaplarında literatürde gerçekleştirilen çalışmaların aksine sadece frekansa bağlı yaklaşım kullanmak yerine, ölçüm verileri kullanılarak sualtı ortamında meydana gelen değişimlerin etkisi de kanal kestirim hesaplarına dâhil edilerek gerçekçi modeller oluşturulmuştur. Emilim kaybı hesapları için basitleştirilmiş emilim kaybı parametreleri tez kapsamında önerilmiştir. Ölçüm verileri kullanılarak kestirilen kanal model parametreleri, farklı SNR değerleri referans alınarak oluşturulmuştur. Tez kapsamında kestirimi yapılan kanal modellerin, analizler sonucunda elde edilen çıktılar ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bant Genişliği, İletim Gücü, Kapasite, Sualtı Akustik Kanalı

DATA BASED CHANNEL ESTIMATION AND MODELING FOR UNDERWATER ACOUSTIC

ABSTRACT

Due to the developments in communications and sensor technologies for underwater environment, new techniques have emerged to ensure point-to-point communication. Due to their chaotic nature, underwater communication channels contain many adverse factors affecting the communication link quality and its performance. These adverse factors directly affect the data transfer between the source and the receiver. For example, for the underwater acoustic communication channel, the absorption loss which occurs due to conversion of acoustic energy into heat is dependent on the frequency of the transmitted signal. Absorption loss variation depends on depth, temperature, salinity, pH and speed of sound, as well as frequency, and it directly affects the bandwidth used by the system and the distance required for reliable communication. In this thesis, the effects of variation of temperature, salinity, depth and sound velocity on the channel bandwidth, channel capacity and transmission power of the channels formed in the underwater environment in the Erdek region of the Balıkesir province of Turkey, were examined. Within the scope of the thesis, the estimations of bandwidth, capacity and transmission power model parameters were made by using temperature, salinity and sound velocity data relative to depth recorded. Cylindrical, spherical and practical propagation models are used to compute the propagation loss. In contrast to the studies performed in the literature regarding absorption loss calculations, instead of using only the frequency-dependent approach, realistic models have been created by including the effect of changes in the underwater environment in the channel estimation calculations using measurement data. Simplified absorption loss parameters for absorption loss calculations are proposed in the thesis. The channel model parameters estimated using the measurement data were created at different SNR values as reference. It has been observed that the channel models estimated within the scope of the thesis are compatible with the outputs obtained from the analysis.

Keywords: Bandwidth, Transmission Power**,** Capacity, Underwater Acoustic Channel

GİRİŞ

Son zamanlarda akustik haberleşme teknolojisinde meydana gelen gelişmeler, sualtı ağların geliştirilmesine yönelik çalışmaların artmasını sağlamıştır [1]. Gerçekleştirilen bu çalışmaların sonucu olarak, yüksek hızlı sualtı akustik iletişim tekniklerinin ortaya çıkması ve sualtı ortamında çalışacak algılayıcı teknolojisindeki gelişmeler [2] ile noktadan noktaya iletişimin özerk sualtı ağlarına entegrasyonuna yönelik çalışmalar hız kazanmıştır [3].

Sualtı ortamında oluşan kanallar, ortamının kaotik yapısı [4] nedeni ile günümüzde kullanılan en zor iletişim ortamlarından biri olarak kabul edilmektedir [5]. Sualtı ortamında akustik yayılım en iyi düşük frekanslarda gerçekleşmektedir ve iletişim için kullanılabilir mevcut bant genişliği son derece sınırlıdır [6]. Örneğin, 15 KHz ila 18 KHz arasındaki bir frekans aralığında çalışan akustik sistemde iletişim için gerekli toplam bant genişliği karasal kablosuz sistemlere göre düşük olmasına rağmen (3 KHz) [7], sistem sualtı ortamı için geniş bantlı olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle sualtı akustik sistemlerde tanımlı bant genişliği merkez frekansa göre ihmal edilememektedir [8].

Sualtı akustik kanalında ortam gürültüsünün sürekli değişken olması, sez hızının sıcaklık, tuzluluk ve asitlik oranına göre değişkenlik göstermesi, kanal içerisinde kullanılabilecek kablosuz ağların tasarımını doğrudan etkilemektedir [9]. Literatürde gerçekleştirilen çalışmalarda ise sualtı akustik kanalları, genellikle kaynak alıcı arasındaki mesafe ve sinyal frekansına bağlı olarak iletim kaybı ile karakterize edilmiştir [10].

Akustik kanal kapasitesi, belirli bir gücü sahip kaynak ile belirli bir mesafedeki alıcı arasında oluşan akustik kanal tarafından desteklenebilecek (kuramsal olarak) en yüksek veri hızını belirler [11]. Sinyal frekansı ise, akustik enerjinin ısıya aktarılması nedeniyle kaynak-alıcı arasındaki mesafeye bağlı olarak oluşan emilim kaybını belirler. Bu durum, kullanılabilir bant genişliğinin iletişim mesafesine bağlılığını ifade eder. Ortaya çıkan bant genişliği sınırlaması, akustik yayılım fiziği tarafından

belirlendiği gibi, dönüştürücü (transdüser) cihazlarının kısıtlamaları nedeni ile belirlenemeyen temel bir sınırlamadır [12].

Çalışma [11]'de bant genişliği kısıtlamaları olan ve olmayan tek bir kaynak alıcı çifti için sığ su dalga kılavuzunun kanal kapasitesini belirlemek amacı ile geniş bant akustik yayılım modeli uygulanmıştır. Çalışma kapsamında oluşturulan ilk kanal kapasitesi tahminleri, 1995 SWARM deneyinde ölçülen ortalama ses hızı profili kullanılarak mesafeden bağımsız bir ortam için elde edilmiştir. Kaynaktan dolayı meydana gelen bant genişliği kısıtlamalarına maruz kalan kanal kapasitelerinin, sonar denklem analizi tarafından öngörülen üst sınırlardan yaklaşık % 30 - % 90 daha düşük olduğu ve rüzgâr hızına bağımlı olduğu belirtilmiştir.

Çalışma [8]'de akustik yayılım kaybı ve ortam gürültüsü fiziksel modelleri dikkate alınarak analitik bir yöntem kullanımıyla mesafe ile bant genişliği arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Çalışmada, zamanla değişen tek yol kullanılmıştır. Çalışma kapsamında bant genişliği sınırlamasını değerlendirmek amacıyla, teorik yaklaşım önerilmiştir ve en uygun sinyal gücü seviyesine karşılık gelen bant genişliği tanımlanmıştır. Bant genişliği ve kanal kapasitesinin değerlerinin belirlenmesinin yanı sıra mesafenin fonksiyonları olarak önceden belirlenmiş bir SNR eşiğine ulaşmak için gereken iletim gücünün sayısal değerlendirmesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, akustik ağların tasarımında ve analizinde yararlı araçlar haline gelebilecek kapalı form yaklaşımları ortaya çıkarmıştır.

Çalışma [10]'da ağ optimizasyonu için kullanışlı sualtı akustik kanalının izlenebilir bir modeli oluşturularak sualtı akustik ağlarda güç iletimi için ağ kodlama tekniği tabanlı alt sınır önerilmiştir ve bu sınırların ağ katmanındaki performansları karşılaştırılmıştır. Sualtı akustik kanalı, sinyal frekansı ve iletim mesafesine bağlı bir yol kaybıma uğratıldıktan sonra karakterize edilmiştir. Oluşturulan Gasusian gürültü senaryosu için güç, iletim bandı, mesafe ve kapasite arasındaki gerçek ilişkinin çözülmesinin güç olduğu belirtilen çalışmada; iletim gücü, mesafe ve kapasitenin bir fonksiyonu olarak en uygun frekans bandı kullanımı için bir yakın form yaklaşım modeli sunulmuştur. Model akustik yayılım kaybı ve ortam gürültüsünün fiziksel model hesaplamalarını kapsayan analitik sonuçlarının nümerik değerlendirilmesi yoluyla elde edilmiştir.

Çalışma [13]'de akustik kanal modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan kanal modelinde, farklı otlatma açıları ve dip tipleri için yüzey yansımaları ile meydana gelen zayıflamalar hesaplanmıştır. Ortam gürültüsünün oluşturulması için ise gemi yoğunluğu gürültüsü, termal gürültü, türbülans gürültüsü dikkate alınmıştır.

Çalışma [14]'de, akustik kanalın zamanla değişen dürtü yanıtını değerlendiren Sualtı Akustik Kanalı Emülatör (EUAC) aracı geliştirilmiştir. Geliştirilen araç, deniz testlerine gerek kalmadan herhangi bir sinyal iletişim tasarımı için kanal çıktısının tahmin edilmesini sağlar. Böylece aracın, zaman ve kaynak tasarrufu sağladığı belirtilmiştir. Aracın kullanılmasında deniz testleri ile veri tabanı oluşturulması gerektiği bildirilmiştir.

Çalışma [15]'de 10-40 metre derinlik, 1-3 km menzil, 11.2 kHz ve 17.5 kHz frekanslarında deniz ortamında ölçümler alınarak kanal modeli oluşturulmuştur. Çalışmada ampirik mod ayrışmasına dayandırılarak oluşturulan kanalın birkaç dakika boyunca durağan rastgele süreç olarak davrandığı sonucuna varılmıştır. Kanal yanıtı birkaç çok yollu sinyaller içerdiğinde kanal kapasitesinin genellikle Shannon kapasitesine yakın olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma [16]'da akustik yayılımın fiziksel yasalarını (frekansa bağlı zayıflama, dip / yüzey yansımaları) ve rastgele yer değiştirmelerin etkilerini içeren bir istatistiksel kanal modeli önerilmiştir. Çalışmada büyük ölçekli kazanç ve mikro çok yollu bileşenlerinden oluşan her bir yayılma yolu, karmaşık bir Gauss distorsiyonunun kümeli sonucu olarak modellenmiştir. Yol katsayılarının zaman ve frekans korelasyon özellikleri analitik olarak değerlendirilmiştir. Sayısal kanal benzetimi için hesaplamalı olarak verimli bir model oluşturulmuştur. Kanalda bulunan toplam enerji log-normal dağıtılmış olarak modellenmiştir. Modeller dört farklı deneyden elde edilen gerçek veriler kullanılarak doğrulanmıştır.

Çalışma [17]'de sualtı akustik kanal dürtü yanıtının enerjisinin durağanlığı çalışılmış ve durağanlık özelliğinin sahip olduğu aralığın tahminini elde etmişlerdir. Çalışmada Ekim 2008'de Martha's Vineyard Adası yakınlarında toplanan SPACE08 veri seti kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında, Erdek bölgesinde toplanan derinlik, sıcaklık, tuzluluk ve CDT ölçüm ucu tarafından hesaplanan ses hızı bilgileri kullanılarak bölgenin aylara ait bant genişliği, kapasite ve iletim gücü model parametrelerinin kestirimi gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalara frekansla birlikte sualtı ortamında meydan gelen değişimlerin etkisi de dahil edilerek mevsimsel etkiler irdelenmiştir. Tez kapsamında kaynaktan yayılan sinyallerin alıcı da çok yollu olarak alındığı varsayımı yapılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Farklı SNR ve farklı iletim gücü değerlerinde eşdeğer bit SNR değerleri de tez kapsamında hesaplanmıştır. Analizlerde yayılım kaybı olarak silindirik, küresel ve pratik yayılım modelleri kullanılmıştır. Emilim kaybı için literatürde kullanılan yaklaşımla beraber tez kapsamında önerilen emilim kaybı parametreleri de kullanılmıştır.

Tezin organizasyonu şu şekildedir. Bölüm 1'de temel sualtı akustiği, sualtı ortamının modellenmesi ve sualtı ortamında meydana gelen kayıplar hakkında bilgiler anlatılmıştır. Bölüm 2'de literatürde sunulan genel yaklaşımlar kullanılarak bant genişliği, kapasite ve iletim gücü model parametrelerinin hesaplanması ile eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir. Bölüm 3'te Temmuz 2018 ile Mayıs 2019 tarihleri arasında Erdek bölgesinde alınan kayıtlar kullanılarak sualtı ortamında meydana gelen değişimlerin kanal üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Bölüm 4'te gerçekleştirilen analizlerde elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

1. SUALTI AKUSTİK ORTAMI VE MODELLENMESİ

Bu bölümde sualtı akustik akustiği hakkında temel bilgilere ek olarak özellikle tez kapsamında kullanılacak olan sualtı ortamının modellenmesi, sualtı ortamında meydana gelen kayıplar ve çok yolluluk hakkında bilgiler verilecektir.

1.1. Ses Hızı

Sualtı akustik sinyaller, bir cismin (gemi pervanesi ve motoru, gemideki metal cisimler, deniz canlıları, dalgalar, vb.) hareketinin (titreşim, çarpma, vb.) oluşturduğu işitilebilen frekans bandında veya dışında ses dalgaları olarak tanımlanır. Ses dalgaları, oluşturdukları basınçla su moleküllerini hareket ettirerek sualtında çok uzak mesafelere yayılırlar [18].

Sualtı ortamında en önemli akustik değişken ses hızıdır. Ses hızının sualtı ortamındaki dağılımı diğer tüm akustik olayları doğrudan etkiler. Deniz yüzeyinin durumu ile deniz tabanının yapısının bilinmesi, ses hızının davranışına yönelik sınır koşullarının belirlenmesi için önemlidir. Ortamda meydana gelen batimetrik değişiklikler de sesin yayılmasını engelleyen faktörlerdendir. Sualtında bulunan biyolojik organizmalar gürültü kaynağı olarak değerlendirilir ve sesi dağıtarak daha uzun mesafelere ulaşmasını engeller [19].

Ses hızı, üç ana temel nicelik olan tuzluluk, sıcaklık ve basınç parametrelerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu temel niceliklerin aksine diğer fiziksel özelliklerin sualtı ortamında ses hızına etkisi diğer etkenlere görece yok denecek kadar azdır [18]. Bu temel nicelikler göz önünde bulundurularak sualtı ortamında ses hızının hesaplanmasına yönelik literatürde farklı yöntemler sunulmuştur. Denklem (1.1) - (1.3)'de literatürde en fazla tercih edilen hesaplama yöntemleri verilmiştir.

Denklem (1.1)'de Leroy [20] tarafından tanımlanan ses hızı hesaplama yöntemi, Denklem (1.2)'de Medwin [21] tarafından tanımlanan ses hızı hesaplama yöntemi ve Denklem (1.3)'de Mackenzie [22] tarafından tanımlanan ses hızı hesaplama yöntemi gösterilmiştir.

Denklemlerde tanımlı T °C cinsinden sıcaklık değerini, D metre cinsinden derinlik değerini ve S pratik tuzluluk birimleri (p.s.u.- practical salinity units) cinsinden tuzluluk değerini göstermektedir. Denklemlerden de görüleceği üzere geliştirilen modeller ses hızının hesaplanmasında farklı sınır değerlerine sahiptirler.

$$c = \begin{cases} 1492.9 + 3(T-10) - 6(T-10)^2 10^{-3} & -2^\circ \le T \le 24.5^\circ \\ -4(T-18)^2 10^{-2} + 1.2(S-35) & 30 \le S \le 42 \\ -10^{-2}(T-18)(S-35) + \dfrac{D}{61} & 0 \le D \le 1000 \end{cases} \quad (1.1)$$

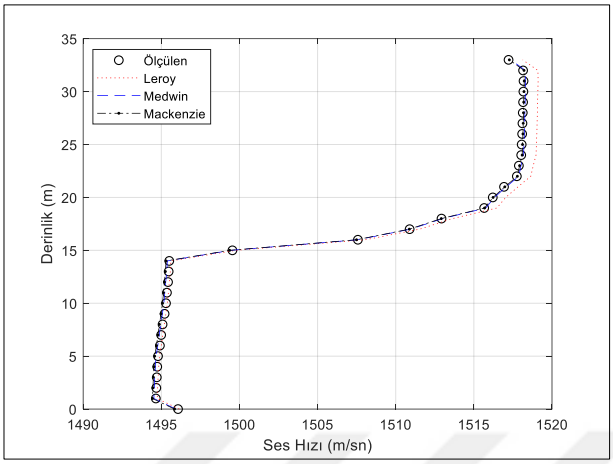
$$c = \begin{cases} 1449.2 + 4.6T - 5.5T^2 10^{-2} & 0^\circ \le T \le 35^\circ \\ +2.9T^3 10^{-4} + (1.34 - T10^{-2})(S-35) & 0 \le S \le 45 \\ +1.6D10^{-2} & 0 \le D \le 1000 \end{cases} \quad (1.2)$$

$$c = \begin{cases} 1448.96 + 4.591T - 5.304T^2 10^{-2} + 2.374T^3 10^{-4} & 0^\circ \le T \le 30^\circ \\ +1.340(S-35) + 1.630D10^{-2} + 1.675D^2 10^{-7} & 30 \le S \le 40 \\ -1.025T10^{-2}(S-35) - 7.139TD^3 10^{-13} & 0 \le D \le 8000 \end{cases} \quad (1.3)$$

Marmara denizinde CDT ölçüm ucu [23] kullanılarak gerçekleştirilen ölçümlerde alınan derinliğe bağlı tuzluluk ve sıcaklık verileri Denklem (1.1) - Denklem (1.3)'de tanımlanan modellere uygulanmıştır. Şekil 1.1.'de modeller sonucunda elde edilen ses hızı profilleri ile kaydedilen derinliğe bağlı ses hızı profili gösterilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan verilerin her bir modele ait sınır değerleri ile uyumluluğu göz önünde bulundurulmuştur.

Şekil 1.2.'de ses hızına bağlı olarak sualtı ortamında akustik sinyallerin davranışları gösterilmiştir. Ses hızının derinlikle beraber azalması durumu negatif eğim olarak ifade edilmekte ve genellikle yaz aylarında oluşmaktadır. Bu durumda kaynak-alıcı arası mesafe arttıkça akustik sinyallerde kırılmalar meydana gelmesi nedeni ile akustik sinyaller uzak mesafelere taşınamazlar (Şekil 1.2.a). Ses hızının derinlikle beraber artması durumu pozitif eğim olarak ifade edilmekte ve genellikle kış aylarında oluşmaktadır. Bu durumda akustik sinyaller uzak mesafelere taşınabilirler (Şekil 1.2.b). Ses hızının derinlikle beraber önce azalıp daha sonra artması durumunda ses kanalı oluşur ve akustik sinyaller bu kanal içerisinde hareket ederler (Şekil 1.2.c). Şekil

1.2.'den de görüleceği üzere akustik sinyaller ses hızının en düşük olduğu bölgeye doğru hareket etmektedirler.



Şekil 1.1. Derinliğe bağlı ses hızı değişimleri

1.2. Ses Basınç Seviyesi (SBS)

Bir akustik sinyalin sualtındaki basınç seviyesi genellikle desibel (dB) cinsinden, sinyal basınç seviyesinin referans basınç seviye değerine oranının logaritmasının 20 katı olarak gösterilir (Denklem(1.4)) [24].

$$SBS = 20\log_{10}\frac{B_S}{B_B} \tag{1.4}$$

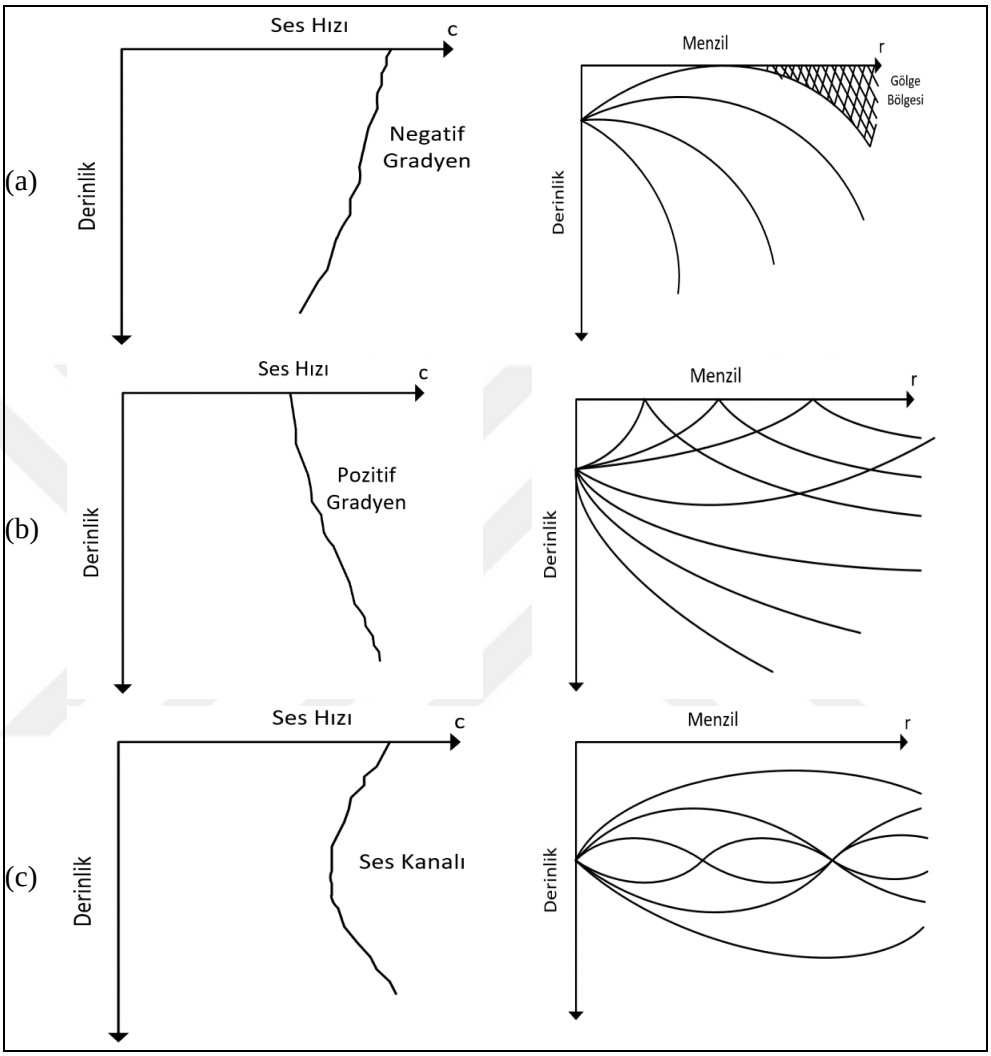
Denklem (1.4)'de B_S sinyalin akustik basınç seviye değeri ve B_B referans basınç seviye değeridir. B_B için geçmişte referans değerleri olarak 0.0002 µb ve 1 µb standart olarak kullanılmıştır. Günümüzde ise 1 µPa yeni standart olarak referans değeri olarak kullanılmaktadır. Bu referans değerlerinin birbiri arasındaki dönüşümleri Denklem (1.5) ve (1.6)'da verilmiştir.

$$SBS_{1\mu Pa} = SBS_{1\mu b} + 100dB \tag{1.5}$$

$$SBS_{0.0002\mu b} = SBS_{1\mu b} + 74dB \tag{1.6}$$

1.3. Ses Şiddet Seviyesi (SŞS)

Akustik sinyallerin büyüklüğü, birim alandan geçen akustik enerji miktarı olan ses dalgası şiddeti (intensity) olarak belirlenir. Sualtında ses dalgaları için referans şiddet



Şekil 1.2. Akustik sinyallerin ses hızına bağlı olarak davranışları

değeri, 1 mikroPaskal (1 μPa) değerinde basınca sahip düzlemsel ses dalgasının şiddeti olarak belirlenmiştir. Herhangi bir akustik sinyalin sualtındaki şiddet seviyesi genellikle desibel (dB) cinsinden, sinyal şiddet seviyesinin referans şiddet seviye değerine oranının logaritmasının 10 katı olarak gösterilir (Denklem (1.7)) [25].

$$SŞS = 10\log_{10}\frac{Ş_S}{Ş_B} \tag{1.7}$$

Denklem (1.7)'de $Ş_S$ sinyalin dB değerinden akustik şiddet seviye değeri ve $Ş_B$ dB değerinden referans şiddet seviye değeridir.

1.4. Sonar Eşitlikleri

Sualtı ortamında kaynaktan yayılan sinyallerin algılayıcı tarafından alınması işlemlerinde en yaygın olarak kullanılan sistemler aktif ve pasif sonarlardır. Denklem (1.8)'de pasif sonar eşitliği ve Denklem (1.9)'da aktif sonar eşitliği verilmiştir [26].

$$KS - İK + YNK = GS + TE \tag{1.8}$$

$$KS - 2İK + HK + Yİ = GS + TE \tag{1.9}$$

Denklem (1.8)'de KS kaynaktan yayılan sinyal seviyesini göstermekte olup birimi bir mikro-Paskal'a referans alınarak desibel (dB) olarak ifade edilir ve dB ref 1μPa şeklinde gösterilir. $İK$, kaynaktan algılayıcıya kadar sinyalin uğradığı iletim kaybı seviyesini (dB), GS ortam gürültü seviyesini (dB ref 1μPa) ifade etmektedir. YNK, algılayıcı yönlülük katsayısı ve TE tespit eşik seviyesi olarak tanımlanmaktadır. Aktif sonarlarda kaynaktan yayılan sinyaller hedeften yansıyarak algılayıcı birim tarafından alınırlar. Bu nedenle kaynak-hedef arasında meydana gelen iletim kaybı Denklem (1.9)'dan da görüleceği üzere 2 katına çıkmaktadır. Ek olarak kaynaktan sinyallerin hedeften yansıması ile oluşan hedef kuvvet (HK) eşitliğe eklenmiştir.

1.5. Ortam Gürültüsü

Ortam gürültüsü, ölçüm yapılacak sistemin bulunduğu noktada alınan ve sistemin gürültüsünden hariç olan gürültüdür. Sualtında meydana gelen ortam gürültüsü hem doğal hem de insan kaynaklı olmak üzere birçok nedenden oluşan gürültülerin toplamıdır. Birçok ortam gürültüsü kaynağı, Gauss istatistiklerine sahip sürekli frekans bantları oluşturur [27].

Literatürde sualtı ortam gürültü seviyesinin modellenmesine ilişkin çeşitli çalışmalar mevcuttur. II. Dünya Savaşı sırasında yapılan ölçümler [28] ile deniz durumuna bağlı olarak her bir frekans karşılık değerindeki gürültü seviyelerinin hesaplanmasına yönelik model ortaya konulmuştur. Bu modele alternatif olarak literatürde sıkılıkla

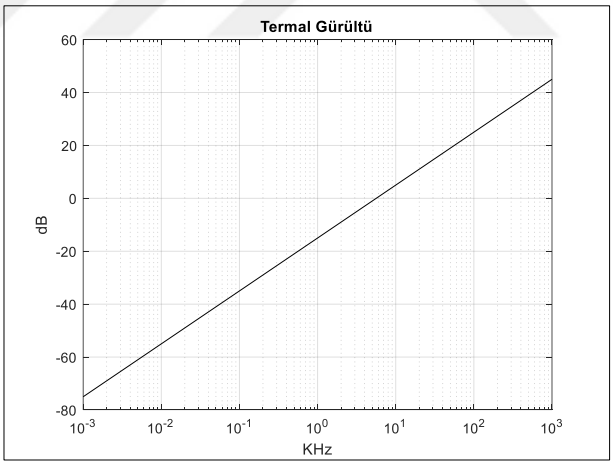
kullanılan sualtı ortam modellerinin oluşturulmasına yönelik çalışmalar Wenz [29], Crouch [30] ve Urick [31] tarafından gerçekleştirilmiştir.

Bu tez kapsamında [32]'de önerilen doğal gürültü kaynaklarından termal gürültü, yüzey gürültüsü ve türbülans gürültüsüne ek olarak, insan kaynaklı gürültülerden gemi trafiği gürültüsü etkileri göz önünde bulundurularak ortam gürültüsü benzetim işlemleri gerçekleştirilmiştir.

1.5.1. Termal gürültü

Temel olarak su moleküllerinin rastgele hareket etmesi ile meydana gelen ve 50 KHz'den daha yüksek frekanslarda baskın olarak gözlemlenen termal gürültü [33], sualtı ortamında gerçekleştirilen akustik ölçümleri olumsuz yönde etkilemektedir [34]. Sualtı ortamında oluşan termal gürültü modeli Denklem (1.10)'da verilmiştir (Şekil 1.3.). Denklem (1.10)'da f KHz cinsinden frekans değerini göstermektedir.

$$GS_{ter}(f) = -15 + 20\log(f) \tag{1.10}$$



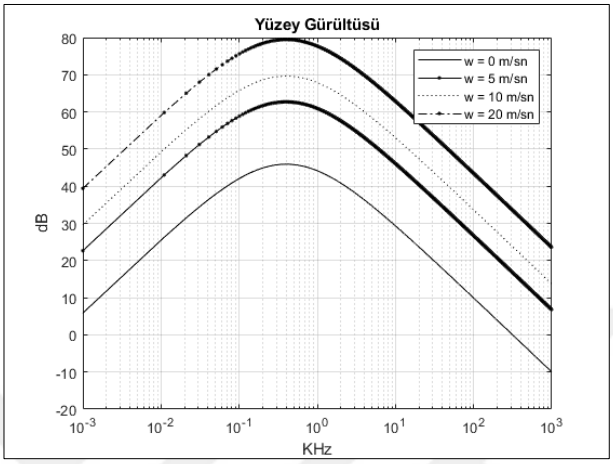
Şekil 1.3. Sualtı ortamında termal gürültü frekans karakteristiği

1.5.2. Yüzey gürültüsü

Yüzey gürültüsü, rüzgâr hızına bağlı olarak farklı seviyelerde su yüzeyi üzerinde meydana gelen gürültüler olarak ifade edilmektedir [35]. Sualtı ortamında oluşan yüzey gürültüsü modeli Denklem (1.11)'de verilmiştir. Denklem (1.11)'de f KHz cinsinden frekans değerini, w m/sn cinsinden rüzgar hızını göstermektedir.

$$GS_{yuz}(f) = 50 + 7.5\sqrt{w} + 20\log(f) - 40\log(f + 0.4) \quad (1.11)$$

Şekil 1.4.'de farklı rüzgâr hızlarında oluşan yüzey gürültüsü frekans karakteristiği gösterilmiştir.



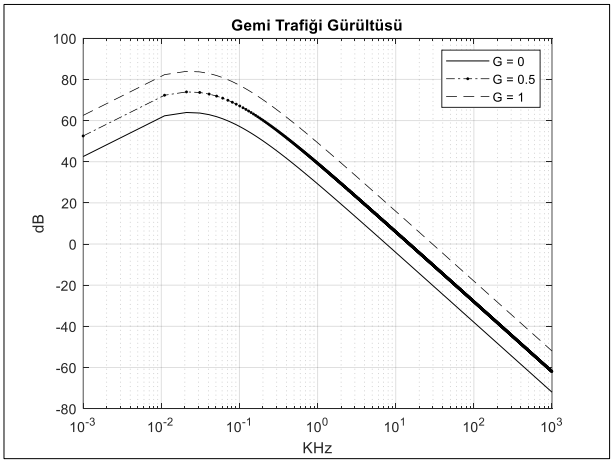
Şekil 1.4. Sualtı ortamında yüzey gürültüsü frekans karakteristiği

1.5.3. Gemi trafiği gürültüsü

Yüzer taşıtlar tarafından sualtı ortamında yayılan akustik gürültü bileşenleri, makina hareketleri, düşürme dişlileri, akış gürültüsü, jeneratör ile tulumba ve fan gibi motorlardan çıkan gürültülerden oluşmakla birlikte, pervanenin yüksek hızlarda oluşturduğu kavitasyon gürültüsü de mevcuttur [36] . Deniz ortamına yayınlanan bu geniş bantlı akustik gürültü genelde 10 Hz ilâ 2 KHz arasında baskın olarak gözlenir [37]. Sualtı ortamında oluşan gemi trafiği gürültüsünün frekans karakteristiği Denklem (1.12)'de verilen formül ile hesaplanır. Denklem (1.12)'de, f KHz cinsinden frekans değerini, G gemi yoğunluğu faktörü değerini [0 1] aralığında ifade etmektedir.

$$GS_{gemi}(f) = 40 + 20(G - 0.5) + 26\log(f) - 60\log(f + 0.03) \quad (1.12)$$

Şekil 1.5.'de $G = 0$, $G = 0.5$ ve $G = 1$ gemi yoğunluğu faktörleri değerlerinde oluşan frekans karakteristiği gösterilmiştir.



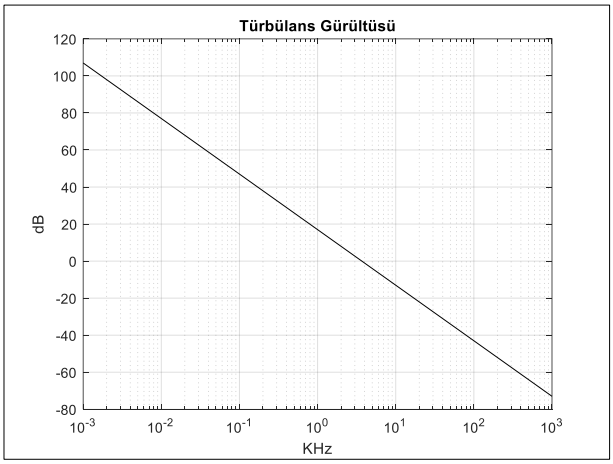
Şekil 1.5. Sualtı ortamında gemi trafiği gürültü frekans karakteristiği

1.5.4. Türbülans gürültüsü

Sualtı ortamında türbülans gürültüsünün, etkisi özellikle düşük frekanslarda (1 Hz – 10 Hz) çok yüksektir [32]. Türbülans gürültüsü frekans karakteristiği Denklem (1.13) ’de verilmiştir (Şekil 1.6.).

$$GS_{turb}(f) = 17 - 30\log(f) \tag{1.13}$$

Denklem (1.13)’de, f KHz cinsinden frekans değerini göstermektedir.



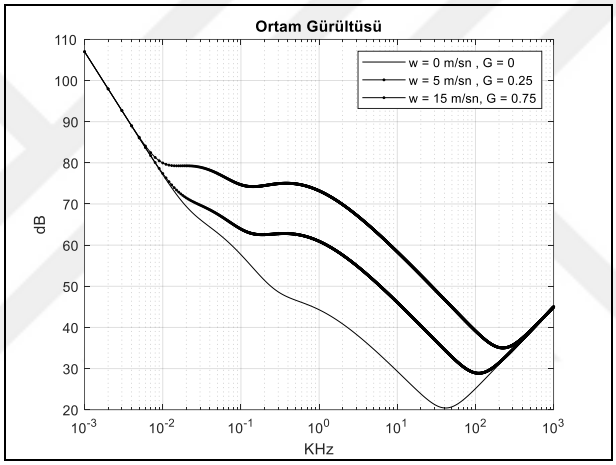
Şekil 1.6. Sualtı ortamında türbülans gürültü frekans karakteristiği

1.5.5. Toplam ortam gürültüsü

Termal gürültü, yüzey gürültüsü, gemi trafiği gürültüsü ve türbülans gürültüsü etkileri göz önünde bulundurularak sualtı ortamına ait toplam gürültü Denklem (1.14)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$GS = 10\log\left(10^{\frac{GS_{ter}}{10}} + 10^{\frac{GSyuz}{10}} + 10^{\frac{GSgemi}{10}} + 10^{\frac{GS_{tur}}{10}}\right) \tag{1.14}$$

Şekil 1.7.'de farklı rüzgâr hızlarında ve gemi trafiği yoğunluklarında ortam gürültüsü frekans karakteristikleri gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Sualtı ortamında toplam gürültü frekans karakteristiği

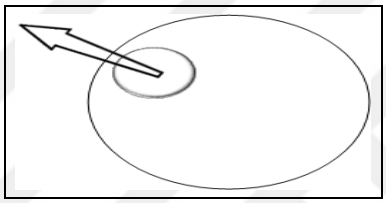
1.6. İletim Kayıpları

Sualtı ortamında iletim kayıpları yayılımdan ve dağılımdan olmak üzere iki şekilde meydana gelmektedir. İletim kaybı (İK) mesafe (r), yayılma faktörü (K) ve frekans (f) değerlerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Denklem (1.15)) [8]. İK , yayılımdan dolayı meydana gelen kayıplar (YK) ile dağılımdan dolayı meydana gelen kayıpların (DK) toplamı olarak ifade edilir [8].

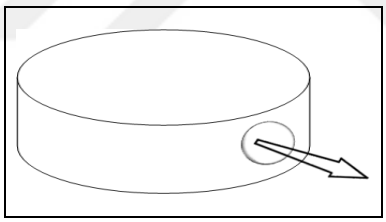
$$İK(r, K, f) = YK(r, K) + DK(r, f) \tag{1.15}$$

1.6.1. Yayılımdan dolayı oluşan kayıplar

Sualtı ortamında bulunan ve bir kaynaktan üretilen ses sinyalleri, bulundukları derinlikteki profile uygun olarak yayılımlarını gerçekleştirerek hedefe ulaşırlar. Literatürde yayılımdan dolayı meydana gelen kayıplar ile ilgili en çok kullanılan modeller küresel ve silindirik yayılım modelleridir. Küresel yayılım modelinde Denklem (1.15)'de tanımlanan yayılım faktörü değeri 20 olmaktadır ve mesafeye bağlı olarak oluşan kayıpların dB cinsinden hesaplanması Denklem (1.16)'da (Şekil 1.8.) verilmiştir. Silindirik yayılım modelinde, yayılım faktörü değeri 10 olmaktadır ve mesafeye bağlı olarak oluşan kayıpların dB cinsinden hesaplanması Denklem (1.17) 'de (Şekil 1.9.) verilmiştir.



Şekil 1.8. Küresel yayılım



Şekil 1.9. Silindirik yayılım

Küresel ve silindirik yayılım modellerinde ses sinyalleri düz hatlar halinde ilerlediği varsayımı yapılmaktadır. Fakat iletim kayıplarının büyük çoğunluğu derinlik, kaynak alıcı arası mesafe ve sualtı ortamına ait profile bağlı olarak silindirik yayılım, küresel veya her iki yayılıma da maruz kalmaktadır. Kaynak algılayıcı arasındaki mesafe ve sualtı ortamına bağlı olarak meydana gelecek yayılım kaybı değişiklikleri göz önünde bulundurularak literatürde pratik yayılım modeli sıklıkla kullanılmaktadır (Denklem (1.18)) ([8], [18]).

$$\mathrm{YK}_{\mathrm{KY}}(\mathrm{r},\mathrm{K}) = 20\log_{10}\mathrm{r} \tag{1.16}$$

$$YK_{SY}(r,K) = 10\log_{10} r \tag{1.17}$$

$$YK_{PY}(r,K) = 15\log_{10} r \tag{1.18}$$

1.6.2. Dağılmadan dolayı oluşan kayıplar

Bu bölümde sualtı ortamında dağılmadan dolayı meydana gelen fiziksel etkiler aşağıda listelenmiştir:

Emilim Kaybı: Sualtı ortamında ses sinyallerinin emilmesi, kaynaktan alıcıya kadar meydana gelen toplam iletim kayıplarının bir parçasıdır. Sinyalin emilmesi sıcaklık, tuzluluk, asitlik gibi ortam parametrelerine bağlı olmakla birlikte sinyal frekansı da emilme ile oluşan kaybı doğrudan etkilemektedir [38].

Sualtı ortamında meydana gelen emilimin modellenmesine yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiştir ve çalışmalar sonucunda çeşitli modeller ortaya konmuştur. Günümüzde yaygın olarak kullanılan modellerinden biri Denklem (1.19)'da gösterilmiştir.

$$\alpha = C_1 \frac{f_1 f^2}{f_1^2 + f^2} + C_2 \frac{f_2 f^2}{f_2^2 + f^2} + C_3 f^2 \tag{1.19}$$

Denklem (1.19)'da ilk terim (C_1) borik asidin ($B(OH)_3$) etkisi ile meydana gelen emilimi göstermektedir. İkinci terim (C_2) ise magnezyum sülfatın ($Mg(SO)_4$) etkisi ile meydana gelen emilimi göstermektedir. Üçüncü terim (C_3) ise saf su etkisi ile meydana gelen emilimi göstermektedir. α emilim miktarını dB/km cinsiden ifade etmektedir [39].

Francois ve Garrison tarafından Denklem (1.19) referans alarak oluşturulan model bu tez kapsamında kullanılmıştır [40]. Bu model (Denklem (1.20)) sıcaklık, tuzluluk, hidrostatik basınç ve frekans bilgilerini kullanarak hesaplama işlemlerini gerçekleştirmektedir. Literatürde gerçekleştirilen deneysel ve teorik çalışmalar [40] nolu çalışmada önerilen modelin doğruluğunu göstermiştir [38].

$$\alpha = A_1 P_1 \frac{f_1 f^2}{f_1^2 + f^2} + A_2 P_2 \frac{f_2 f^2}{f_2^2 + f^2} + A_3 P_3 f^2 \tag{1.20}$$

Denklem (1.20)'de tanımlı A_1 parametresi Denklem (1.21)'de, P_1 parametresi Denklem (1.22)'de, f_1 parametresi Denklem (1.23)'de, c parametresi sez hızını ifade etmektedir ve Denklem (1.24)'de verilmiştir.

$$A_1 = \frac{8.86}{c} 10^{(0.78pH-5)} \tag{1.21}$$

$$P_1 = 1 \tag{1.22}$$

$$f_1 = 2.8\sqrt{\frac{S}{35}} 10^{\left(4-\frac{1245}{T+273}\right)} \tag{1.23}$$

$$c = 1412 + 3.21T + 1.19S + 0.0167D \tag{1.24}$$

Denklem (1.20)'de tanımlı A_2 parametresi Denklem (1.25)'de, P_2 parametresi Denklem (1.26)'da, f_2 parametresi Denklem (1.27)'de verilmiştir.

$$A_2 = 21.44\frac{S}{c}(1 + 0.025T) \tag{1.25}$$

$$P_2 = 1 - 1.37\times10^{-4} D + 6.2\times10^{-9} D^2 \tag{1.26}$$

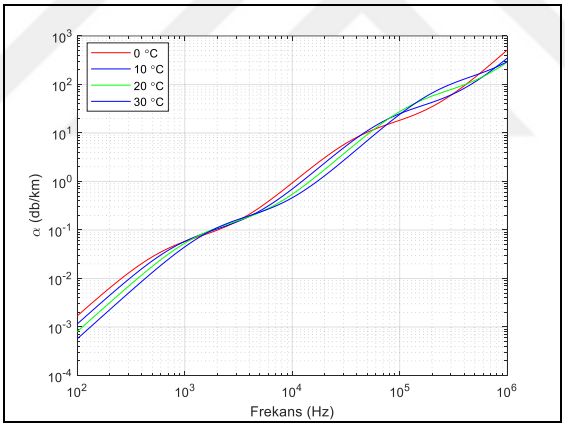
$$f_2 = \frac{8.17\times10^{8-\frac{1990}{T+273}}}{1 + 0.0018(S-35)} \tag{1.27}$$

Denklem (1.20)'de tanımlı A_3 parametresi Denklem (1.28)'de, P_3 parametresi Denklem (1.29)'da verilmiştir.

$$A_3 = \begin{cases} 4.937\times10^{-4} - 2.59\times10^{-5}T + 9.11\times10^{-7}T^2 - 1.5\times10^{-8}T^3 & T \le 20°C \\ 3.964\times10^{-4} - 1.146\times10^{-5}T + 1.45\times10^{-7}T^2 - 6.5\times10^{-10}T^3 & T > 20°C \end{cases} \quad (1.28)$$

$$P_3 = 1 - 3.83\times10^{-5}D + 4.9\times10^{-9}D^2 \quad (1.29)$$

Denklem (1.21) - Denklem (1.29)'da D metre cinsinden derinlik değerini, T °C cinsinden sıcaklık değerini, S pratik tuzluluk birimleri (p.s.u.- practical salinity units) cinsinden tuzluluk değerini ve f KHz cinsinden frekans değerini göstermektedir. Denklem (1.21) - Denklem (1.29) yaklaşımları kullanılarak sabit tuzluluk oranında ve derinlikte, farklı sıcaklık değerleri için frekansa bağımlı emilim kayıpları Şekil 1.10.'da gösterilmiştir. Sabit sıcaklıkta ve derinlikte, farklı tuzluluk oranları için frekansa bağımlı emilim kayıpları Şekil 1.11.'de gösterilmiştir. Sabit sıcaklıkta ve tuzluluk oranlarında, farklı derinlikler için frekansa bağımlı emilim kayıpları Şekil 1.12.'de gösterilmiştir.



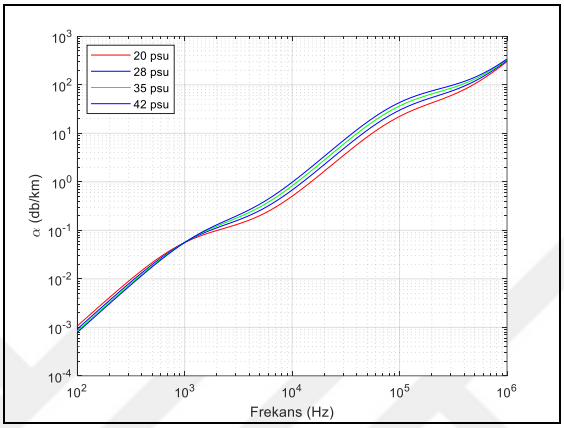
Şekil 1.10. Farklı sıcaklık değerlerinde emilim miktarı değişimleri

Denklem (1.30)'da Thorp [41] tarafından önerilen birkaç yüz Hz üzeri frekanslarda kullanılan daha basit ve sadece frekans değişimine bağlı emilim kaybı hesabı verilmiştir. Denklem (1.30)'da α emilim miktarını db/km cinsinden ve f frekans değerini KHz cinsinden tanımlanmaktadır [8].

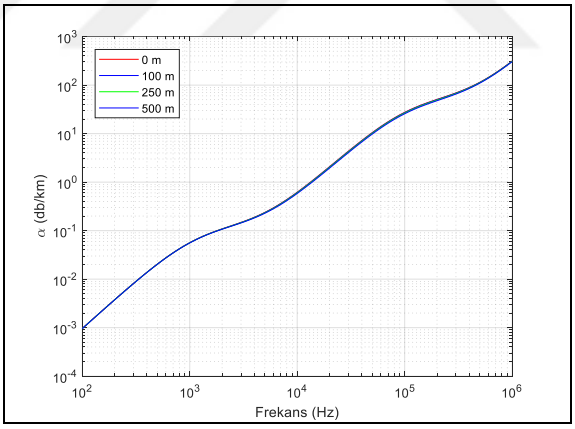
Birkaç yüz Hz aşağısı frekanslar için ise Denklem (1.31) kullanılabilir [8].

$$\alpha = \frac{0.1f^2}{1+f^2} + \frac{40f^2}{4100+f^2} + 2.75\times10^{-4}f^2 + 0.003 \quad (1.30)$$

$$\alpha = 0.002 + 0.11\frac{f^2}{1+f^2} + 0.011f^2 \quad (1.31)$$



Şekil 1.11. Farklı tuzluluk oranlarında emilim miktarı değişimleri



Şekil 1.12. Farklı derinlik mesafelerinde emilim miktarı değişimleri

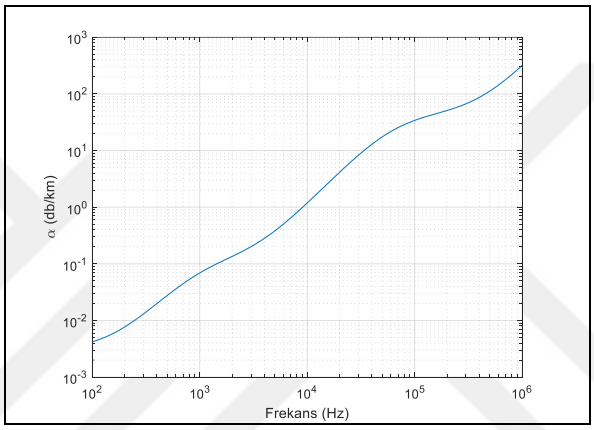
Şekil 1.13.'de Denklem (1.30) ve Denklem (1.31)'de verilen hesaplama yöntemi kullanılarak frekansa bağlı olarak emilim miktarları gösterilmiştir.

Şekil 1.10. - Şekil 1.13.'den de görüleceği üzere düşük frekanslarda emilim miktarı neredeyse yok denecek kadar az iken yüksek frekanslara çıkıldıkça emilim miktarı yüksek seviyelere çıkmaktadır. Bu nedenle sualtı ortamında yüksek frekansların kullanımı çok tercih edilememektedir.

Sızma: Bu etki sesin yüzeyden saçılması esnasında ve enine difüzyon olarak da adlandırılan karışık katmanın dışında meydana gelir. Sualtı ortamında sızma etkisinin hesaplanması için kullanılan model Denklem (1.32)'de gösterilmiştir [18].

$$\alpha_S = 2D_D\sqrt{\frac{f}{Y}} \tag{1.32}$$

Denklem (1.32)'de α_S dB/km cinsinden sızma miktarını, D_D deniz durumunu, f KHz cinden frekans değerini ve Y metre cinsinden yükseklik değerini göstermektedir.



Şekil 1.13. Çalışma [41]'de önerilen frekansa bağlı emilim miktarının değişimi

1.6.3. Önerilen emilim kayıp parametreleri

Bu tez kapsamında Denklem (1.20)'de tanımlanan A_1, f_1, A_2 ve f_2 parametreleri için sıcaklık, ses hızı, pH, tuzluluk oranı parametrelerine bağlı olarak doğrusal ve A_3 parametresi için ise 2. dereceden sıcaklığa bağlı basitleştirilmiş model parametreleri önerilmiştir. Önerilen parametreler, ses hızı için referans çalışma aralığı 1475 m/sn ile 1525 m/sn, sıcaklık için referans çalışma aralığı 0 °C ile 40 °C, tuzluluk için referans çalışma aralığı 10 psu ile 40 psu aralıklarında çalışacak şekilde eğri uydurma yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur.

$$A_1 = -1.343 - 7.604c10^{-5} + 0.1963pH \tag{1.33}$$

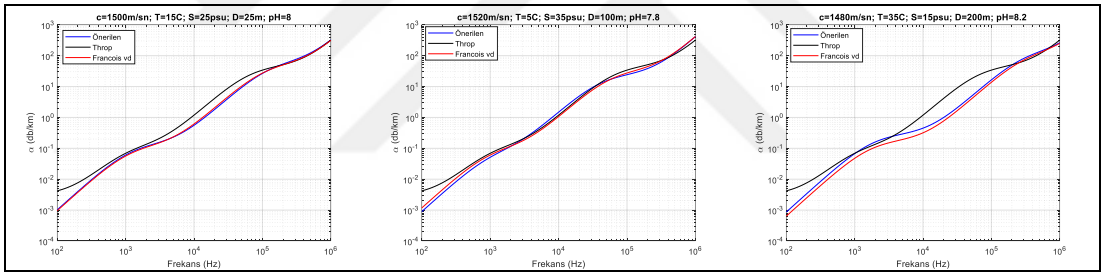
$$f_1 = -0.249 + 0.04675T + 0.02802S \quad (1.34)$$

$$A_2 = -0.1966 + 0.009828T + 32.16\frac{S}{c} \quad (1.35)$$

$$f_2 = 11.7 + 7.694T + -0.2878S \quad (1.36)$$

$$A_3 = 2.2e^{-7}T^2 - 1.713T10^{-5} + 0.0004744 \quad (1.37)$$

Önerilen emilim kaybı parametreleri ile Francois vd tarafından ([40]) önerilen parametreler kullanılarak farklı sıcaklık, tuzluluk, derinlik, pH ve ses hızı değerlerindeki emilim kayıplarının karşılaştırmaları Throp tarafından ([41]) önerilen model ile birlikte Şekil 1.14.'de gösterilmiştir. Şekil 1.14.'den de görüleceği üzere sualtı ortamında meydana gelen değişimler emilim miktarını doğrudan etkilemektedir.



Şekil 1.14. Emilim kayıplarının karşılaştırılması

Tablo 1.1.'de Temmuz 2018 ve Şubat 2019 tarihleri ölçüm verileri kullanılarak farklı frekanslarda oluşan emilim kayıplarının karşılaştırılması verilmiştir.

Şekil 1.14. ve Tablo 1.1.'den de görüleceği üzere, emilim kaybı işlemlerinin sadece frekansa bağlı olarak gerçekleştirilmesi durumunda su altı ortamında meydana gelen değişimler göz ardı edilerek oluşturulacak bir model gerçekçi olmayacaktır. Meydana gelen değişimler, bu tez çalışmasında sualtı ortamını modellenmesinde ve hesaplamalarda kullanılarak gerçekçi modeller oluşturulmuştur.

1.6.4. Toplam iletim kayıplarının hesaplanması

Literatürde kaynak-alıcı arasında meydana gelen iletim kaybına yönelik farklı yaklaşımlar önerilmiştir. Bu tez kapsamında emilim kaybı hesaplamaları frekansa ek

olarak sıcaklık, tuzluluk, derinlik ve ses hızına bağlı olarak gerçekleştirilmiştir (Denklem (1.38) - Denklem (1.40)).

Tablo 1.1. Ölçüm verileri kullanılarak farklı frekanslardaki emilim kayıpları

f (KHz)	**D** (m)	**Emilim Kaybı (dB/km)** Temmuz			**Emilim Kaybı (dB/km)** Şubat		
		Francois	Önerilen	Throp	Francois	Önerilen	Throp
1	2	0.049	0.053	0.069	0.059	0.045	0.069
	5	0.050	0.054		0.059	0.045	
	10	0.052	0.055		0.060	0.046	
	15	0.054	0.058		0.060	0.046	
10	2	0.464	0.459	1.187	0.782	0.755	1.187
	5	0.469	0.460		0.829	0.818	
	10	0.494	0.472		0.833	0.825	
	15	0.567	0.520		0.835	0.825	
50	2	7.454	6.939	17.467	12.162	12.156	17.467
	5	7.592	7.017		12.844	13.036	
	10	8.241	7.436		12.904	13.121	
	15	9.722	8.629		12.937	13.154	
100	2	24.544	23.495	34.069	26.214	26.306	34.069
	5	24.777	23.632		27.428	27.749	
	10	25.825	24.414		27.508	27.840	
	15	27.838	26.555		27.615	27.984	
300	2	87.452	91.560	66.946	62.512	63.517	66.946
	5	86.239	90.562		64.179	65.303	
	10	81.863	87.082		64.279	65.370	
	15	76.177	82.352		64.429	65.617	

Literatürde sıklıkla kullanılanı iletim kaybı hesabı küresel yayılım modeli ile emilim kaybının birlikte hesaplanmasıdır (Denklem (1.38)) [41]. Silindirik yayılım modeli kullanılarak elde edilen toplam iletim kaybı Denklem (1.39)'da, pratik yayılım modeli kullanılarak elde edilen toplam iletim kaybı Denklem (1.40)'da gösterilmiştir.

$$\text{İK}(f,c,D,T,S) = 20\log_{10}^{r} + \frac{\alpha(f,c,D,T,S)r}{10^3} \tag{1.38}$$

$$\text{İK}(f,c,D,T,S) = 10\log_{10}^{r} + \frac{\alpha(f,c,D,T,S)r}{10^3} \tag{1.39}$$

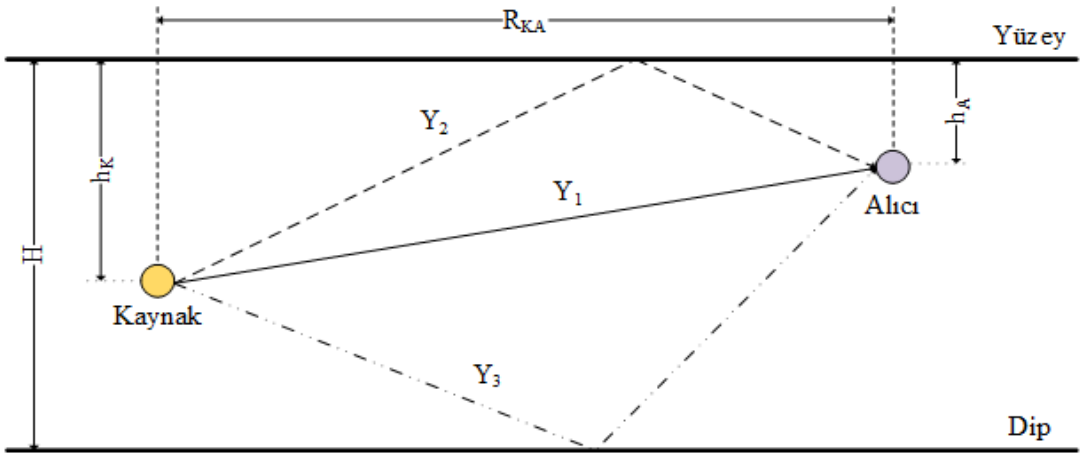
$$\text{İK}(f,c,D,T,S) = 15\log_{10}^{r} + \frac{\alpha(f,c,D,T,S)r}{10^3} \tag{1.40}$$

1.7. Çok Yolluluk Etkisi

Sualtı ortamında kaynaktan yayılan sinyaller algılayıcıda, direk yolla ulaşan sinyal ile birlikte yüzeyden ve dipten yansımaların etkisi ile algılayıcıya gecikmeli olarak ulaşan sinyallerin toplamı şeklinde algılanmaktadır.

Şekil 1.15.'de 3 yoldan kaynaktan yayılan sinyalin algılayıcıya ulaşma şekli gösterilmiştir. Çok yolluluk etkisi ile meydana gelecek gecikmeler yüzey ile dip arasındaki derinlik (h), kaynak ile yüzey arasındaki derinlik (h_K), alıcı ile yüzey arasındaki derinlik (h_A), kaynak ile alıcı arasındaki yatay mesafeye (R_{KA}) bağlı olarak hesaplanmaktadır. Gecikmelerin sebep olacağı kayıplar ile birlikte dipten ve yüzeyden yansımalara ilişkin zayıflamalar göz önünde bulundurularak algılayıcıda alınan sinyalin genlik seviyeleri hesaplanmaktadır.

Şekil 1.15.'de gösterilen Y_1 yolu için sinyalin algılayıcıya ulaşıncaya kadar aldığı yol Denklem (1.41), Y_2 yolu için sinyalin algılayıcıya ulaşıncaya kadar aldığı yol hesabı Denklem (1.42) ve Y_3 yolu için sinyalin algılayıcıya ulaşıncaya kadar aldığı yol hesabı Denklem (1.43)'deki gibi hesaplanmaktadır.



Şekil 1.15. Kaynaktan algılayıcıya çok yolluluk etkisi

$$X_{Y_1} = \sqrt{|h_K - h_R|^2 + R_{KA}^2} \tag{1.41}$$

$$X_{Y_2} = \sqrt{(h_K + h_A)^2 + R_{KA}^2} \tag{1.42}$$

$$X_{Y_3} = \sqrt{(2h - h_K - h_A)^2 + R_{KA}^2} \tag{1.43}$$

Algılayıcıya ulaşan yollara ait uzaklıkların hesaplanmasından sonra bu uzaklıklarda meydana gelecek yol kayıpları hesaplanmaktadır. Daha sonra yol kayıplarına dipten

ve yüzeyden yansımalarda meydana gelen kayıplarda eklenerek algılayıcıda sinyalin uğradığı toplam yol kaybı hesaplanır. Denklem (1.44)'de İK_{DP} dB cinsinden dipten yansıma kaybını, N dipten kaç yansıma olduğunu, İK_{YZ} dB cinsinden yüzeyden yansıma kaybını ve M yüzeyden kaç yansıma olduğunu göstermektedir.

$$\text{İK}_{\text{T}} = \text{İK}_{\text{YK}} + \text{N} \times \text{İK}_{\text{DP}} + \text{M} \times \text{İK}_{\text{YZ}} \tag{1.44}$$

1.7.1. Çok yolluluğun frekansa etkisi

Kaynaktan yayılan sinyaller, sualtı ortamında kaynak –algılayıcı arasındaki kanaldan geçerek, algılayıcı tarafından ortam gürültüsü ile birlikte toplanarak alınırlar. Denklem (1.45)'te algılayıcı tarafından alınan sinyalin hesaplanması gösterilmiştir [36].

$$\text{y}(\text{t}) = \text{x}(\text{t}) * \text{h}(\text{t}) + \text{GS}(\text{t}) \tag{1.45}$$

Denklem (1.45)'te $\text{x}(\text{t})$ kaynaktan yayılan sinyali, $\text{h}(\text{t})$ kanal birim dürtü yanıtını ve $\text{GS}(\text{t})$ ortam gürültüsünü tanımlamaktadır. Kanal birim dürtü yanıtının hesaplanması Denklem (1.46)'da gösterilmektedir [36].

$$\text{h}(\text{t}) = \alpha_0 \delta(\text{t}) + \sum_{\text{i}=1}^{\text{L}} \alpha_{\text{i}} \delta(\text{t} - \tau_{\text{i}}) \tag{1.46}$$

Denklem (1.46)'da ilk terim kaynaktan algılayıcıya ulaşan ana yolu, ikinci terim ise kaynaktan algılayıcıya yansıyarak ulaşan yan yolları ifade etmektedir. Denklem (1.47) 'da, Denklem (1.46)'da tanımlanan kanal birim dürtü yanıtının frekans yanıtı gösterilmiştir [36].

$$\text{H}(\omega) = \alpha_0 + \sum_{\text{i}=1}^{\text{L}} \left[\alpha_{\text{i}} \cos\omega(\text{t} - \tau_{\text{i}}) + \text{j}\alpha_{\text{i}} \sin\omega(\text{t} - \tau_{\text{i}}) \right] \tag{1.47}$$

Denklem (1.46) ve Denklem (1.47)'de tanım L parametresi kaynaktan algılayıcıya yansıyarak ulaşan toplam yan yol sayısını göstermektedir. α_{i}; $\text{i} = 1, \cdots, \text{L}$ kaynaktan algılayıcıya ulaşan tüm yolların kayıpları, τ_{i}; $\text{i} = 1, 2, \cdots, \text{L}$ kaynaktan algılayıcıya ulaşan yan yolların zaman gecikmelerini göstermektedir [36].

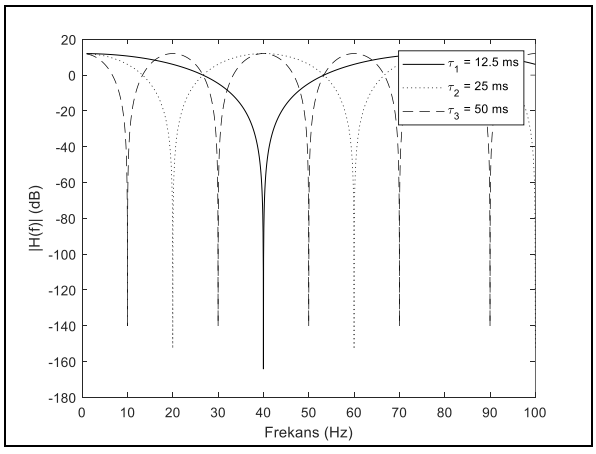
Denklem (1.47)'de tanımlanan frekans yanıtının büyüklüğü, ana yol ile birlikte 1 adet yan yol ve bu yollara ait yansıma katsayılarının yaklaşık olarak eşit oldukları ($\alpha = \alpha_0 = \alpha_1$) varsayımı yapılarak, frekans yanıtı Denklem (1.48)'deki gibi yazılabilir [36].

$$\left|H(\omega)\right| = 2\alpha^2 + 2\alpha^2 \cos\omega\left(t - \tau_i\right) \tag{1.48}$$

Bu şartlar altında çok yolluluk etkisine maruz kalarak sönümlenen frekanslar Denklem (1.49)'deki gibi belirlenir.

$$f = \frac{\frac{1}{2} + k}{\tau}; \quad k = -L, \cdots, -1, 0, 1, \cdots, L \tag{1.49}$$

Örneğin, akustik işaretin su altında yaklaşık 1500m/saniye hızla yayıldığını varsayarak, 30 metre gecikme ile yan yoldan ulaşan akustik işaret yaklaşık olarak τ= 20ms'lik bir gecikmeye uğrayacaktır. Bu durumda Denklem (1.49)'deki ifadeyi kullanarak hesaplama yapıldığında 25Hz, 75Hz, 125Hz, ... frekanslarında tam sönümlenme oluşacaktır. Benzer şekilde $L = 1$ ve yan yol gecikmesinin τ= 12.5ms, τ= 25ms ve τ= 50ms olduğu üç ayrı duruma ilişkin frekans yanıtları Şekil 1.16.'da gösterilmiştir.



Şekil 1.16. Farklı gecikmelere ilişkin frekans yanıtları

2. SUALTI AKUSTİK KANAL KESTİRİMİ

Bu bölümde, Bölüm 1'de tanımlanan modeller ve yaklaşımlar kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analizler hem vericinin hem de alıcının her aktarım için kanal aktarım fonksiyonunu tam olarak bildiğini ve kanal fonksiyonunun her aktarım sırasında değişmediğini varsayımı yapılmıştır.

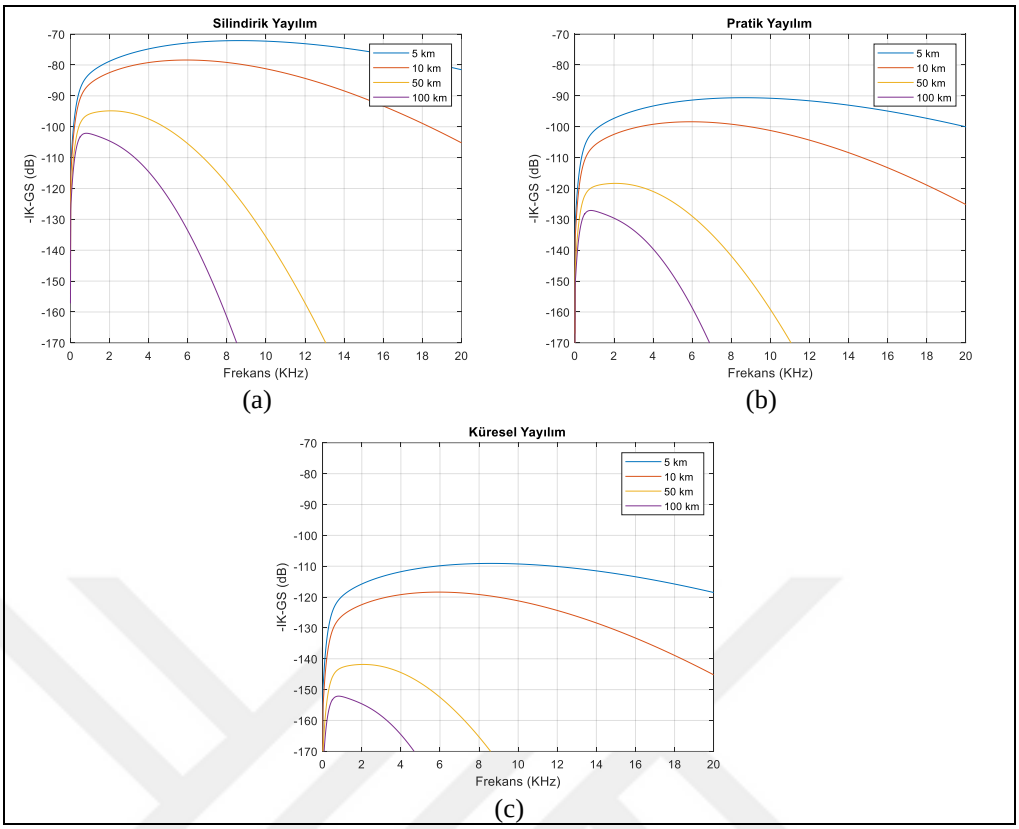
2.1. Toplam Sinyal Zayıflaması ve Sinyal Gürültü Oranı

Kaynak tarafından f frekansında ve P gücünde bir ton sinyalinin frekans ve kaynak alıcı arasındaki mesafeye (l) bağlı olarak meydana gelen zayıflama $(\text{İK}(l,f))$ ve alıcının bulunduğu konumda f frekansında bulunan gürültü güç izge yoğunluğu ile Sinyal Gürültü Oranı (SNR) hesaplanabilir. Farklı yol kayıpları ve alıcı yönlülük indeksi parametrelerinin hesaba katılmadığı dar bant SNR seviyesi Denklem (2.1) 'deki gibi hesaplanır [42].

$$\text{SNR}(l,f) = \text{KS} - \text{İK}(l,f) - \text{GS}(f) - 10\log \text{B} \tag{2.1}$$

Denklem (2.1) KS dB değerinden kaynak seviyesini, $\text{İK}(l,f)$ kaynak-alıcı arasındaki mesafe ve kaynak tarafından iletilen sinyalin iletim kaybını dB değerinden, $\text{GS}(f)$ ise alıcıdaki ortam gürültü seviyesini dB değerinden, B ise alıcı bant genişliğini Hz değerinden ifade etmektedir.

Şekil 2.1.'de kaynak alıcı arasındaki mesafenin 5 km, 10 km, 50 km ve 100 km olduğu varsayımları yapılarak, tüm frekanslarda dar bant SNR'ın frekansa bağımlılığı silindirik (Şekil 2.1.a), pratik (Şekil 2.1.b) ve küresel (Şekil 2.1.c) yayılım modelleri kullanılarak gösterilmiştir. Ortam gürültüsü için gemi yoğunluğu değeri 0.5 ve rüzgâr hızı 0 m/sn olarak alınmıştır. Şekil 2.1.'den de görüleceği üzere dar bant SNR'ın frekansa bağımlılığı karakteristik olarak yayılım modelinden bağımsız olmasına rağmen seviyelerin yayılım modeline bağlı olduğu gözlenmiştir.



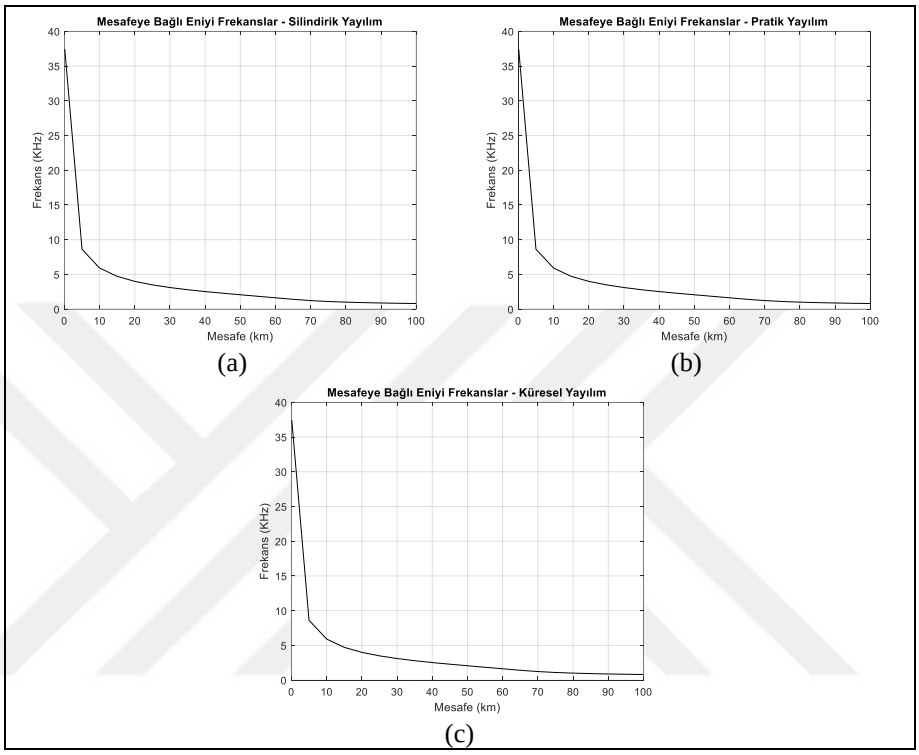
Şekil 2.1. Dar bant SNR'ın frekansa bağımlılığı

Şekil 2.2.'de mesafeye bağlı olarak en iyi frekanslar silindirik, pratik ve küresel yayılım modellerine göre gösterilmiştir. Şekil 2.2.'den de görüleceği üzere en iyi frekans değerinin yayılım modelinden bağımsız olduğu görülmektedir. En iyi frekans değerleri için 100m, 5 km, 10 km, … , 100 km kaynak alıcı arasındaki mesafe değerleri kullanılarak dar bant SNR'ın frekansa bağımlıkları hesaplandıktan sonra elde edilen çıktı değerleri içerisinden en yüksek değere sahip frekanslar seçilmiştir.

2.2. Bant Genişliği ve Kapasite

Bant genişliği içerisindeki frekansları kapsayan toplam ortam gürültü seviyesinin, frekans ve mesafeye bağlı ters iletim kaybının toplamına bölümü ile her bir frekans değeri için gerekli seviye bulunur. Bulunan bu değer bant genişliği ile çarpıldıktan sonra 0 dB SNR seviyesi için gerekli seviye hesaplanır. Bu değerin üzerine kaynaktan alıcıya ulaşan sinyale asgari istenen SNR seviyesi eklendiğinde istenen kaynak seviyesi elde edilmiş olunur (Denklem (2.2)) [8].

$$KS(l) = SNR_0 B(l) \frac{\int_{B(l)} GS(f)df}{\int_{B(l)} İK^{-1}(l,f)df} \quad (2.2)$$



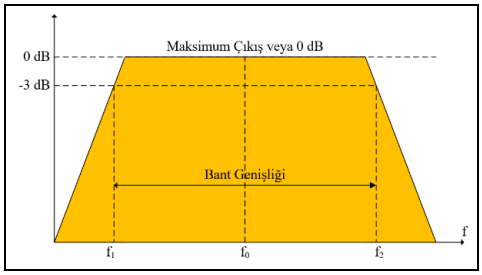
Şekil 2.2. Mesafeye bağlı en iyi frekanslar

Denklem (2.2) KS kaynak seviyesini, SNR_0 alıcıda gerekli sinyal gürültü oranını, GS ortam gürültü seviyesini, İK iletim kaybını, B bant genişliğini, l kaynak alıcı arasındaki mesafeyi ve f frekans değerini göstermektedir.

Bant genişliği belirleme işlemleri için 3 dB bant genişliği yöntemi kullanılmıştır (Şekil 2.3.)[43]. Şekil 2.3'den de görüleceği üzere f_0 merkez frekansından düşük frekanslarda seviyenin 3 dB azaldığı nokta f_1, ve f_0 merkez frekansından yüksek frekanslarda seviyenin 3 dB azaldığı nokta f_2 arasında kalan frekans (f_2 - f_1) bölgesi olarak tanımlanır.

Tez kapsamında bant genişliği hesaplama işlemleri dar bant SNR'ın frekansa bağımlılığı işlemleri sonucunda elde edilen çıktılar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Merkez frekans olarak en yüksek değerin bulunduğu frekans değeri seçilmiştir. Alt ve

üst frekanslar için ise, maksimum değerinin bulunduğu frekans değerinin seviyesinin altında ve üstünde 3 dB'lik azalmaların olduğu frekans değerleri tespit edilmektedir.



Şekil 2.3. 3 dB bant genişliği

Kapasite bir kanalın performansının ölçülmesinde kullanılan ilk argümanlardan biridir. Gürültünün Gaussian olduğu ve kanalın belirli bir süre için zamanla değişmez olduğu varsayıldığında, toplam bant genişliğinin birçok dar alt banda bölünmesi ve bu bantların kapasitelerin toplanmasıyla kapasite elde edilebilir [8].

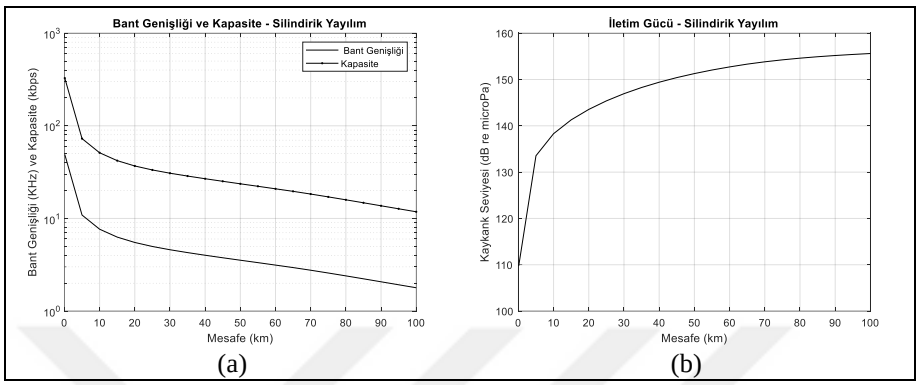
Bir haberleşme kanalının iletim kapasitesi işaretin gücü, bant genişliği ve bant genişliğinin bulunduğu frekans bölgesindeki ortam gürültüsüne, kaynak-alıcı arasındaki mesafeye bağlı olarak hesaplanabilir (Denklem (2.3)) [44].

$$C(l) = \int_{B(l)} \log_2 \left(1 + \frac{\frac{KS(l)}{B(l)}}{İK(l,f)GS(f)} \right) \tag{2.3}$$

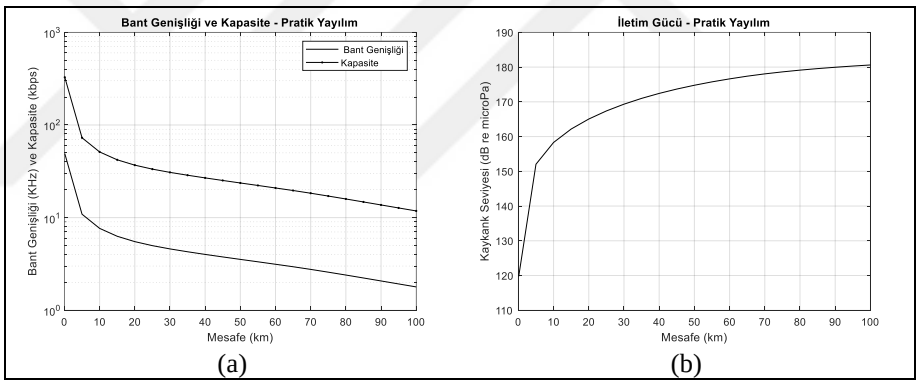
Denklem (2.3)'de C kanal kapasitesi değerini her bir saniyede iletilen bit sayısı (bit per second - bps) olarak ifade etmektedir. KS kaynak seviyesi değerini, İK iletim kaybını, GS ortam gürültü seviyesini göstermektedir. B Hz biriminde bant genişliğini göstermektedir. l metre cinsinden kaynak-alıcı arasındaki mesafeyi, f Hz cinsinden frekans değerini göstermektedir.

Alıcıda gerekli olan SNR değeri 20 dB seçilerek ve silindirik yayılım modeli kullanılarak elde edilen bant genişliği ve kapasite değerleri Şekil 2.4.a'da, iletim gücü ise Şekil 2.4.b'de gösterilmiştir. Şekil 2.5.a ve Şekil 2.6.a'da ise alıcıda gerekli olan SNR değeri 20 dB seçilerek sırasıyla pratik ve küresel yayılım modelleri kullanılarak elde edilen bant genişlikleri ve kapasite değerleri, Şekil 2.5.b ve Şekil 2.6.b'de ise

iletim güçleri gösterilmiştir. Şekil 2.4.a, Şekil 2.5.a ve Şekil 2.6.a'dan da görüleceği üzere yayımlım modelinin kapasite ve bant genişliği üzerine etkisi olmamaktadır. Şekil 2.4.b, Şekil 2.5.b ve Şekil 2.6.b'den de görüleceği üzere yayılım modeli kaynak iletim gücünü doğrudan etkilemektedir.



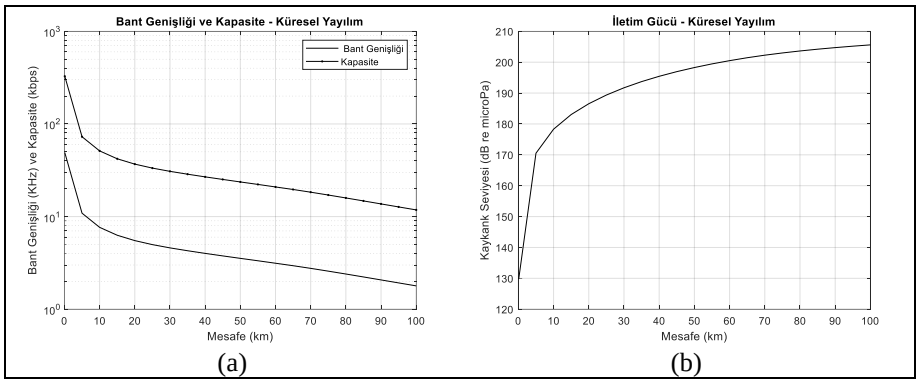
Şekil 2.4. SNR_0 = 20 dB ve silindirik yayılım için mesafeye bağlı a) bant genişliği ve kapasite, b) iletim gücü



Şekil 2.5. SNR_0 = 20 dB ve pratik yayılım için mesafeye bağlı a) bant genişliği ve kapasite, b) iletim gücü

Bu tez kapsamında kestirimi yapılan ve mesafeye bağlı üssel ifade olarak tanımlanmış, kanal kapasite modeli, kanal bant genişliği modeli ve kanal iletim gücü modeli sırasıyla Denklem (2.4), Denklem (2.5) ve Denklem (2.6)'da verilmiştir.

Denklem (2.4)'de c_0 ve c_2 bps biriminde sabit katsayı değerini, Denklem (2.5)'de b_0 ve b_2 ise Hz biriminden sabit katsayı değerlerini ifade etmektedir. Denklem (2.6)'da p_0 ve p_2 dB ref µPa değerinden sabit katsayı değerlerini ifade etmektedir. Denklem (2.4)- Denklem (2.6)'da c_1, c_3, b_1, b_3, p_1 ve p_3 1/Km değerinden sabit katsayı değerlerini ifade etmektedir.



Şekil 2.6. SNR_0 = 20 dB ve küresel yayılım için mesafeye bağlı a) bant genişliği ve kapasite değerleri, b) iletim gücü değerleri

Alıcıda gerekli olan SNR değeri 20 dB seçilerek silindirik, pratik ve küresel yayılım modelleri için oluşturulan kanal kapasitesi, bant genişliği ve iletim gücü model parametreleri Tablo 2.1.'de verilmiştir. Tablo 2.1.'den de görüleceği üzere sabit SNR değerinde yayılım modelinin kanal kapasitesi ve bant genişliği üzerine etkisi yoktur.

$$C_{fit}(l) = c_0 e^{c_1 l} + c_2 e^{c_3 l} \tag{2.4}$$

$$B_{fit}(l) = b_0 e^{b_1 l} + b_2 e^{b_3 l} \tag{2.5}$$

$$P_{fit}(l) = p_0 e^{p_1 l} + p_2 e^{p_3 l} \tag{2.6}$$

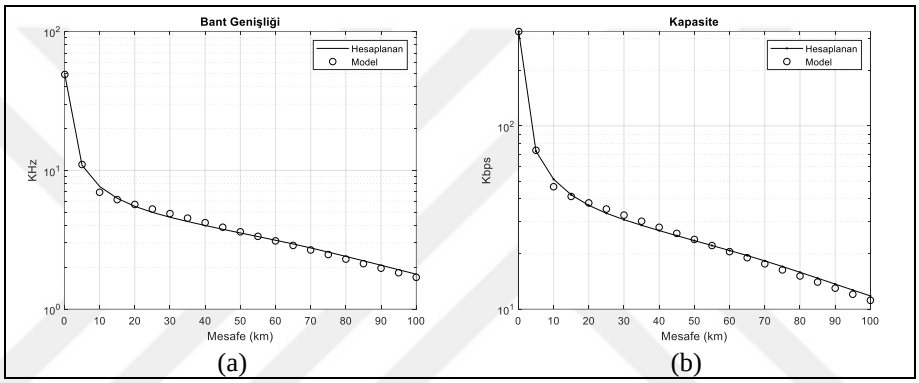
Şekil 2.7.a'da 20 dB SNR seviyesi için silindirik, pratik ve küresel yayılım modelleri kullanılarak hesaplanan mesafeye bağlı bant genişliği değerlerinin, 20 dB SNR seviyesi için Tablo 2.1.'de verilen model parametreleri kullanılarak hesaplanan mesafeye bağlı bant genişliği değerleri ile karşılaştırmaları gösterilmiştir.

Şekil 2.7.b'de 20 dB SNR seviyesi için silindirik, pratik ve küresel yayılım modelleri için hesaplanan mesafeye bağlı kapasite değerlerinin 20 dB SNR seviyesi için Tablo 2.1.'de verilen model parametreleri kullanılarak mesafeye bağlı kapasite değerleri ile karşılaştırmaları gösterilmiştir.

Şekil 2.7.'den de görüleceği üzere hesaplanan bant genişliği ve kapasite değerleri ile model çıktıları uyumludur.

Tablo 2.1. SNR 20 dB için kanal model parametreleri

	Birim	Parametre			
		Katsayı	Silindirik	Pratik	Küresel
Bant Genişliği	*Hz*	b_0	43399.0196		
	1/Km	b_1	-0.4821		
	Hz	b_2	7676.8583		
	1/Km	b_3	-0.0151		
Kapasite	*Bps*	c_1	289520.9167		
	1/Km	c_2	-0.4835		
	Bps	c_3	51582.7460		
	1/Km	c_4	-0.0153		
Güç	*dB ref µPa*	p_1	143.2416	164.3407	185.4749
	1/Km	p_2	0.0009	0.0011	0.0012
	dB ref µPa	p_3	-33.5415	-44.8481	-56.1774
	1/Km	p_4	-0.1918	-0.2041	-0.2115

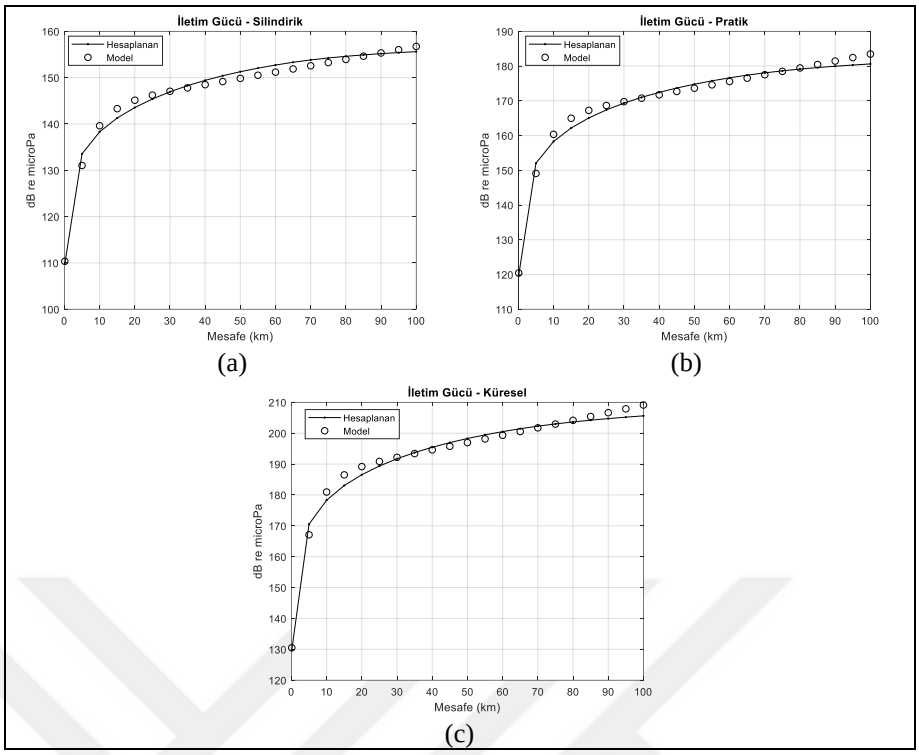


(a) (b)

Şekil 2.7. SNR 20 dB için hesaplanan ve model parametreleri hesaplanan mesafeye bağlı a) bant genişliği değerleri b) kapasite değerleri

Alıcıda gerekli 20 dB SNR seviyesi için hesaplanan mesafeye bağlı iletim gücü değerlerinin Tablo 2.1.'de verilen model parametreleri kullanılarak mesafeye bağlı iletim gücü değerleriyle silindirik yayılım modeli kullanılarak karşılaştırmaları Şekil 2.8.a'da, pratik yayılım modeli kullanılarak karşılaştırmaları Şekil 2.8.b'de, küresel yayılım modeli kullanılarak karşılaştırmaları Şekil 2.8.c'de gösterilmiştir. Şekil 2.8.'den de görüleceği üzere hesaplanan iletim gücü değerleri ile model çıktıları uyumludur.

Alıcıda gerekli olan SNR değeri 0 dB seçilerek silindirik, pratik ve küresel yayılım modelleri için oluşturulan kanal kapasitesi, bant genişliği ve iletim gücü model parametreleri Tablo 2.2.'de verilmiştir.



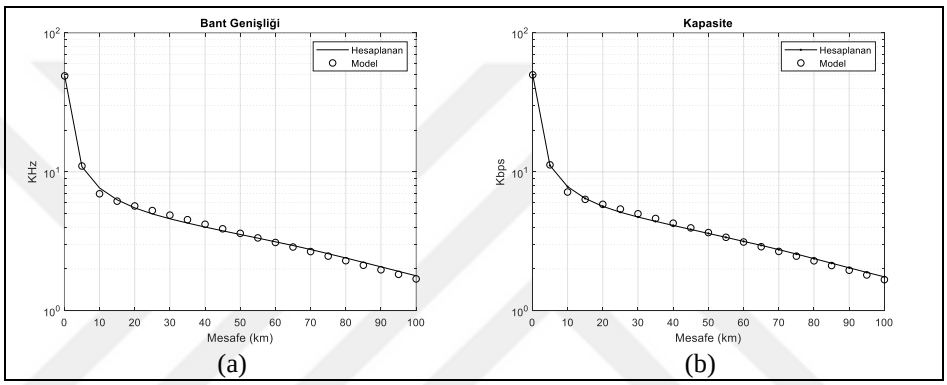
Şekil 2.8. SNR 20 dB için hesaplanan ve model parametreleri hesaplanan mesafeye bağlı iletim gücü değerleri

Şekil 2.9.a'da 0 dB SNR seviyesi için silindirik, pratik ve küresel yayılım modelleri kullanılarak hesaplanan mesafeye bağlı bant genişliği değerlerinin, 0 dB SNR seviyesi için Tablo 2.2.'de verilen model parametreleri kullanılarak hesaplanan mesafeye bağlı bant genişliği değerleri ile karşılaştırma gösterilmiştir. Şekil 2.9.b'de 0 dB SNR seviyesi için silindirik, pratik ve küresel yayılım modelleri için hesaplanan mesafeye bağlı kapasite değerlerinin 0 dB SNR seviyesi için Tablo 2.2.'de verilen model parametreleri kullanılarak mesafeye bağlı kapasite değerleri ile karşılaştırma gösterilmiştir. Şekil 2.9.'dan da görüleceği üzere hesaplanan bant genişliği ve kapasite değerleri ile model çıktıları uyumludur.

Alıcıda gerekli 0 dB SNR seviyesi için hesaplanan mesafeye bağlı iletim gücü değerlerinin Tablo 2.2.'de verilen model parametreleri kullanılarak mesafeye bağlı iletim gücü değerleriyle silindirik yayılım modeli kullanılarak karşılaştırmaları Şekil 2.10.a'da, pratik yayılım modeli kullanılarak karşılaştırmaları Şekil 2.10.b'de, küresel yayılım modeli kullanılarak karşılaştırmaları Şekil 2.10.c'de gösterilmiştir. Şekil 2.10.'dan da görüleceği üzere hesaplanan iletim gücü değerleri ile model çıktılarının uyumludur.

Tablo 2.2. SNR 0 dB için kanal model parametreleri

	Birim	Parametre			
		Katsayı	Silindirik	Pratik	Küresel
Bant Genişliği	*Hz*	b_0	43399.0196		
	1/Km	b_1	-0.4821		
	Hz	b_2	7676.8583		
	1/Km	b_3	-0.0151		
Kapasite	*Bps*	c_1	44031.3246		
	1/Km	c_2	-0.4871		
	Bps	c_3	7969.8644		
	1/Km	c_4	-0.0156		
Güç	*dB ref µPa*	p_1	123.2880	144.3958	165.5369
	1/Km	p_2	0.0011	0.0012	0.0013
	dB ref µPa	p_3	-33.5791	-44.8933	-56.2288
	1/Km	p_4	-0.1911	-0.2034	-0.2109

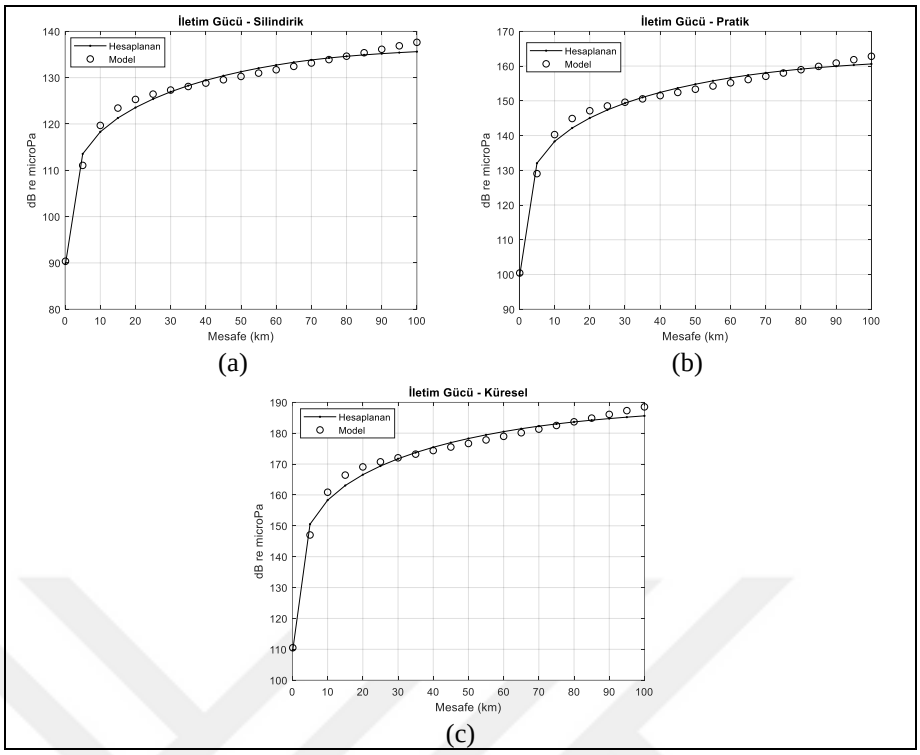


(a) (b)

Şekil 2.9. SNR 0 dB için hesaplanan ve model parametreleri ile hesaplanan mesafeye bağlı a) bant genişliği değerleri b) kapasite değerleri

Alıcıda gerekli olan SNR değeri 30 dB seçilerek silindirik, pratik ve küresel yayılım modelleri için oluşturulan kanal kapasitesi, bant genişliği ve iletim gücü model parametreleri Tablo 2.3.'de verilmiştir.

Şekil 2.11.a'da 30 dB SNR seviyesi için silindirik, pratik ve küresel yayılım modelleri kullanılarak hesaplanan mesafeye bağlı bant genişliği değerlerinin, 20 dB SNR seviyesi için Tablo 2.3.'de verilen model parametreleri kullanılarak hesaplanan mesafeye bağlı bant genişliği değerleri ile karşılaştırma gösterilmiştir. Şekil 2.11.b'de 30 dB SNR seviyesi için silindirik, pratik ve küresel yayılım modelleri için hesaplanan mesafeye bağlı kapasite değerlerinin 30 dB SNR seviyesi için Tablo 2.3.'de verilen model parametreleri kullanılarak mesafeye bağlı kapasite değerleri ile karşılaştırma gösterilmiştir. Şekil 2.11.'den de görüleceği üzere hesaplanan bant genişliği ve kapasite değerleri ile model çıktıları uyumludur.

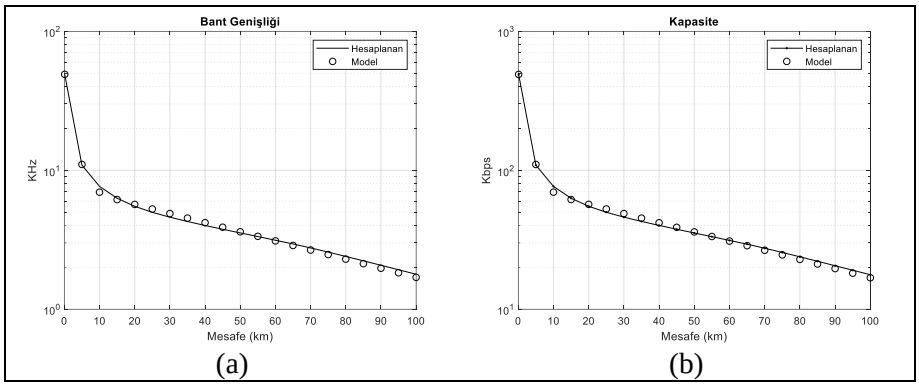


Şekil 2.10. SNR 0 dB için hesaplanan ve model parametreleri hesaplanan mesafeye bağlı iletim gücü değerleri

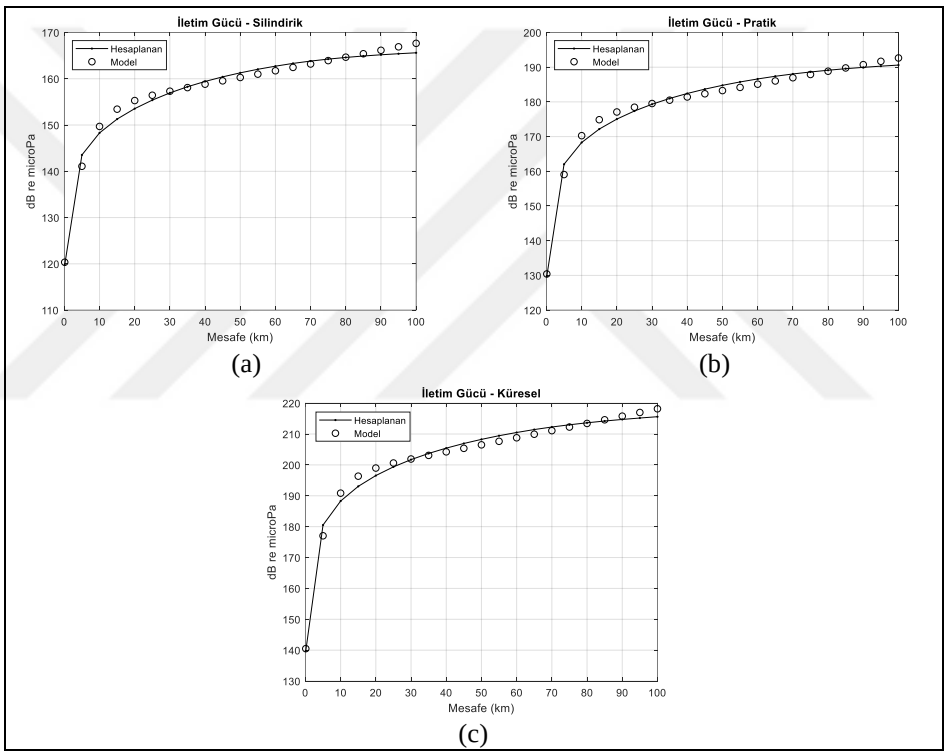
Tablo 2.3. SNR 30 dB için kanal model parametreleri

	Birim	**Parametre**			
		Katsayı	**Silindirik**	**Pratik**	**Küresel**
Bant Genişliği	*Hz*	$\mathbf{b_0}$	43399.0196		
	1/Km	$\mathbf{b_1}$	-0.4821		
	Hz	$\mathbf{b_2}$	7676.8583		
	1/Km	$\mathbf{b_3}$	-0.0151		
Kapasite	*Bps*	$\mathbf{c_1}$	433122.0070		
	1/Km	$\mathbf{c_2}$	-0.4831		
	Bps	$\mathbf{c_3}$	76989.5678		
	1/Km	$\mathbf{c_4}$	-0.0152		
Güç	*dB ref µPa*	$\mathbf{p_1}$	153.2226	174.3176	195.4483
	1/Km	$\mathbf{p_2}$	0.0009	0.0010	0.0011
	dB ref µPa	$\mathbf{p_3}$	-33.5262	-44.8290	-56.1553
	1/Km	$\mathbf{p_4}$	-0.1921	-0.2044	-0.2117

Alıcıda gerekli 30 dB SNR seviyesi için hesaplanan mesafeye bağlı iletim gücü değerlerinin Tablo 2.3.'de verilen model parametreleri kullanılarak mesafeye bağlı iletim gücü değerleriyle silindirik yayılım modeli kullanılarak karşılaştırmaları Şekil 2.12.a'da, pratik yayılım modeli kullanılarak karşılaştırmaları Şekil 2.12.b'de, küresel yayılım modeli kullanılarak karşılaştırmaları Şekil 2.12.c'de gösterilmiştir. Şekil 2.12.'den de görüleceği üzere hesaplanan iletim gücü değerleri ile model çıktıları uyumludur.



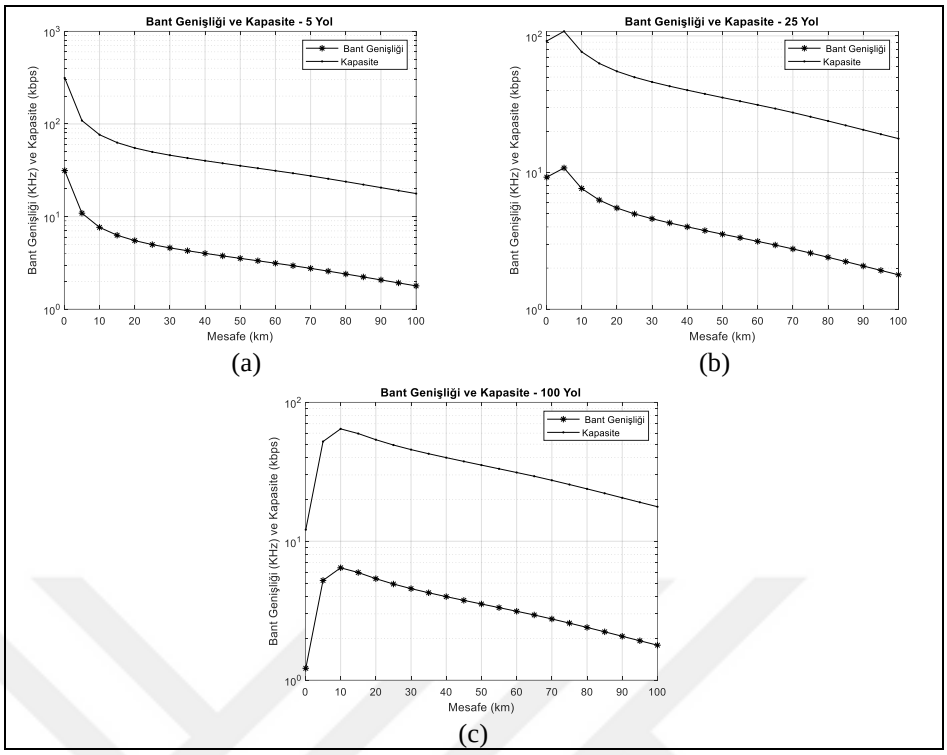
Şekil 2.11. SNR 30 dB için hesaplanan ve model parametreleri hesaplanan mesafeye bağlı a) bant genişliği değerleri b) kapasite değerleri



Şekil 2.12. SNR 30 dB için mesafeye bağlı iletim gücü

2.2.1. Çok yolluğun etkisi

Şekil 2.13.'de kaynak alıcı arasında sadece yayılımdan ve emilimden dolayı meydana gelen yol kayıpları olduğu ve yüzeyden/dipten yansımalarda zayıflama olmadığı varsayımı ile kaynak alıcı arasında 5 yol, 25 yol ve 100 yol olduğu durumlarda farklı kaynak alıcı arası mesafeler için bant genişlikleri ve kapasiteleri gösterilmiştir. Şekil 2.13.'den de görüleceği üzere yol sayısı arttıkça bant genişliği ve kapasite eğrilerinde bozulmalar meydana gelmektedir.



Şekil 2.13. 0 dB Dip/yüzey zayıflamasında mesafeye bağlı kapasite ve bant genişliği

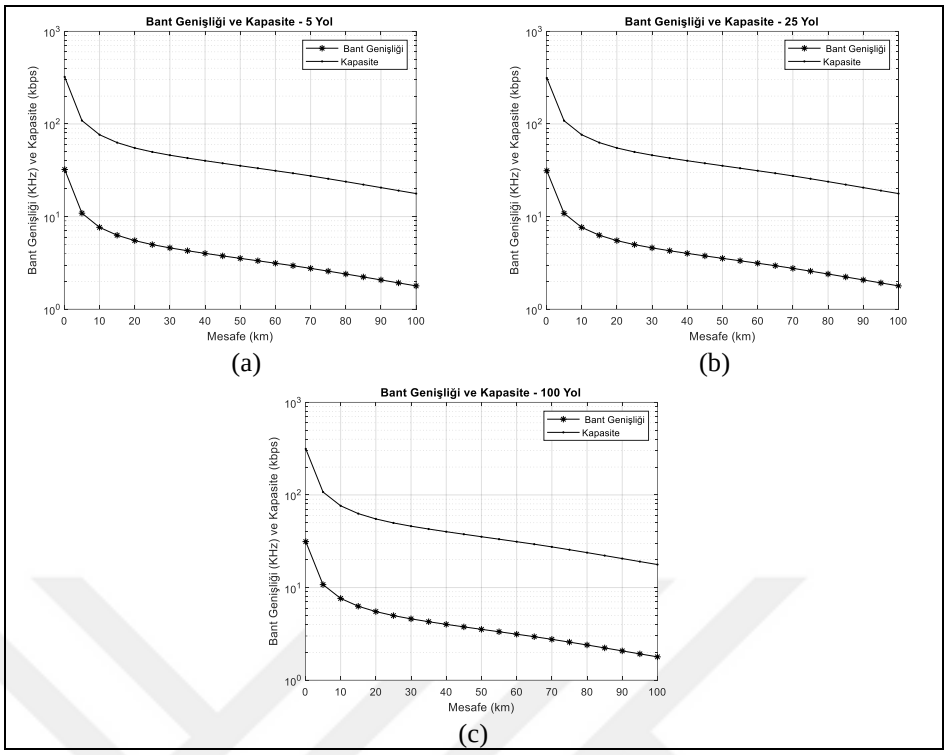
Şekil 2.14.'de kaynak alıcı arasında zayıflama olarak yayılımdan ve emilimden dolayı meydana gelen yol kayıplarına ek olarak dip ve yüzeyden her yansıma için 1 dB'lik zayıflamalar meydana geldiği varsayımı ile kaynak alıcı arasında 5 yol, 25 yol ve 100 yol olduğu durumlarda, farklı kaynak alıcı arası mesafeler için bant genişliği ve kapasite değerleri gösterilmiştir. Şekil 2.14.'den de görüleceği üzere yol sayısı arttıkça bant genişliği ve kapasite eğrilerinde bozulmalar meydana gelmemektedir.

2.2.2. Eş değer bit SNR

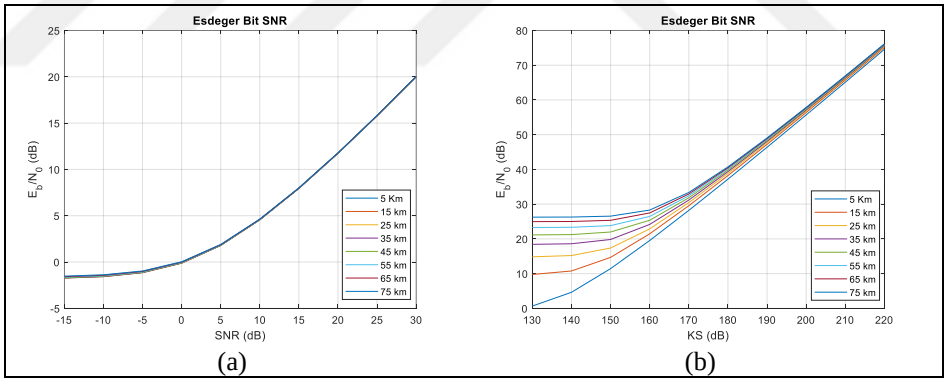
Denklem (2.7)'de eşdeğer bit SNR değeri hesaplanması gösterilmiştir. Denklem (2.7) 'de E_b bit enerjisini göstermektedir [8].

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{B(l)}{C(l)} SNR_0\left(l, B(l)\right) \tag{2.7}$$

Şekil 2.15.'de 3 dB bant genişliğine göre farklı SNR ve iletim gücü değerlerinde eşdeğer bit SNR seviyeleri gösterilmiştir.



Şekil 2.14. 1 dB Dip/yüzey zayıflamasında mesafeye bağlı kapasite ve bant genişliği



Şekil 2.15. SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri

3. ÖLÇÜM VERİLERİ KULLANILARAK KANAL KESTİRİMİ

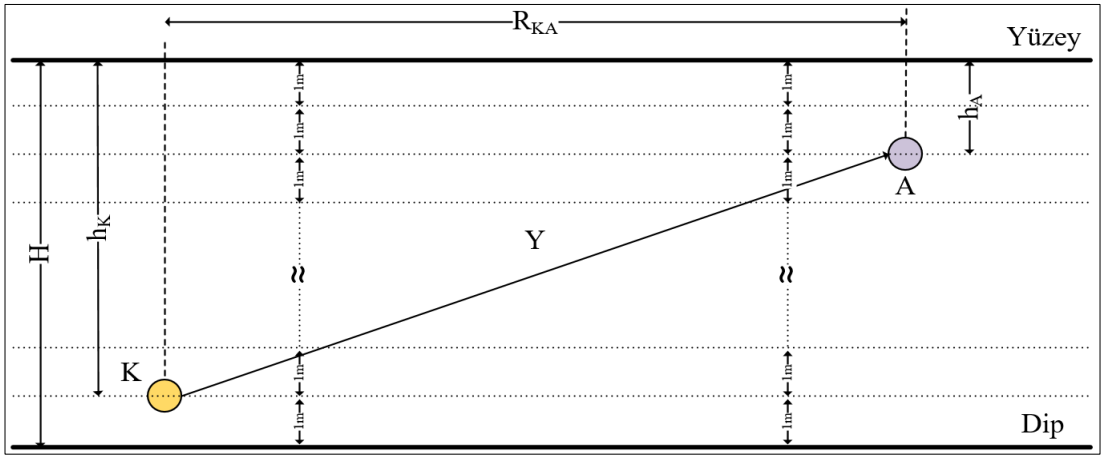
Tez kapsamında kanal kestirim işlemlerinde, Koç Bilgi ve Savunma Teknolojileri A.Ş. tarafından Erdek bölgesinde gerçekleştirilen testlerde kullanılmak üzere, 2018 Temmuz-2019 Mayıs tarihleri arasında alınan CDT ölçüm ucu ile elde edilen derinlik, sıcaklık, tuzluluk ve bu değerlere bağlı olarak CDT ölçüm ucu tarafından hesaplanan sez hızı bilgileri kullanılmıştır. Ölçümler her ay içerisinde farklı sayıda olmakla beraber aynı konumda alınmıştır (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Erdek bölgesi ölçüm alanı

Alınan ölçümlerin çözünürlükleri 1 metre derinliktir. 0-15 metre derinlikteki veriler, her metre için sıcaklık, tuzluluk ve ses hızı değerlerini içermektedir. Analizlerde alınan veriler doğrultusunda her 1 metre derinliğin kendi içerisinde sıcaklık, tuzluluk ve ses hızı profillerinin değişmediği varsayılmıştır (Şekil 3.2.).

Kanal kestirimleri yapılırken yayılım modeli olarak pratik yayılım modeli kullanılmıştır. Emilimden kaynaklı kayıplar için ise sahada toplanan veriler kullanılarak toplam iletim kaybı hesaplanmıştır. Bant genişliği hesaplarında 3dB bant genişliği yöntemi kullanılmıştır. SNR seviyesi 20 dB olarak kabul edilmiştir.



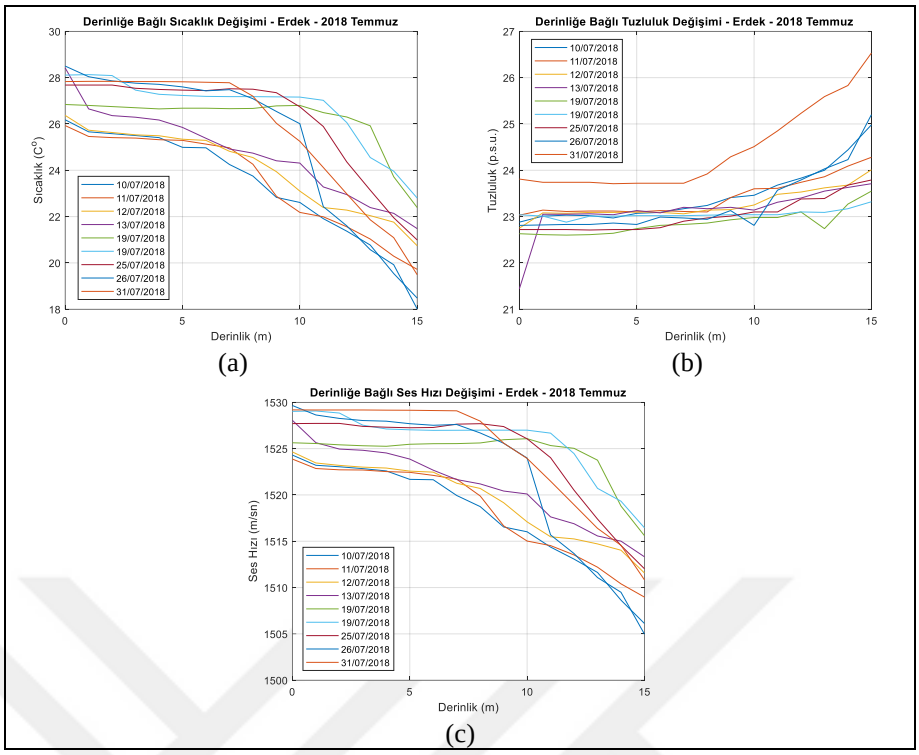
Şekil 3.2. Kaynak-alıcı arasındaki ilişkinin gösterimi

3.1. Temmuz 2018 Verilerinin Analizleri

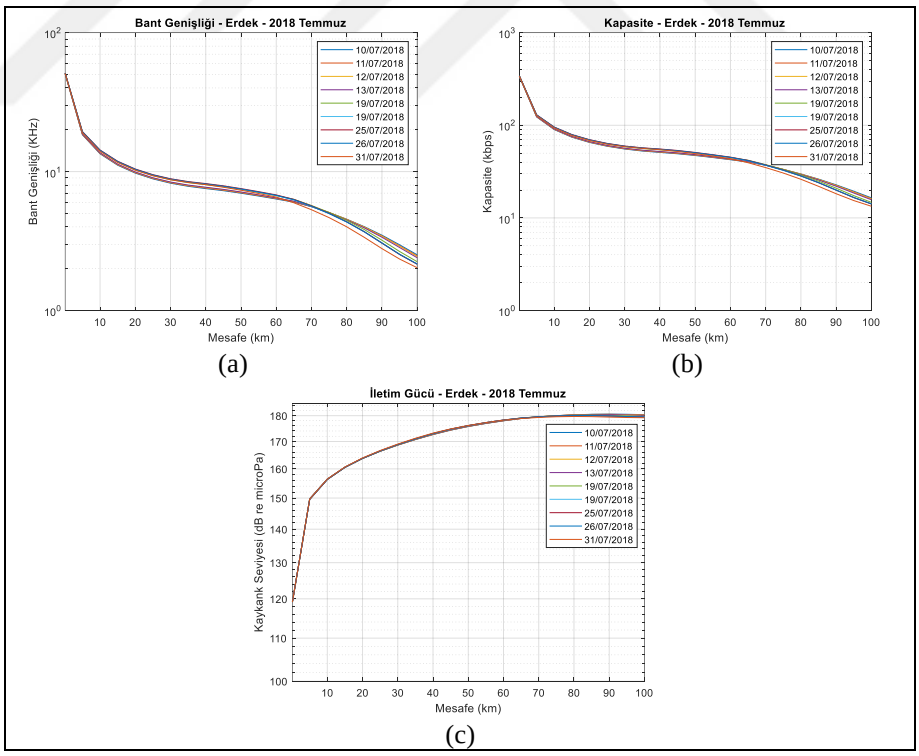
Temmuz 2018 tarihinde 9 farklı günde alınmış kayıtların derinliğe bağlı sıcaklık değişimleri Şekil 3.3.a'da, derinliğe bağlı tuzluluk değişimleri Şekil 3.3.b'de ve derinliğe bağlı sez hızı değişimleri Şekil 3.3.c'de gösterilmiştir. Şekil 3.3.a'dan da görüleceği üzere su sıcaklığı derinliğe bağlı olarak azalmakla birlikte Temmuz ayında meydana gelen sıcaklıklardaki artış, su sıcaklığında da artış meydana getirmiştir. Şekil 3.3.b'den de görüleceği üzere tuzluluk derinliğe bağlı olarak artmıştır. Şekil 3.3.c'den de görüleceği üzere derinlik arttıkça ses hızında azalma meydana gelmektedir. Bu veriler doğrultusunda Temmuz ayında sez hızı profilinin negatif eğime sahip olduğu söylenebilir.

Temmuz 2018'e ait tüm kayıtlar ve [40] nolu çalışmada tanımlanan emilim kayıp parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen bant genişliğinin mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.4.a'da, kapasitenin mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.4.b'de ve iletim gücünün mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.4.c'de gösterilmiştir.

Temmuz ayına ait tüm kayıtlar için [40] nolu çalışmada tanımlanan emilim kayıp parametreleri ile tez kapsamında önerilen emilim kayıp parametreleri kullanılarak farklı mesafeler için bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerin ortalamaları alınarak kestirimler yapılmıştır. Tablo 3.1.'de Erdek bölgesi için Temmuz ayına ait bant genişliği, kapasite ve iletim gücü model parametreleri gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Temmuz 2018 kayıtlarının derinliğe bağlı gösterimi

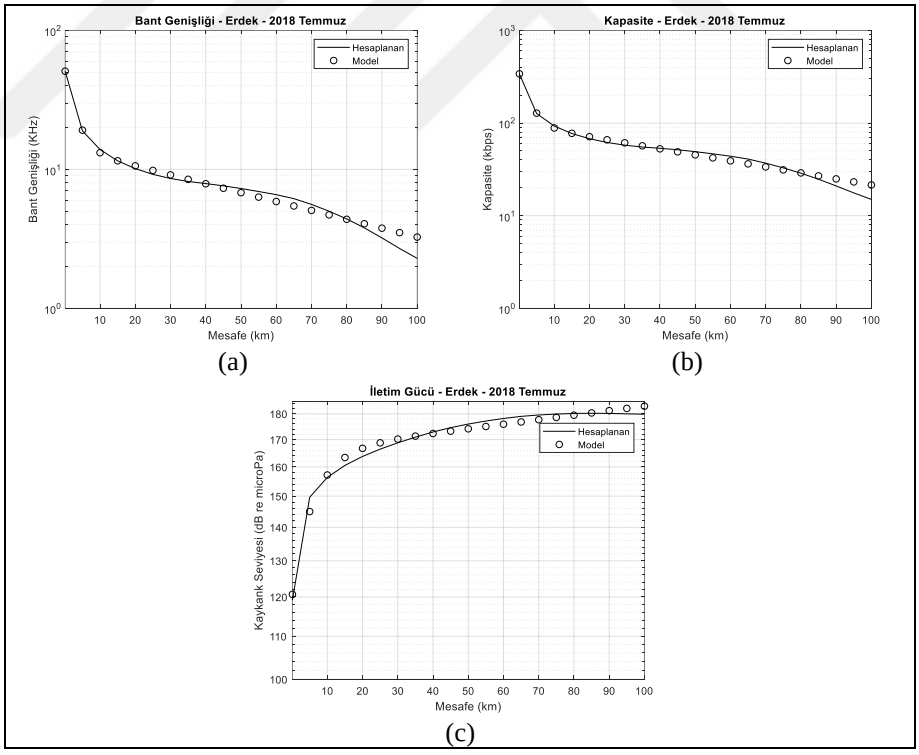


Şekil 3.4. Temmuz 2018 kayıtlarına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

Tablo 3.1. Temmuz 2018 için oluşturulan kanal model parametreleri

	Birim	Parametre		
		Katsayı	[40]	Önerilen
Bant Genişliği	*Hz*	$\mathbf{b_0}$	38120.1822	36936.6407
	1/Km	$\mathbf{b_1}$	-0.3710	-0.3921
	Hz	$\mathbf{b_2}$	14197.5198	15714.1492
	1/Km	$\mathbf{b_3}$	-0.0147	-0.0168
Kapasite	*bps*	$\mathbf{c_1}$	253702.4381	245737.1357
	1/Km	$\mathbf{c_2}$	-0.3745	-0.3964
	bps	**c3**	95848.4582	106063.1086
	1/Km	**c4**	-0.0149	-0.0171
Güç	*dB ref µPa*	**p1**	165.6526	168.1904
	1/Km	**p2**	0.0010	0.0008
	dB ref µPa	**p3**	-45.6608	-47.5035
	1/Km	**p4**	-0.1505	-0.1295

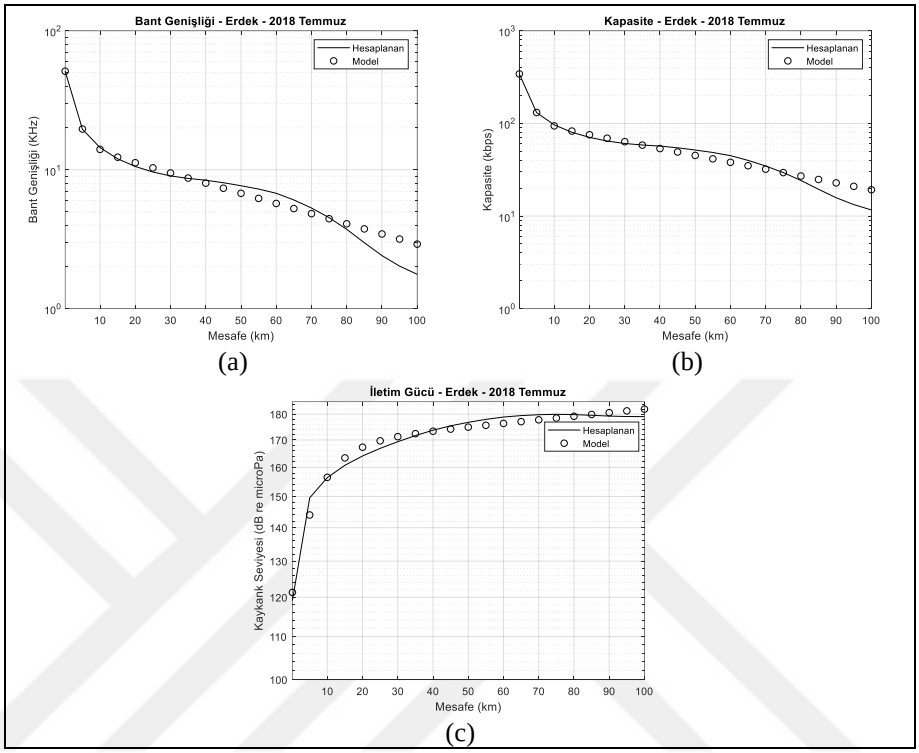
Tablo 3.1.'de verilen model parametreleri kullanılarak elde edilen mesafeye bağlı bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin karşılaştırmaları Şekil 3.5. ve Şekil 3.6.'da gösterilmiştir. Şekil 3.5.a, Şekil 3.5.b ve Şekil 3.5.c'de gösterilen bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin hesaplanmasında çalışma [40]'da önerilen emilim kaybı modeli ve parametreleri kullanılmıştır.



Şekil 3.5. Çalışma [40]'da önerilen parametreler ile Temmuz ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

Şekil 3.6.a, Şekil 3.6.b ve Şekil 3.6.c'de gösterilen bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin hesaplanmasında çalışma [40]'da önerilen emilim kaybı modeli ve

tez kapsamında önerilen parametreler kullanılmıştır. Şekil 3.5. ve Şekil 3.6.'dan da görüleceği üzere hesaplanan bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerleri ile model çıktıları uyumludur.

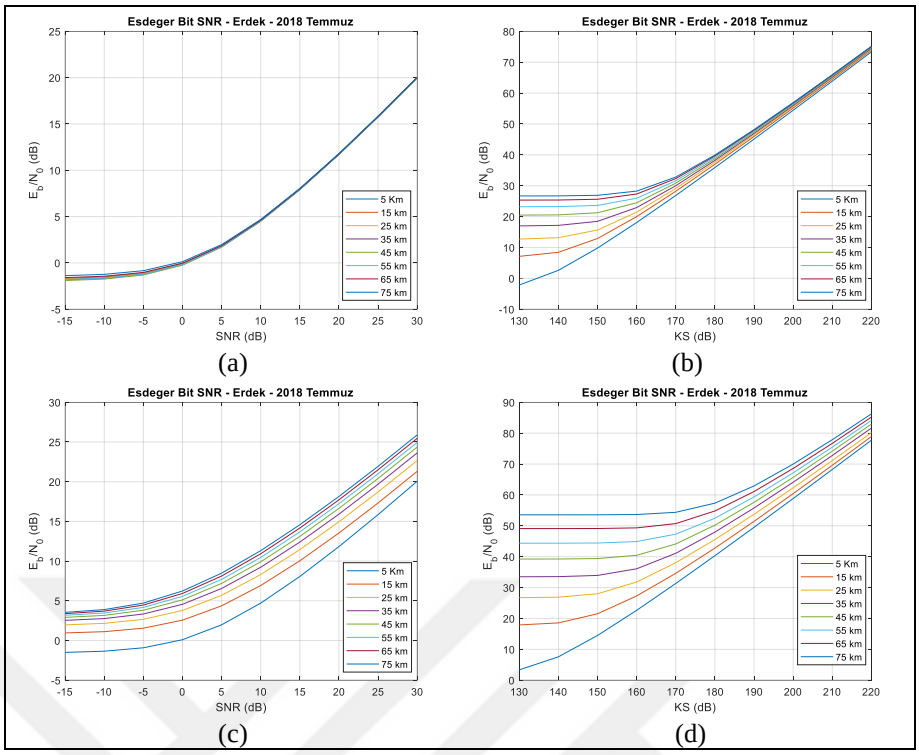


Şekil 3.6. Tez kapsamında önerilen parametreler ile Temmuz ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

Şekil 3.7.'de Erdek bölgesi için Temmuz ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir. Şekil 3.7.a'da 3dB bant genişliği için SNR'a bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri, Şekil 3.7.b'de 3dB bant genişliği için iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir. Şekil 3.7.c'de 6.5 KHz – 30 KHz bant genişliği için SNR'a bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri ve Şekil 3.7.d'de 6.5 KHz – 30 KHz bant genişliği için iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir.

3.2. Ağustos 2018 Verilerinin Analizleri

Ağustos 2018 tarihinde 2 farklı günde alınmış kayıtların derinliğe bağlı sıcaklık değişimleri Şekil 3.8.a'da, derinliğe bağlı tuzluluk değişimleri Şekil 3.8.b'de ve derinliğe bağlı sez hızı değişimleri Şekil 3.8.c'de gösterilmiştir. Şekil 3.8.a'dan da görüleceği üzere 8 Ağustos 2018 tarihinde alınan kayıtta su sıcaklığı derinliğe bağlı olarak azalmaktadır. Fakat 15 Ağustos tarihinde alınan kayıtta su sıcaklığının derinliğe



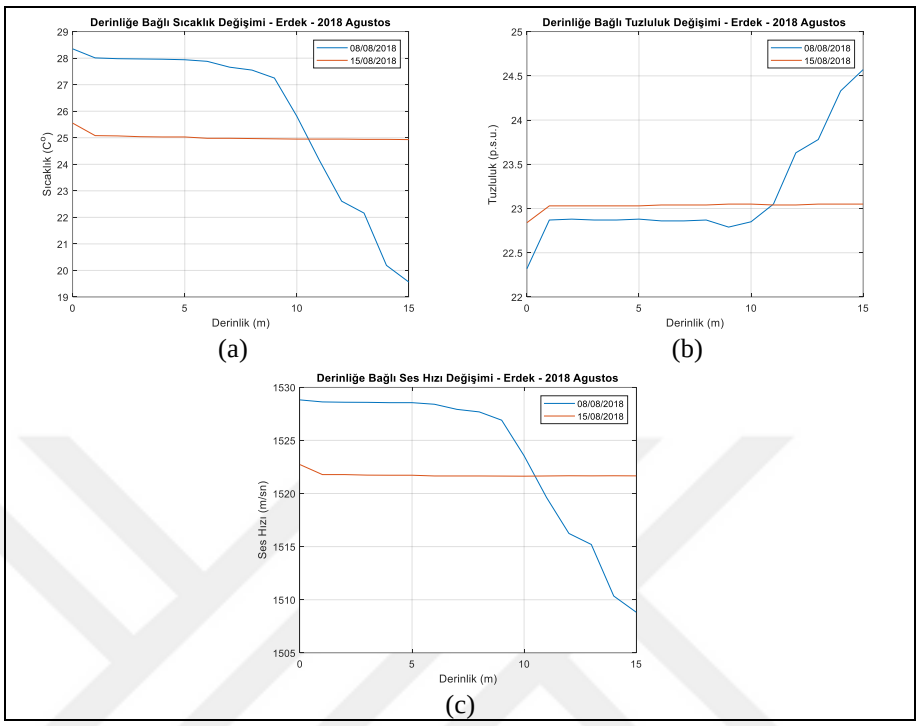
Şekil 3.7. Temmuz ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri

bağlı olarak değişmediği görülmektedir. Şekil 3.8.b'den de görüleceği üzere derinliğe bağlı tuzluluk değişimleri de sıcaklık değişimleri gibi iki günde farklı davranışlar göstermiştir. Şekil 3.8.c'den de görüleceği üzere sıcaklık ve tuzluluk oranında meydana gelen değişimler ses hızını doğrudan etkilemiştir. 8 Ağustosta alınan kayıtlarda ses hızı negatif eğime sahip iken 15 Ağustos kaydında eğim sıfıra yaklaşmıştır.

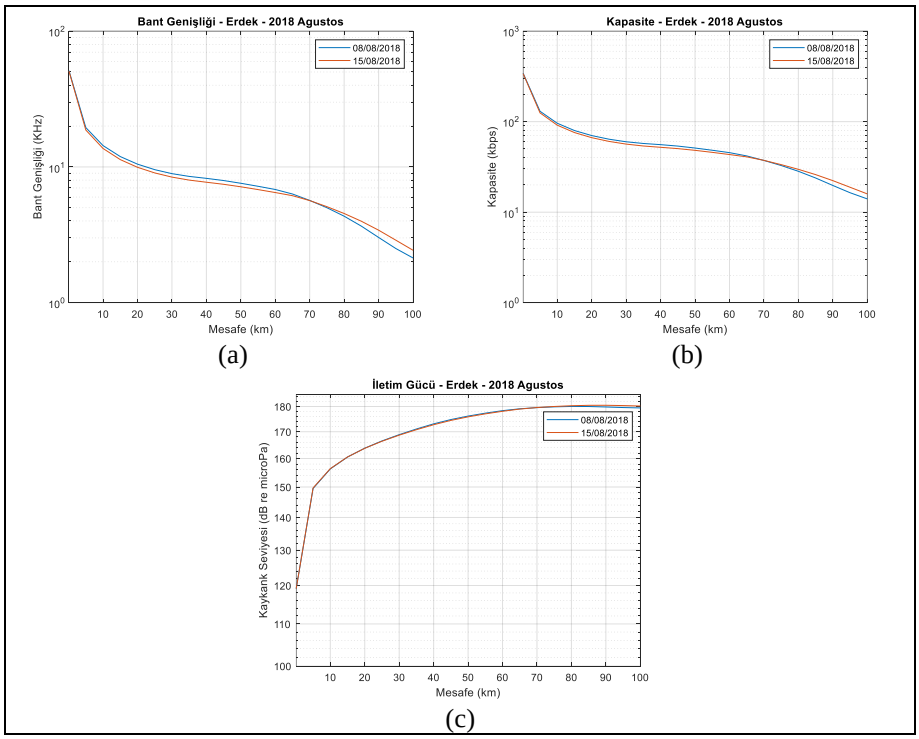
Ağustos 2018'e ait tüm kayıtlar ve [40] nolu çalışmada tanımlanan emilim kayıp parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen bant genişliğinin mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.9.a'da, kapasitenin mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.9.b'de ve iletim gücünün mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.9.c'de gösterilmiştir.

Ağustos ayına ait tüm kayıtlar için [40] nolu çalışmada tanımlanan emilim kayıp parametreleri ile tez kapsamında önerilen emilim kayıp parametreleri kullanılarak farklı mesafeler için bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerin ortalamaları alınarak kestirimler yapılmıştır. Tablo 3.2.'de

Erdek bölgesi için Ağustos ayına ait bant genişliği, kapasite ve iletim gücü model parametreleri gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Ağustos 2018 kayıtlarının derinliğe bağlı gösterimi

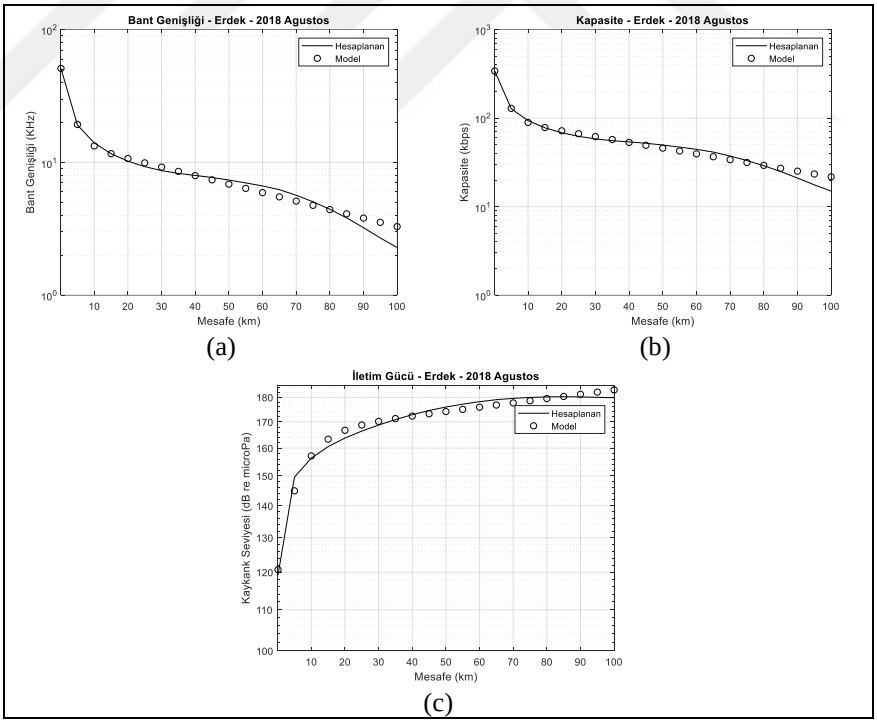


Şekil 3.9. Ağustos 2018'de alınan kayıtların her güne ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

Tablo 3.2.'de verilen model parametreleri kullanılarak elde edilen mesafeye bağlı bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin karşılaştırmaları Şekil 3.10. ve Şekil 3.11.'de gösterilmiştir. Şekil 3.10.a, Şekil 3.10.b ve Şekil 3.10.c'de gösterilen bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin hesaplanmasında çalışma [40]'da önerilen emilim kaybı modeli ve parametreleri kullanılmıştır.

Tablo 3.2. Ağustos 2018 için oluşturulan kanal model parametreleri

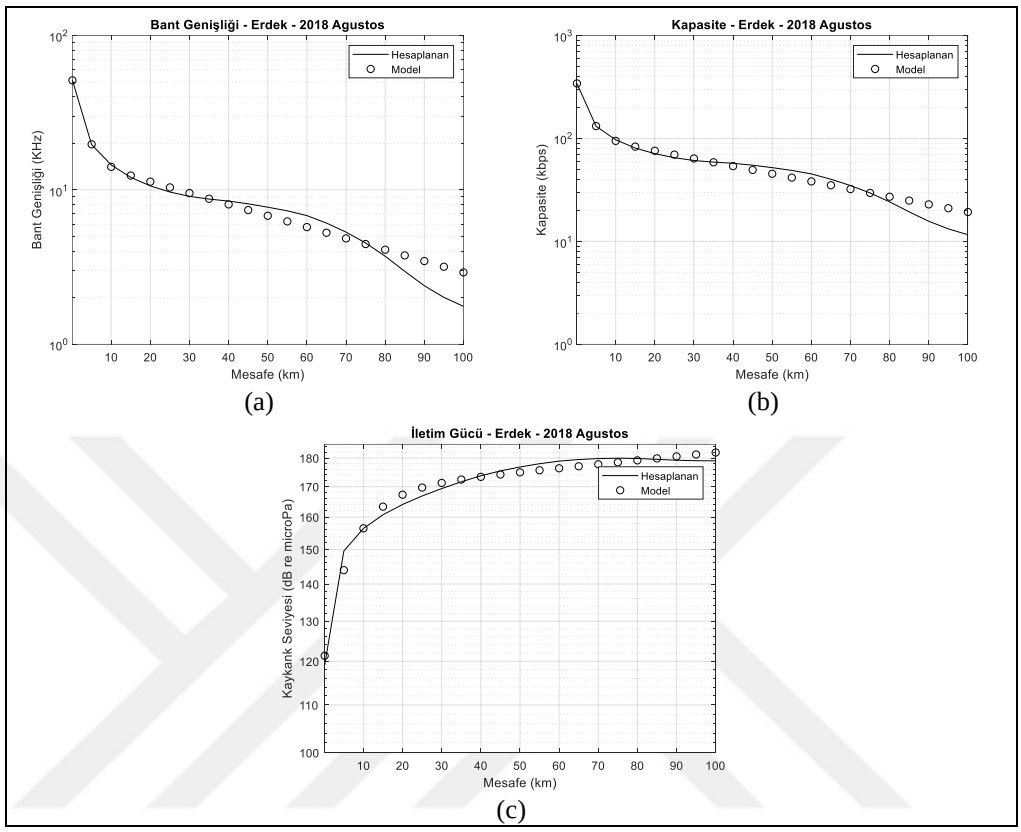
	Birim	**Parametre**		
		Katsayı	**[40]**	**Önerilen**
Bant Genişliği	*Hz*	$\mathbf{b_0}$	38063.5747	36870.4237
	1/Km	$\mathbf{b_1}$	-0.3700	-0.3922
	Hz	$\mathbf{b_2}$	14325.1211	15835.5618
	1/Km	$\mathbf{b_3}$	-0.0147	-0.0169
Kapasite	*bps*	$\mathbf{c_1}$	253317.0126	245288.9814
	1/Km	$\mathbf{c_2}$	-0.3736	-0.3966
	bps	**c3**	96713.9006	106884.3800
	1/Km	**c4**	-0.0150	-0.0171
Güç	*dB ref µPa*	**p1**	165.6882	168.2887
	1/Km	**p2**	0.0010	0.0008
	dB ref µPa	**p3**	-45.6730	-47.5653
	1/Km	**p4**	-0.1497	-0.1285



Şekil 3.10. Çalışma [40]'da önerilen parametreler ile Ağustos ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

Şekil 3.11.a, Şekil 3.11.b ve Şekil 3.11.c'de gösterilen bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin hesaplanmasında çalışma [40]'da önerilen emilim kaybı modeli ve tez kapsamında önerilen parametreler kullanılmıştır. Şekil 3.10. ve Şekil 3.11.'den de

görüleceği üzere hesaplanan bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerleri ile model çıktıları uyumludur.



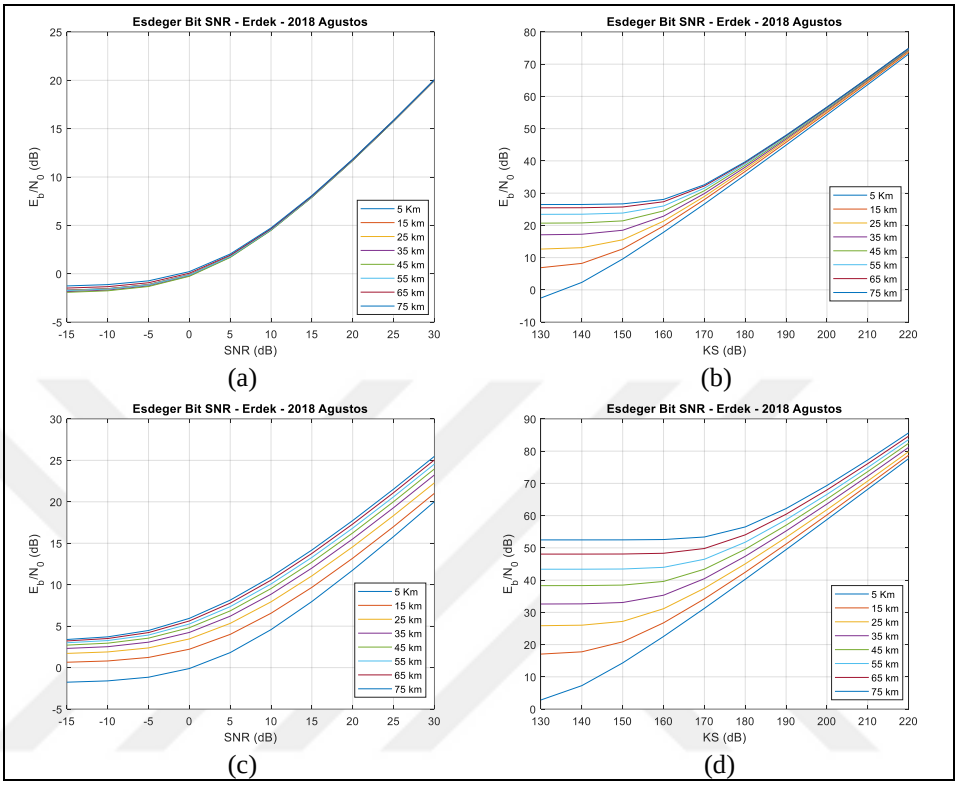
Şekil 3.11. Tez kapsamında önerilen parametreler ile Ağustos ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

Şekil 3.12.'de Erdek bölgesi için Ağustos ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir. Şekil 3.12.a'da 3dB bant genişliği için SNR'a bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri, Şekil 3.12.b'de 3dB bant genişliği için iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir. Şekil 3.12.c'de 6.5 KHz – 30 KHz bant genişliği için SNR'a bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri ve Şekil 3.12.d'de 6.5 KHz – 30 KHz bant genişliği için iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir.

3.3. Eylül 2018 Verilerinin Analizleri

22 Eylül 2018 tarihinde alınmış kaydın derinliğe bağlı sıcaklık değişimi Şekil 3.13.a'da, derinliğe bağlı tuzluluk değişimi Şekil 3.13.b'de ve derinliğe bağlı sez hızı değişimi Şekil 3.13.c'de gösterilmiştir. Şekil 3.13.a'dan da görüleceği üzere derinlik arttıkça sıcaklıkta meydana gelen değişimler çok düşüktür. Şekil 3.13.b'den de

görüleceği üzere derinlik arttıkça tuzluluk oranında artış meydana gelmiştir. Şekil 3.13.c'den de görüleceği ses hızı derinliğe bağlı olarak düşük sayılacak oranda artış göstermiştir.

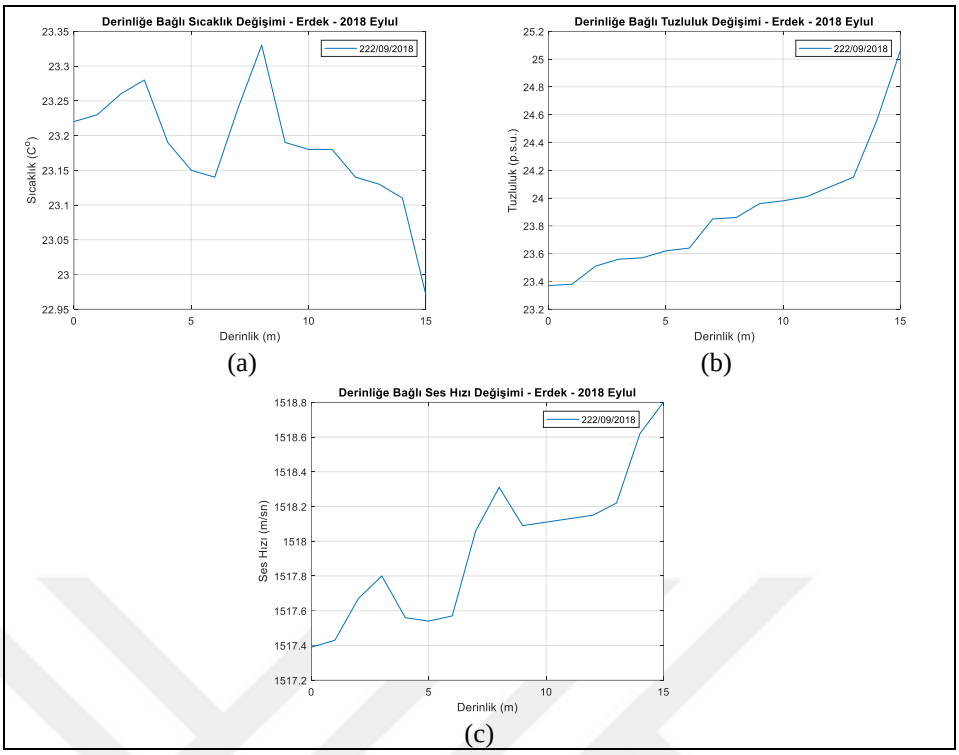


Şekil 3.12. Ağustos ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri

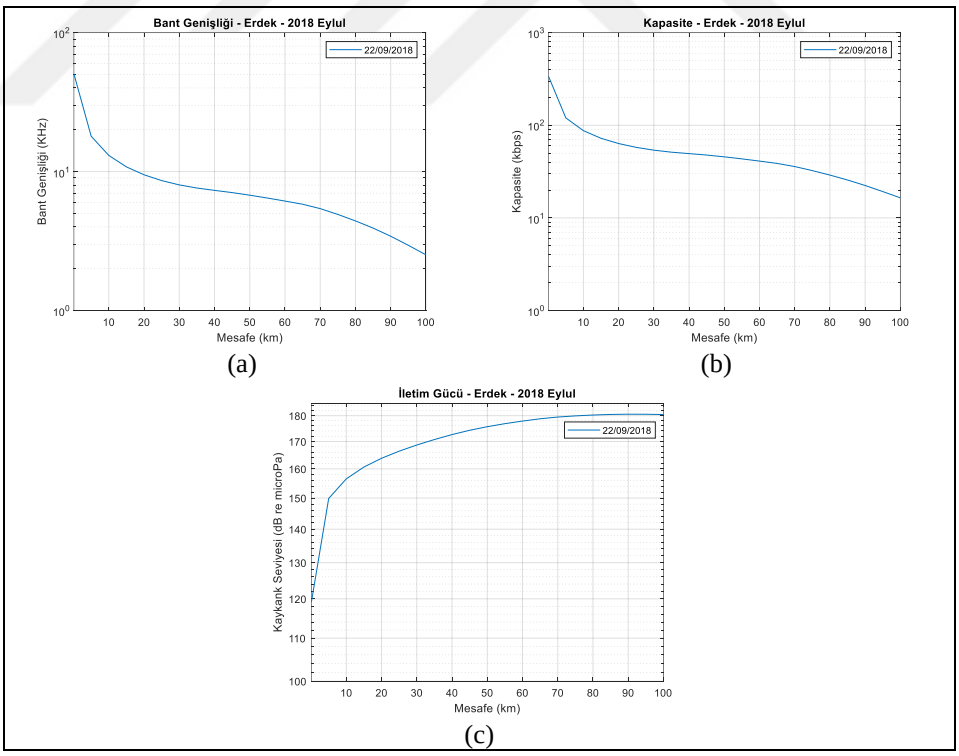
22 Eylül 2018 tarihinde alınmış kayıt ve [40] nolu çalışmada tanımlanan emilim kayıp parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen bant genişliğinin mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.14.a'da, kapasitenin mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.14.b'de ve iletim gücünün mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.14.c'de gösterilmiştir.

22 Eylül 2018 tarihine ait kayıt için [40] nolu çalışmada tanımlanan emilim kayıp parametreleri ile tez kapsamında önerilen emilim kayıp parametreleri kullanılarak farklı mesafeler için bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerin ortalamaları alınarak kestirimler yapılmıştır.

Tablo 3.3.'de Erdek bölgesi için Eylül ayına ait bant genişliği, kapasite ve iletim gücü model parametreleri gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Eylül 2018 kayıtlarının derinliğe bağlı gösterimi

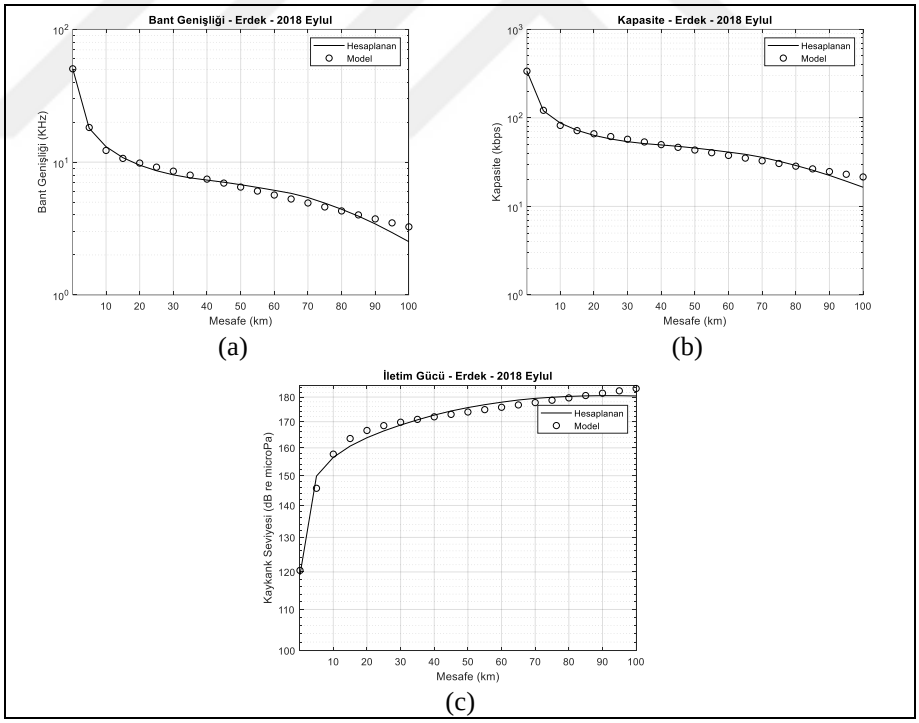


Şekil 3.14. 22 Eylül 2018 kayıtlarına ait mesafeye bağlı a)bant genişliği b)kapasite c) iletim gücü

Tablo 3.3. Eylül 2018 için oluşturulan kanal model parametreleri

	Birim	Parametre		
		Katsayı	[40]	Önerilen
Bant Genişliği	*Hz*	$\mathbf{b_0}$	38936.6349	37802.4551
	1/Km	$\mathbf{b_1}$	-0.3687	-0.3812
	Hz	$\mathbf{b_2}$	12936.4434	14504.8966
	1/Km	$\mathbf{b_3}$	-0.0138	-0.0156
Kapasite	*bps*	$\mathbf{c_1}$	259236.3778	251565.1078
	1/Km	$\mathbf{c_2}$	-0.3718	-0.3850
	bps	**c3**	87308.4995	97915.1188
	1/Km	**c4**	-0.0140	-0.0158
Güç	*dB ref µPa*	**p1**	164.6728	166.7664
	1/Km	**p2**	0.0011	0.0009
	dB ref µPa	**p3**	-44.9976	-46.4736
	1/Km	**p4**	-0.1633	-0.1412

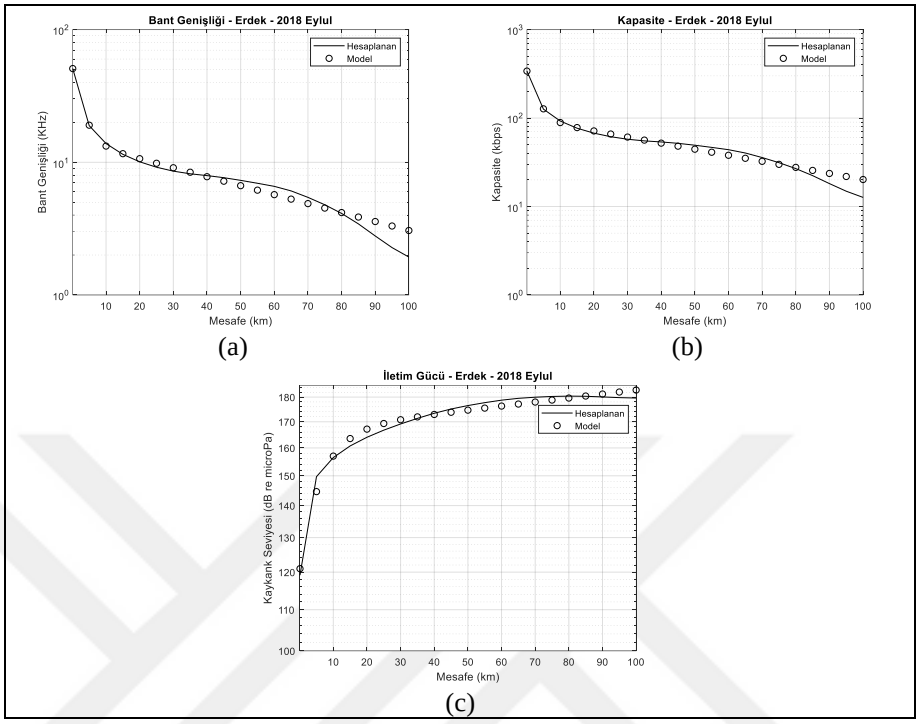
Tablo 3.3.'de verilen model parametreleri kullanılarak elde edilen mesafeye bağlı bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin karşılaştırmaları Şekil 3.15. ve Şekil 3.16.'da gösterilmiştir. Şekil 3.15.a, Şekil 3.15.b ve Şekil 3.15.c'de gösterilen bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin hesaplanmasında çalışma [40]'da önerilen emilim kaybı modeli ve parametreleri kullanılmıştır.



Şekil 3.15. Çalışma [40]'da önerilen parametreler ile Eylül ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

Şekil 3.16.a, Şekil 3.16.b ve Şekil 3.16.c'de gösterilen bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin hesaplanmasında çalışma [40]'da önerilen emilim kaybı modeli ve tez kapsamında önerilen parametreler kullanılmıştır. Şekil 3.15. ve Şekil 3.16.'dan da

görüleceği üzere hesaplanan bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerleri ile model çıktıları uyumludur.



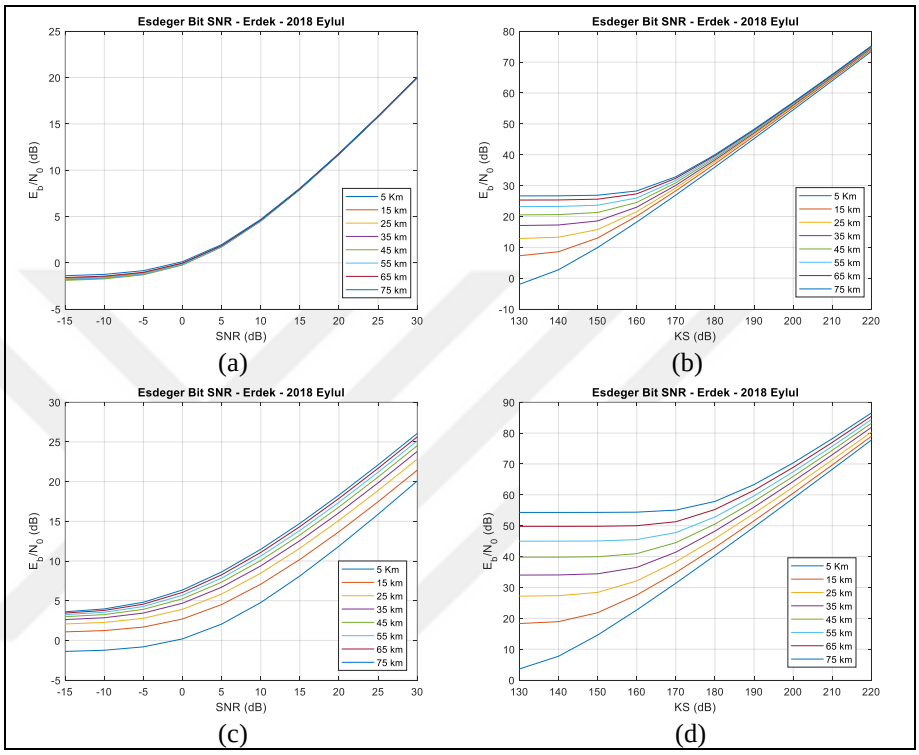
Şekil 3.16. Tez kapsamında önerilen parametreler ile Eylül ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

Şekil 3.17.'de Erdek bölgesi için Eylül ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir. Şekil 3.17.a'da 3dB bant genişliği için SNR'a bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri, Şekil 3.17.b'de 3dB bant genişliği için iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir. Şekil 3.17.c'de 6.5 KHz – 30 KHz bant genişliği için SNR'a bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri ve Şekil 3.17.d'de 6.5 KHz – 30 KHz bant genişliği için iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir.

3.4. Ekim 2018 Verilerinin Analizleri

Ekim 2018 tarihinde 2 farklı günde alınmış kayıtların derinliğe bağlı sıcaklık değişimleri Şekil 3.18.a'da, derinliğe bağlı tuzluluk değişimleri Şekil 3.18.b'de ve derinliğe bağlı sez hızı değişimleri Şekil 3.18.c'de gösterilmiştir. Şekil 3.18.a'dan da görüleceği üzere 3 Ekim 2018 tarihinde alınan kayıtta su sıcaklığı derinliğe bağlı olarak azalmaktadır. Fakat 18 Ekim 2018 tarihinde alınan kayıtta su sıcaklığının derinliğe bağlı olarak değişmediği görülmektedir. Şekil 3.18.b'de Ekim 2018

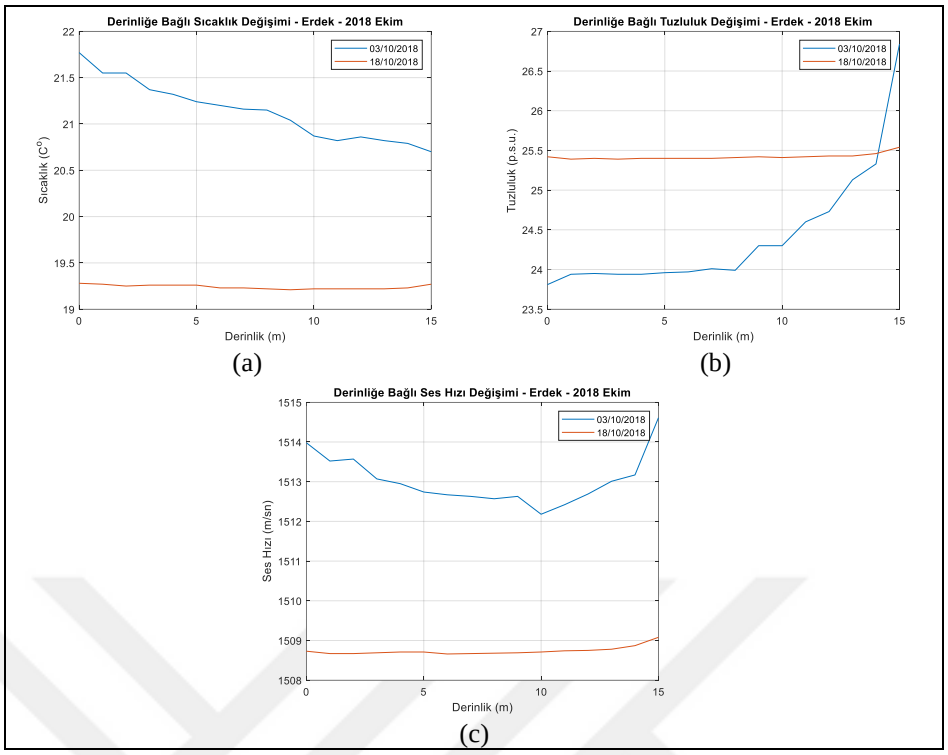
kayıtlarında derinliğe bağlı tuzluluk değişimleri de sıcaklık değişimleri gibi iki günde farklı davranış göstermiştir. Şekil 3.18.c' de görüleceği sıcaklık ve tuzluluk oranında meydana gelen değişimler ses hızını doğrudan etkilemiştir. 3 Ekim 2018'de alınan kayıtta kanal oluştuğu görülmektedir. 18 Ekim tarihinde alınan kayıtta ses hızı eğimi sıfıra yaklaşmıştır.



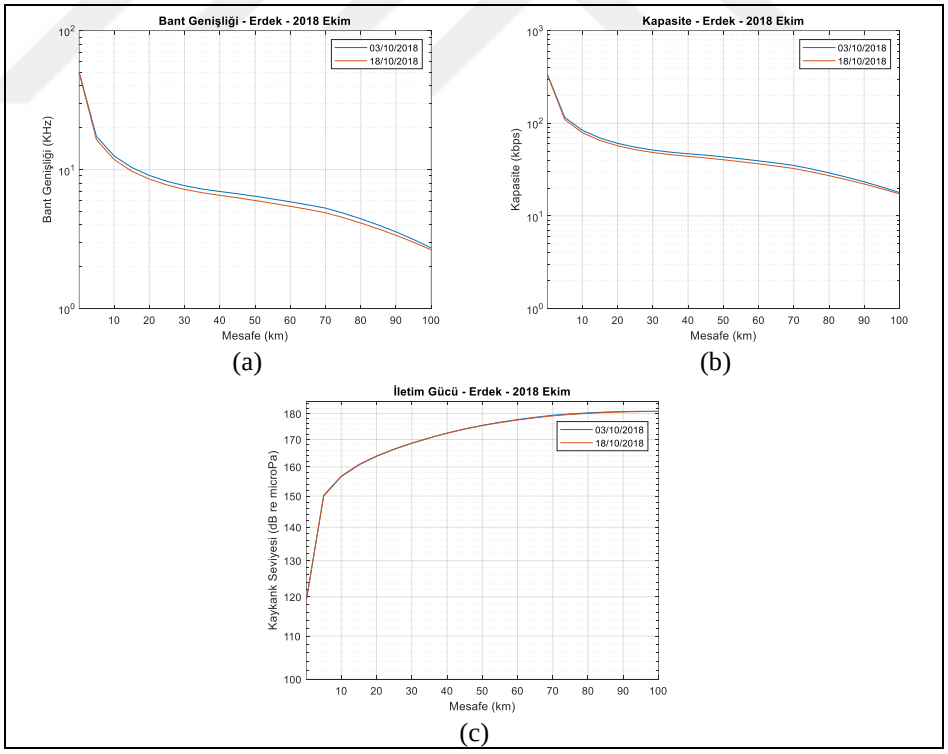
Şekil 3.17. Eylül ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri

Ekim 2018'e ait tüm kayıtlar ve [40] nolu çalışmada tanımlanan emilim kayıp parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen bant genişliğinin mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.19.a'da, kapasitenin mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.19.b'de ve iletim gücünün mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.19.c'de gösterilmiştir.

Ekim ayına ait tüm kayıtlar için [40] nolu çalışmada tanımlanan emilim kayıp parametreleri ile tez kapsamında önerilen emilim kayıp parametreleri kullanılarak farklı mesafeler için bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerin ortalamaları alınarak kestirimler yapılmıştır. Tablo 3.4.'de Erdek bölgesi için Ekim ayına ait bant genişliği, kapasite ve iletim gücü model parametreleri gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Ekim 2018 kayıtlarının derinliğe bağlı gösterimi



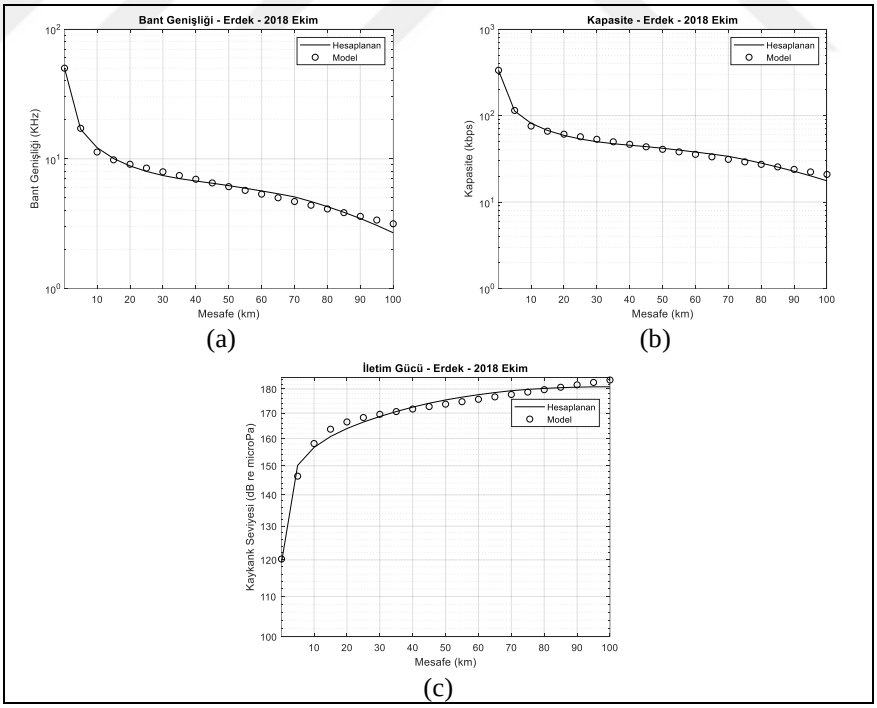
Şekil 3.19. Ekim 2018'de kayıtların mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

Tablo 3.4.'de verilen model parametreleri kullanılarak elde edilen mesafeye bağlı bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin karşılaştırmaları Şekil 3.20. ve Şekil 3.21.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Ekim 2018 için oluşturulan kanal model parametreleri

	Birim	**Parametre**		
		Katsayı	**[40]**	**Önerilen**
Bant Genişliği	*Hz*	$\mathbf{b_0}$	39697.9465	38687.2530
	1/Km	$\mathbf{b_1}$	-0.3729	-0.3757
	Hz	$\mathbf{b_2}$	11787.3359	13204.1732
	1/Km	$\mathbf{b_3}$	-0.0132	-0.0144
Kapasite	*bps*	$\mathbf{c_1}$	264424.8006	257544.9294
	1/Km	$\mathbf{c_2}$	-0.3755	-0.3790
	bps	$\mathbf{c_3}$	79494.5018	89124.7763
	1/Km	$\mathbf{c_4}$	-0.0134	-0.0146
Güç	*dB ref µPa*	$\mathbf{p_1}$	164.0037	165.4490
	1/Km	$\mathbf{p_2}$	0.0011	0.0010
	dB ref µPa	$\mathbf{p_3}$	-44.5523	-45.5626
	1/Km	$\mathbf{p_4}$	-0.1750	-0.1556

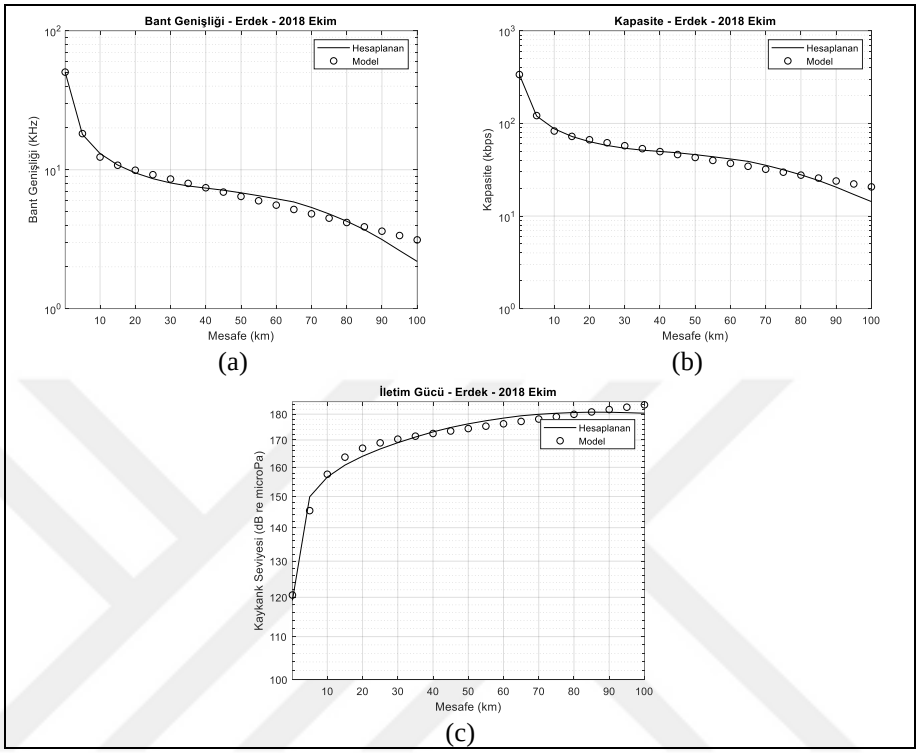
Şekil 3.20.a, Şekil 3.20.b ve Şekil 3.20.c'de gösterilen bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin hesaplanmasında çalışma [40]'da önerilen emilim kaybı modeli ve parametreleri kullanılmıştır.



Şekil 3.20. Çalışma [40]'da önerilen parametreler ile Ekim ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

Şekil 3.21.a, Şekil 3.21.b ve Şekil 3.21.c'de gösterilen bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin hesaplanmasında çalışma [40]'da önerilen emilim kaybı modeli ve

tez kapsamında önerilen parametreler kullanılmıştır. Şekil 3.20. ve Şekil 3.21.'den de görüleceği üzere hesaplanan bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerleri ile model çıktıları uyumludur.

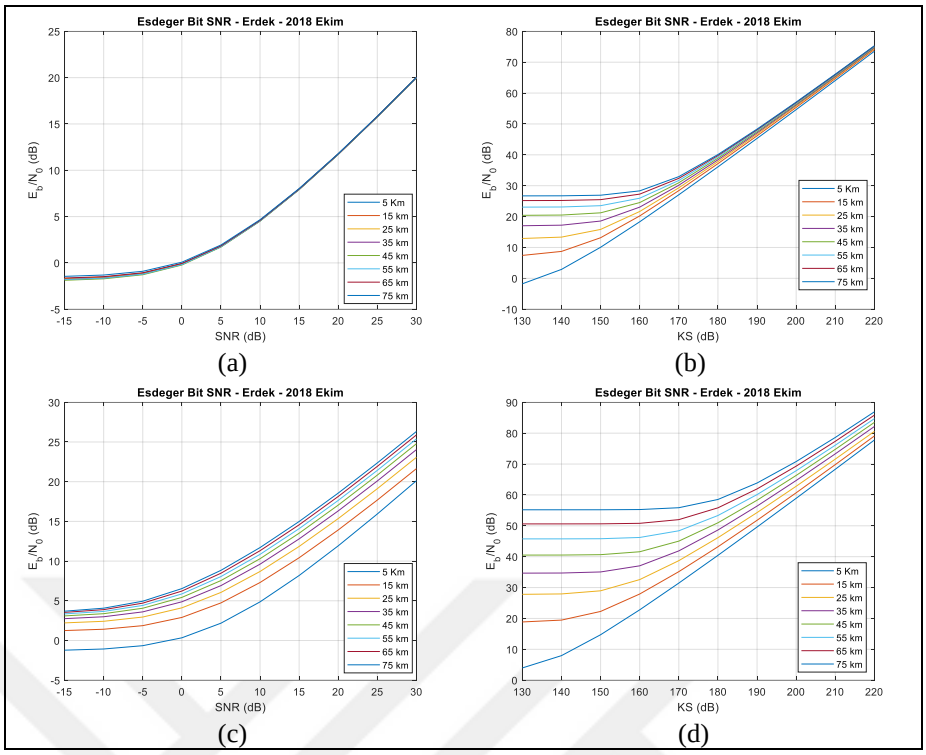


Şekil 3.21. Tez kapsamında önerilen parametreler ile Ekim ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

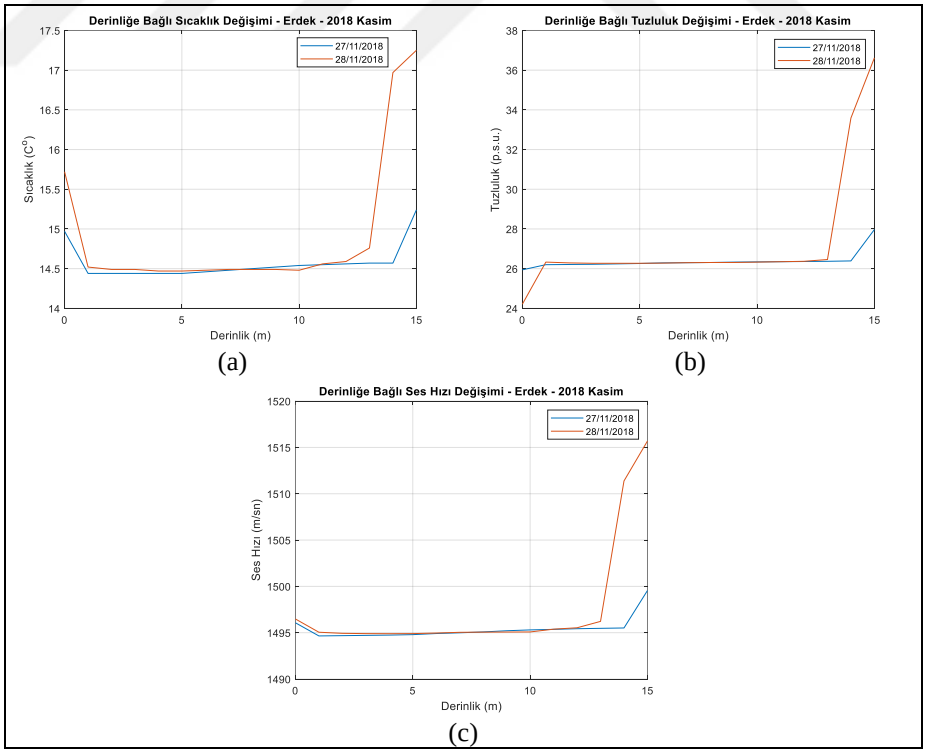
Şekil 3.22.'de Erdek bölgesi için Ekim ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir. Şekil 3.22.a'da 3dB bant genişliği için SNR'a bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri, Şekil 3.22.b'de 3dB bant genişliği için iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir. Şekil 3.22.c'de 6.5 KHz – 30 KHz bant genişliği için SNR'a bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri ve Şekil 3.22.d'de 6.5 KHz – 30 KHz bant genişliği için iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir.

3.5. Kasım 2018 Verilerinin Analizleri

Kasım 2018 tarihinde 2 farklı günde alınmış kayıtların derinliğe bağlı sıcaklık değişimleri Şekil 3.23.a'da, derinliğe bağlı tuzluluk değişimleri Şekil 3.23.b'de ve derinliğe bağlı sez hızı değişimleri Şekil 3.23.c'de gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Ekim ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri

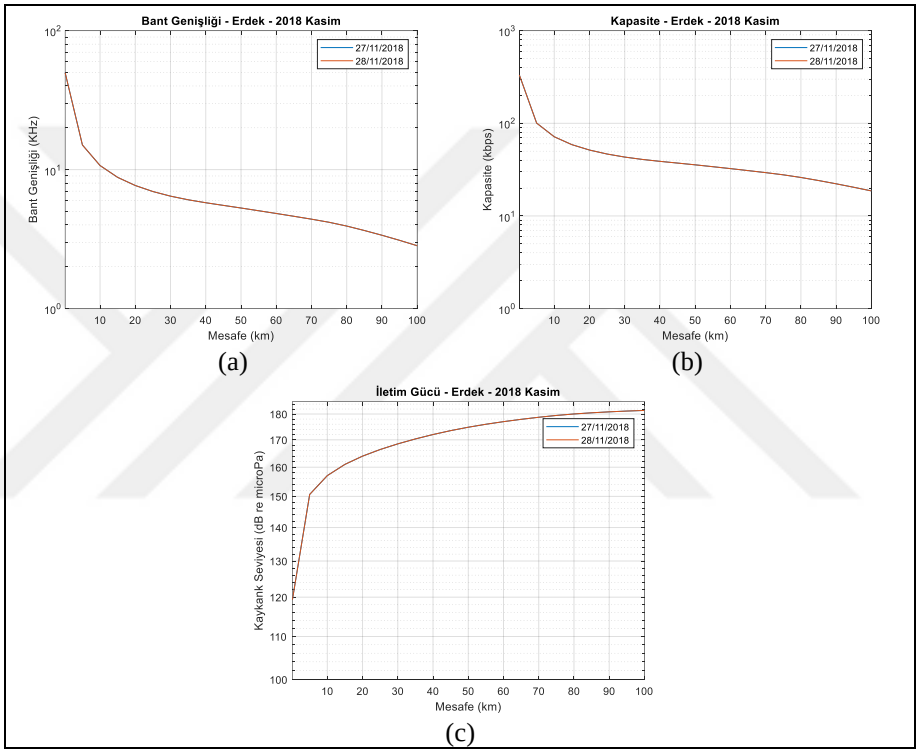


Şekil 3.23. Kasım 2018 kayıtlarının derinliğe bağlı gösterimi

Şekil 3.23.a'dan da görüleceği üzere alınan kayıtlarda su sıcaklığı derinliğe bağlı olarak değişiklik göstermemiştir. Şekil 3.23.b'den de görüleceği üzere derinliğe bağlı

tuzluluk değişimlerinin sıcaklık değişimleri olduğu gibi aynı davranışları göstermiştir. Şekil 3.23.c' de görüleceği üzere ses hızı eğimi sıfıra yaklaşmıştır.

Kasım 2018'e ait tüm kayıtlar ve [40] nolu çalışmada tanımlanan emilim kayıp parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen bant genişliğinin mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.24.a'da, kapasitenin mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.24.b'de ve iletim gücünün mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.24.c'de gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Kasım 2018 kayıtlarına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

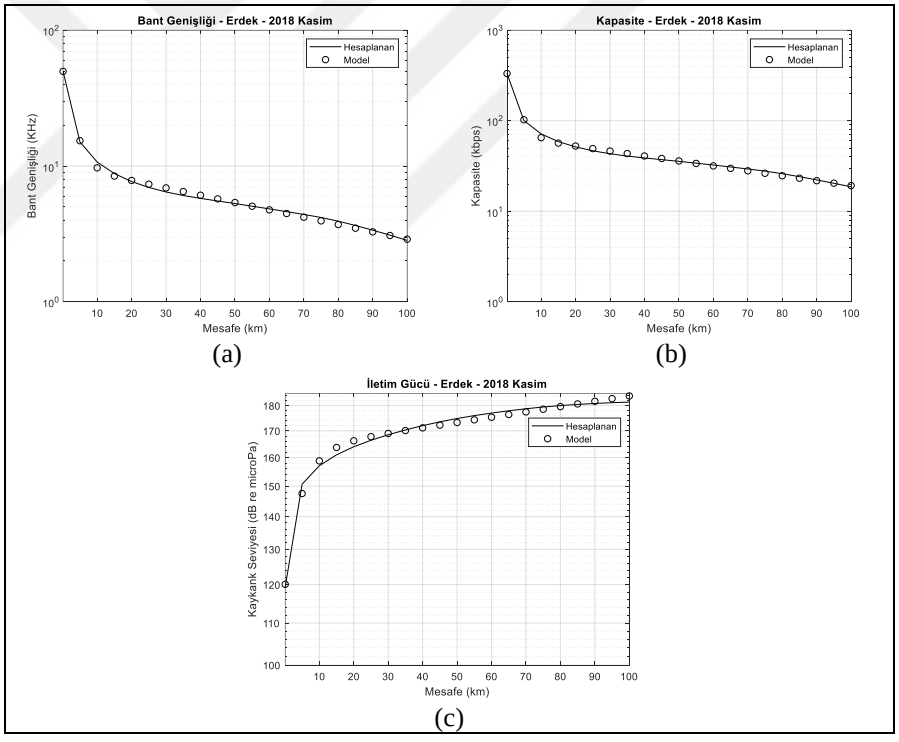
Kasım ayına ait tüm kayıtlar için [40] nolu çalışmada tanımlanan emilim kayıp parametreleri ile tez kapsamında önerilen emilim kayıp parametreleri kullanılarak farklı mesafeler için bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerin ortalamaları alınarak kestirimler yapılmıştır. Tablo 3.5.'te Erdek bölgesi için Kasım ayına ait bant genişliği, kapasite ve iletim gücü model parametreleri gösterilmiştir.

Tablo 3.5.'te verilen model parametreleri kullanılarak elde edilen mesafeye bağlı bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin karşılaştırmaları Şekil 3.25. ve Şekil

3.26.'da gösterilmiştir. Şekil 3.25.a, Şekil 3.25.b ve Şekil 3.25.c'de gösterilen bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin hesaplanmasında çalışma [40]'da önerilen emilim kaybı modeli ve parametreleri kullanılmıştır.

Tablo 3.5. Kasım 2018 için oluşturulan kanal model parametreleri

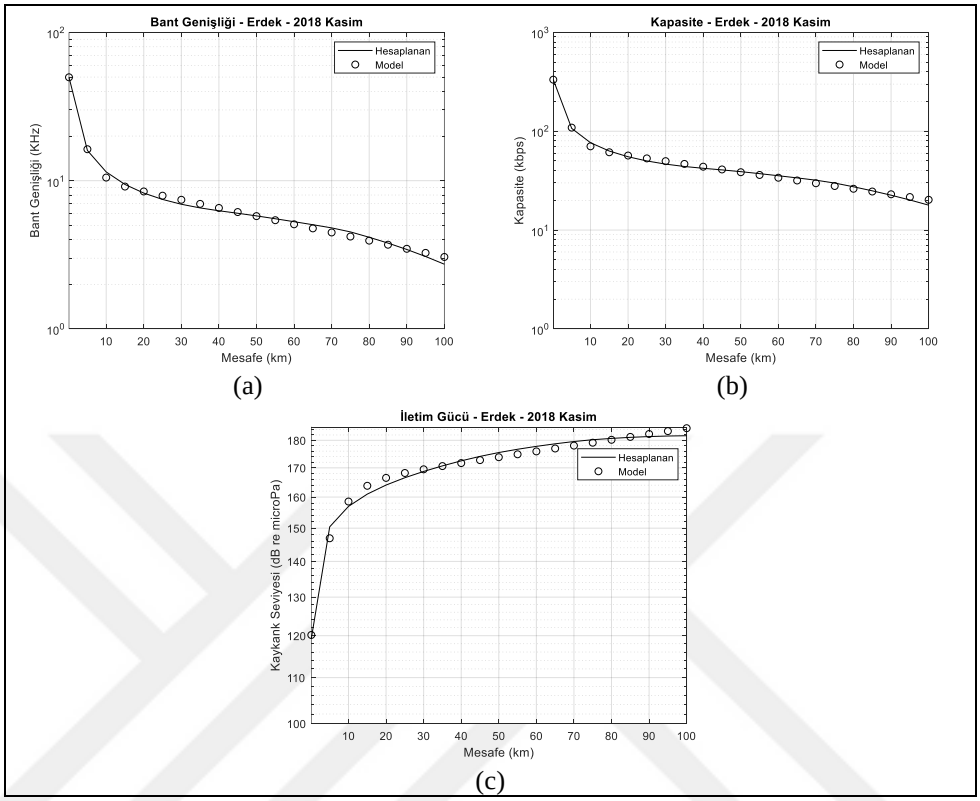
	Birim	**Parametre**		
		Katsayı	**[40]**	**Önerilen**
Bant Genişliği	*Hz*	$\mathbf{b_0}$	41310.1599	40469.6604
	1/Km	$\mathbf{b_1}$	-0.3881	-0.3787
	Hz	$\mathbf{b_2}$	10017.2291	10870.7015
	1/Km	$\mathbf{b_3}$	-0.0124	-0.0127
Kapasite	*bps*	$\mathbf{c_1}$	275420.6329	269674.9559
	1/Km	$\mathbf{c_2}$	-0.3898	-0.3810
	bps	**c3**	67407.5978	73257.1272
	1/Km	**c4**	-0.0126	-0.0129
Güç	*dB ref µPa*	**p1**	163.1378	163.6531
	1/Km	**p2**	0.0012	0.0012
	dB ref µPa	**p3**	-43.9203	-44.3035
	1/Km	**p4**	-0.1943	-0.1829



Şekil 3.25. Çalışma [40]'da önerilen parametreler ile Kasım ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

Şekil 3.26.a, Şekil 3.26.b ve Şekil 3.26.c'de gösterilen bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin hesaplanmasında çalışma [40]'da önerilen emilim kaybı modeli ve tez kapsamında önerilen parametreler kullanılmıştır. Şekil 3.25. ve Şekil 3.26.'dan da

görüleceği üzere hesaplanan bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerleri ile model çıktıları uyumludur.

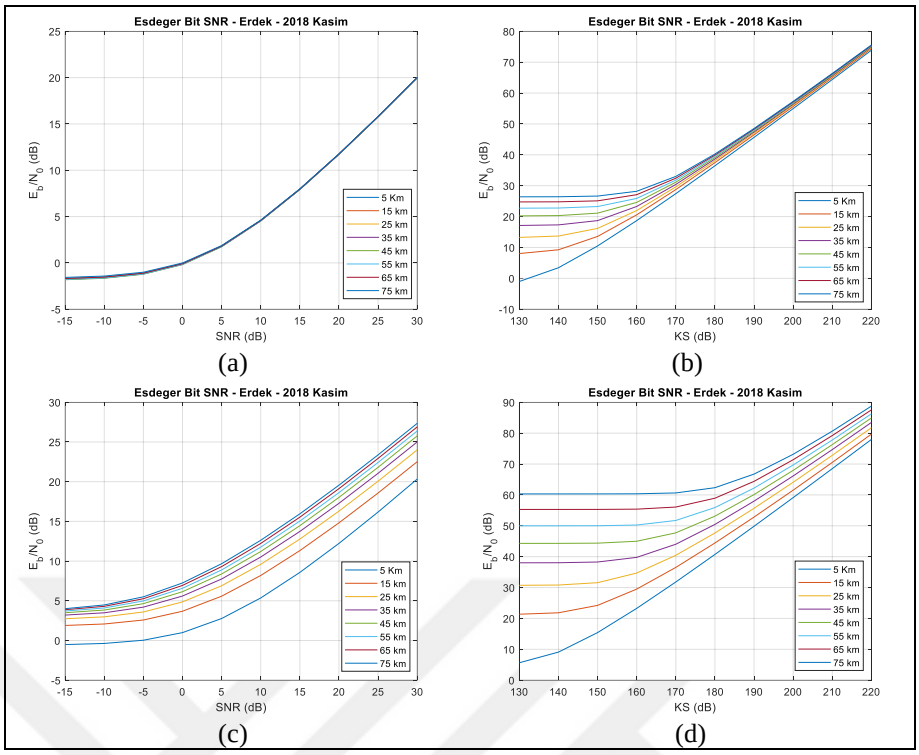


Şekil 3.26. Tez kapsamında önerilen parametreler ile Kasım ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

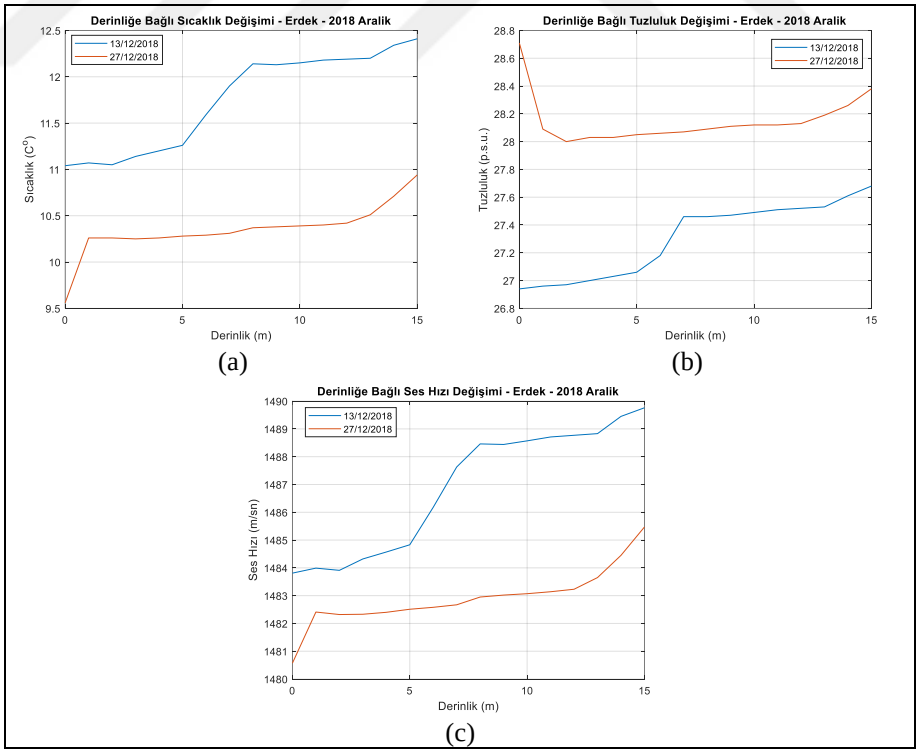
Şekil 3.27.'de Erdek bölgesi için Kasım ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir. Şekil 3.27.a'da 3dB bant genişliği için SNR'a bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri, Şekil 3.27.b'de 3dB bant genişliği için iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir. Şekil 3.27.c'de 6.5 KHz – 30 KHz bant genişliği için SNR'a bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri ve Şekil 3.27.d'de 6.5 KHz – 30 KHz bant genişliği için iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir.

3.6. Aralık 2018 Verilerinin Analizleri

Aralık 2018 tarihinde 2 farklı günde alınmış kayıtların derinliğe bağlı sıcaklık değişimleri Şekil 3.28.a'da, derinliğe bağlı tuzluluk değişimleri Şekil 3.28.b'de ve derinliğe bağlı sez hızı değişimleri Şekil 3.28.c'de gösterilmiştir.



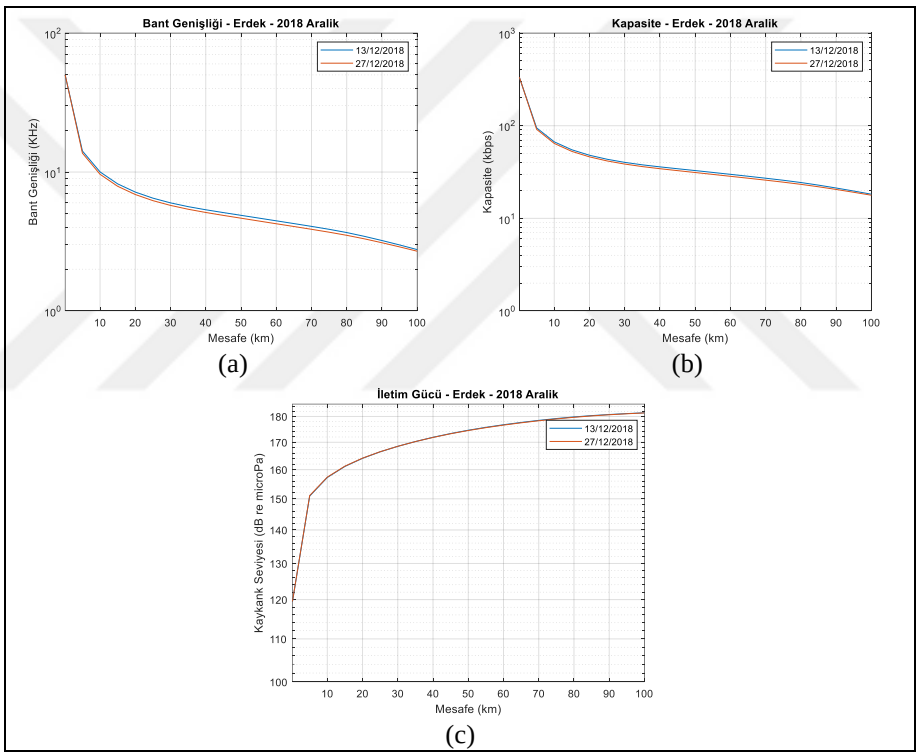
Şekil 3.27. Kasım ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri



Şekil 3.28. Aralık 2018 tarihlerinde alınan ölçümlerin derinliğe bağlı gösterimi a) sıcaklık b) tuzluluk c) ses hızı

Şekil 3.28.a'dan da görüleceği üzere alınan kayıtlarda su sıcaklığı derinliğe bağlı olarak artış göstermiştir. Şekil 3.28.b'den de görüleceği üzere derinliğe bağlı tuzluluk oranında küçük seviyelerde değişimler meydana gelmiştir. Şekil 3.28.c'den de görüleceği üzere her iki kayıtta da ses hızı pozitif eğime sahiptir.

Aralık 2018'e ait tüm kayıtlar ve [40] nolu çalışmada tanımlanan emilim kayıp parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen bant genişliğinin mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.29.a'da, kapasitenin mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.29.b'de ve iletim gücünün mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.29.c'de gösterilmiştir.



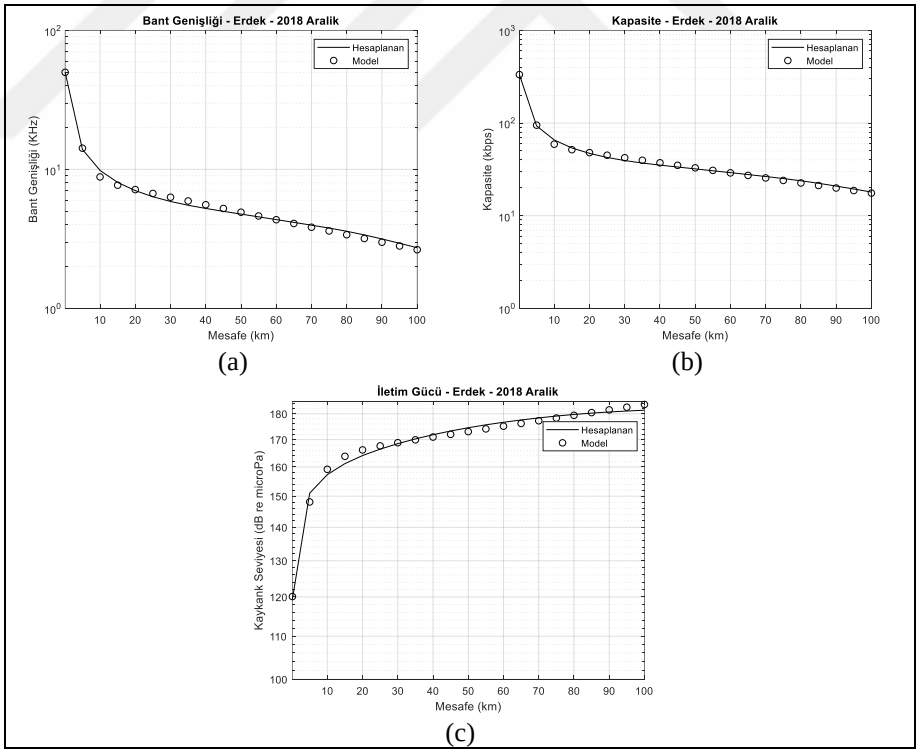
Şekil 3.29. Aralık 2018 kayıtlarına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

Aralık ayına ait tüm kayıtlar için [40] nolu çalışmada tanımlanan emilim kayıp parametreleri ile tez kapsamında önerilen emilim kayıp parametreleri kullanılarak farklı mesafeler için bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerin ortalamaları alınarak kestirimler yapılmıştır. Tablo 3.6.'da Erdek bölgesi için Aralık ayına ait bant genişliği, kapasite ve iletim gücü model parametreleri gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Aralık 2018 için oluşturulan kanal model parametreleri

	Birim	Parametre		
		Katsayı	[40]	Önerilen
Bant Genişliği	*Hz*	$\mathbf{b_0}$	42509.0543	41866.7478
	1/Km	$\mathbf{b_1}$	-0.4052	-0.4011
	Hz	$\mathbf{b_2}$	9155.3707	9576.7878
	1/Km	$\mathbf{b_3}$	-0.0124	-0.0127
Kapasite	*bps*	$\mathbf{c_1}$	283556.9132	279171.1786
	1/Km	$\mathbf{c_2}$	-0.4066	-0.4028
	bps	**c3**	61525.9726	64434.4166
	1/Km	**c4**	-0.0125	-0.0128
Güç	*dB ref µPa*	**p1**	162.9529	163.3593
	1/Km	**p2**	0.0012	0.0012
	dB ref µPa	**p3**	-43.7495	-44.0881
	1/Km	**p4**	-0.2030	-0.1953

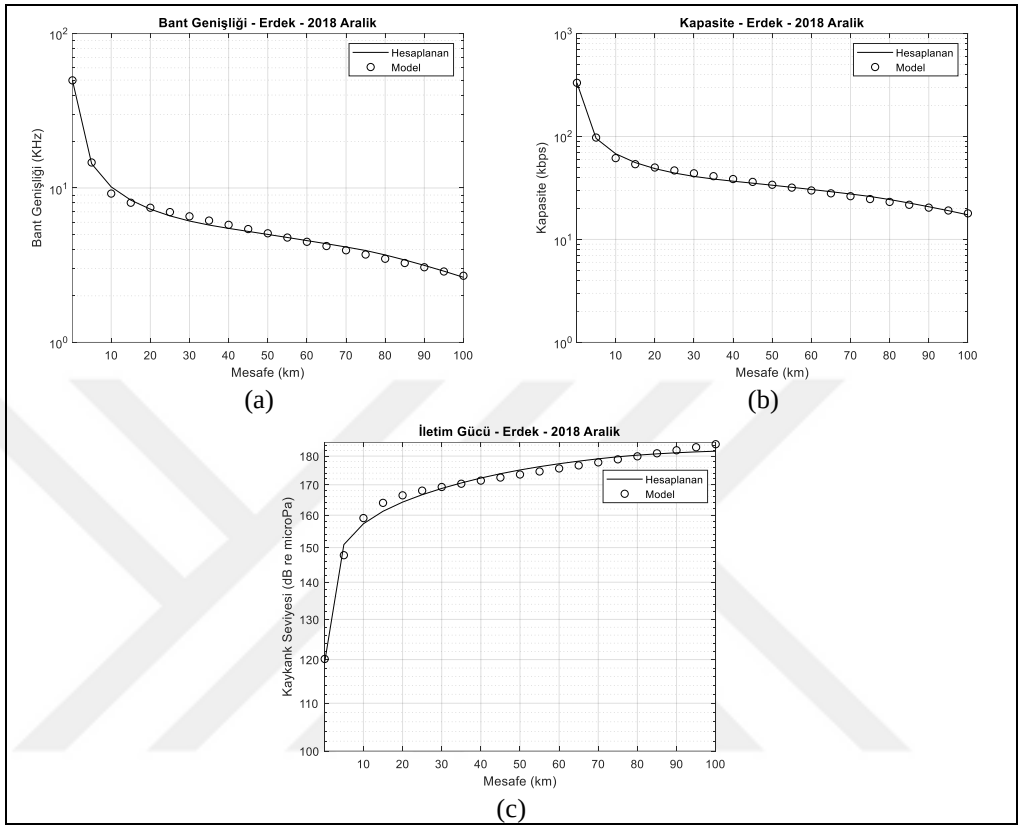
Tablo 3.6.'da verilen model parametreleri kullanılarak elde edilen mesafeye bağlı bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin karşılaştırmaları Şekil 3.30. ve Şekil 3.31.'de gösterilmiştir. Şekil 3.30.a, Şekil 3.30.b ve Şekil 3.30.c'de gösterilen bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin hesaplanmasında çalışma [40]'da önerilen emilim kaybı modeli ve parametreleri kullanılmıştır.



Şekil 3.30. Çalışma [40]'da önerilen parametreler ile Aralık ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

Şekil 3.31.a, Şekil 3.31.b ve Şekil 3.31.c'de gösterilen bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin hesaplanmasında çalışma [40]'da önerilen emilim kaybı modeli ve

tez kapsamında önerilen parametreler kullanılmıştır. Şekil 3.30. ve Şekil 3.31.'den de görüleceği üzere hesaplanan bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerleri ile model çıktıları uyumludur.



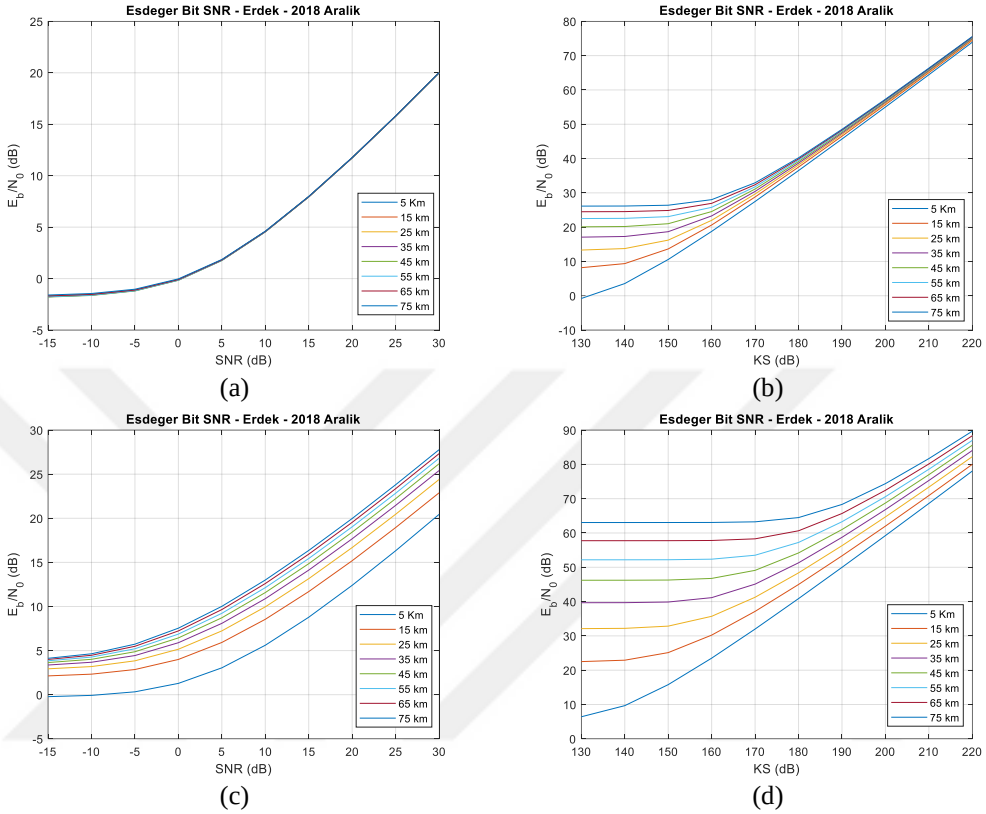
Şekil 3.31. Tez kapsamında önerilen parametreler ile Aralık ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

Şekil 3.32.'de Erdek bölgesi için Aralık ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir. Şekil 3.32.a'da 3dB bant genişliği için SNR'a bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri, Şekil 3.32.b'de 3dB bant genişliği için iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir. Şekil 3.32.c'de 6.5 KHz – 30 KHz bant genişliği için SNR'a bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri ve Şekil 3.32.d'de 6.5 KHz – 30 KHz bant bant genişliği için iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir.

3.7. Ocak 2019 Verilerinin Analizleri

7 Ocak 2019 tarihinde alınmış kaydın derinliğe bağlı sıcaklık değişimi Şekil 3.33.a'da, derinliğe bağlı tuzluluk değişimi Şekil 3.33.b'de ve derinliğe bağlı sez hızı değişimi Şekil 3.33.c'de gösterilmiştir. Şekil 3.33.a'dan da görüleceği üzere derinlik arttıkça

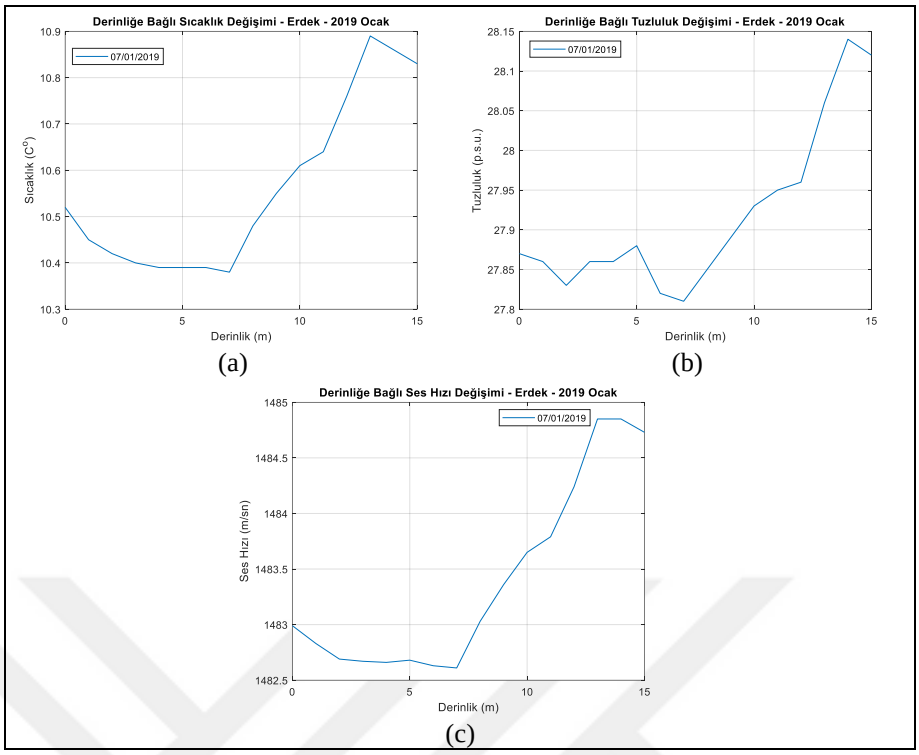
sıcaklıkta meydana gelen değişimler çok düşüktür. Şekil 3.33.b'den de görüleceği üzere derinlik arttıkça tuzluluk oranında meydana gelen artış sıcaklıkta olduğu gibi çok düşüktür. Şekil 3.33.c'den de görüleceği ses hızı pozitif eğime sahiptir.



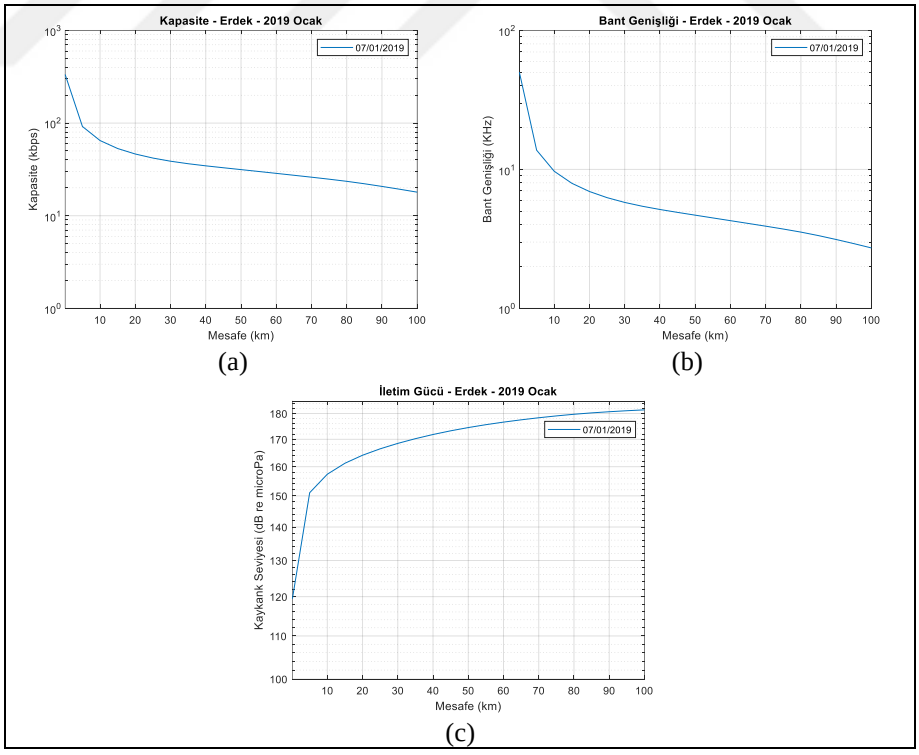
Şekil 3.32. Aralık ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri

7 Ocak 2019 tarihinde alınmış kayıt ve [40] nolu çalışmada tanımlanan emilim kayıp parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen mesafeye bağlı bant genişliğinin değişimleri Şekil 3.34.a'da, kapasitenin değişimleri Şekil 3.34.b'de ve iletim gücü değişimleri Şekil 3.34.c'de gösterilmiştir.

Ocak ayına ait kayıt için [40] nolu çalışmada tanımlanan emilim kayıp parametreleri ile tez kapsamında önerilen emilim kayıp parametreleri kullanılarak farklı mesafeler için bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerden kestirimler yapılmıştır. Tablo 3.7.'de Erdek bölgesi için Ocak ayına ait bant genişliği, kapasite ve iletim gücü model parametreleri gösterilmiştir.



Şekil 3.33. 7 Ocak 2019 tarihlerinde alınan ölçümlerin derinliğe bağlı gösterimi

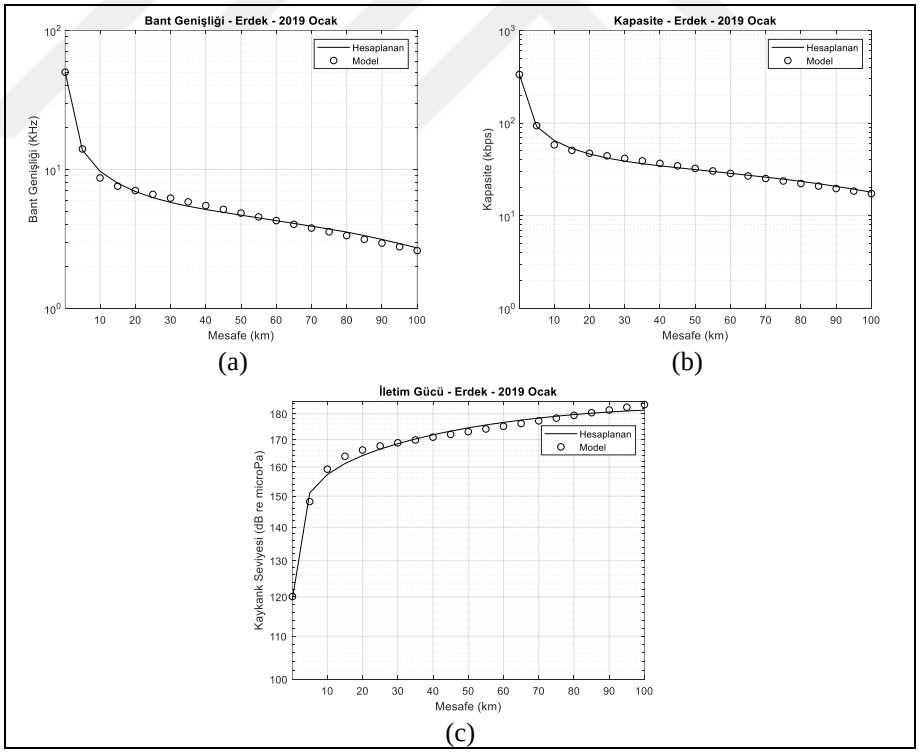


Şekil 3.34. Ocak 2019 kayıtlarına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

Tablo 3.7. Ocak 2019 için oluşturulan kanal model parametreleri

	Birim	Parametre		
		Katsayı	[40]	Alternatif
Bant Genişliği	*Hz*	$\mathbf{b_0}$	42772.3749	42210.6118
	1/Km	$\mathbf{b_1}$	-0.4079	-0.4054
	Hz	$\mathbf{b_2}$	9011.7365	9340.8325
	1/Km	$\mathbf{b_3}$	-0.0124	-0.0126
Kapasite	*bps*	$\mathbf{c_1}$	285343.7225	281505.3305
	1/Km	$\mathbf{c_2}$	-0.4092	-0.4070
	bps	**c3**	60543.0176	62822.8422
	1/Km	**c4**	-0.0125	-0.0128
Güç	*dB ref µPa*	**p1**	162.8991	163.2894
	1/Km	**p2**	0.0012	0.0012
	dB ref µPa	**p3**	-43.6969	-44.0259
	1/Km	**p4**	-0.2048	-0.1978

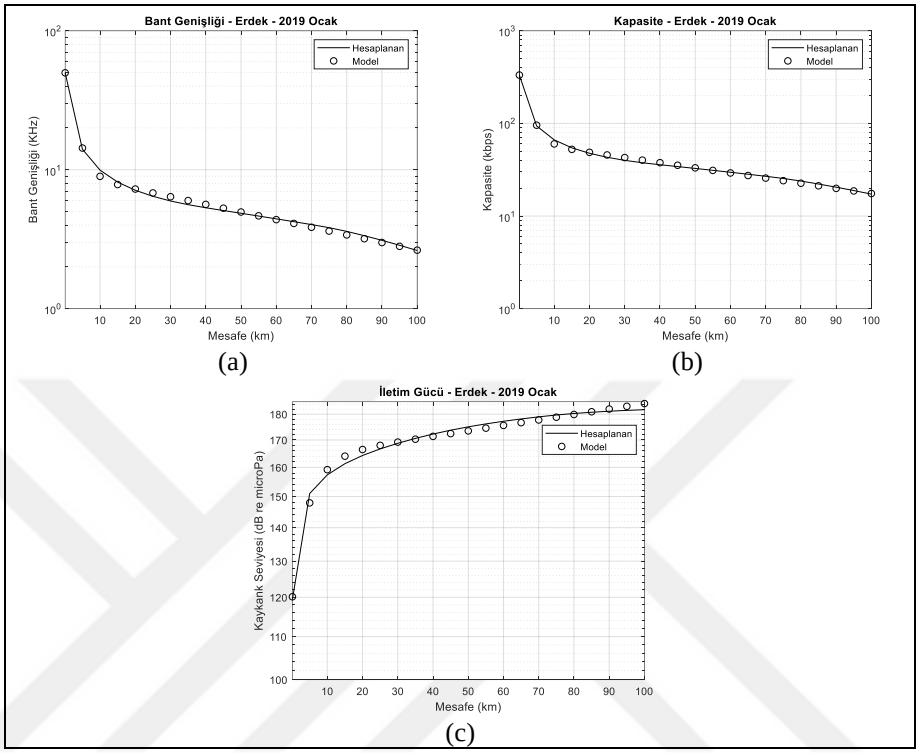
Tablo 3.7.'de verilen model parametreleri kullanılarak elde edilen mesafeye bağlı bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin karşılaştırmaları Şekil 3.35. ve Şekil 3.36.'da gösterilmiştir. Şekil 3.35.a, Şekil 3.35.b ve Şekil 3.35.c'de gösterilen bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin hesaplanmasında çalışma [40]'da önerilen emilim kaybı modeli ve parametreleri kullanılmıştır.



Şekil 3.35. Çalışma [40]'da önerilen parametreler ile Ocak ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

Şekil 3.36.a, Şekil 3.36.b ve Şekil 3.36.c'de gösterilen bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin hesaplanmasında çalışma [40]'da önerilen emilim kaybı modeli ve

tez kapsamında önerilen parametreler kullanılmıştır. Şekil 3.35. ve Şekil 3.36.'dan da görüleceği üzere hesaplanan bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerleri ile model çıktıları uyumludur.

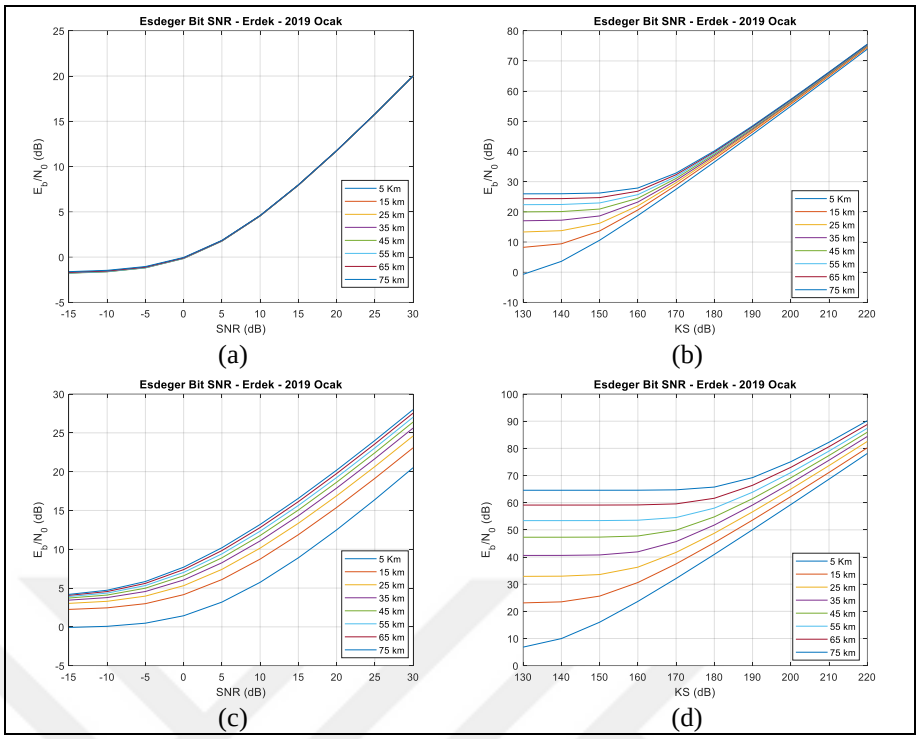


Şekil 3.36. Tez kapsamında önerilen parametreler ile Ocak ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

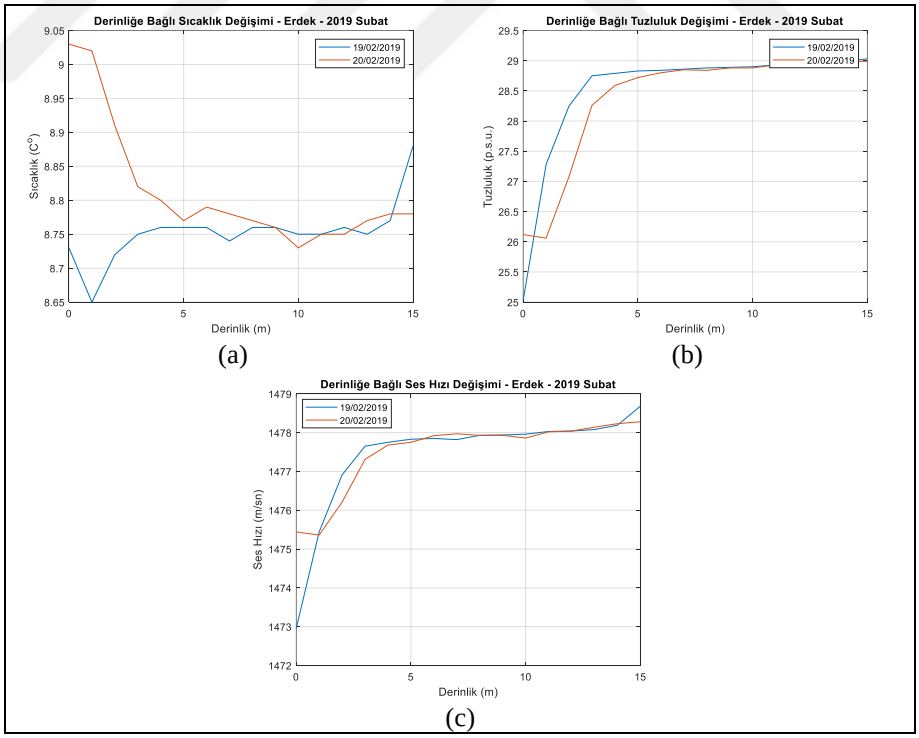
Şekil 3.37.'de Erdek bölgesi için Ocak ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir. Şekil 3.37.a'da 3dB bant genişliği için SNR'a bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri, Şekil 3.37.b'de 3dB bant genişliği için iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir. Şekil 3.37.c'de 6.5 KHz – 30 KHz bant genişliği için SNR'a bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri ve Şekil 3.37.d'de 6.5 KHz – 30 KHz bant genişliği için iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir.

3.8. Şubat 2019 Verilerinin Analizleri

Şubat 2018 tarihinde 2 farklı günde alınmış kayıtların derinliğe bağlı sıcaklık değişimleri Şekil 3.38.a'da, derinliğe bağlı tuzluluk değişimleri Şekil 3.38.b'de ve derinliğe bağlı sez hızı değişimleri Şekil 3.38.c'de gösterilmiştir.



Şekil 3.37. Ocak ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri

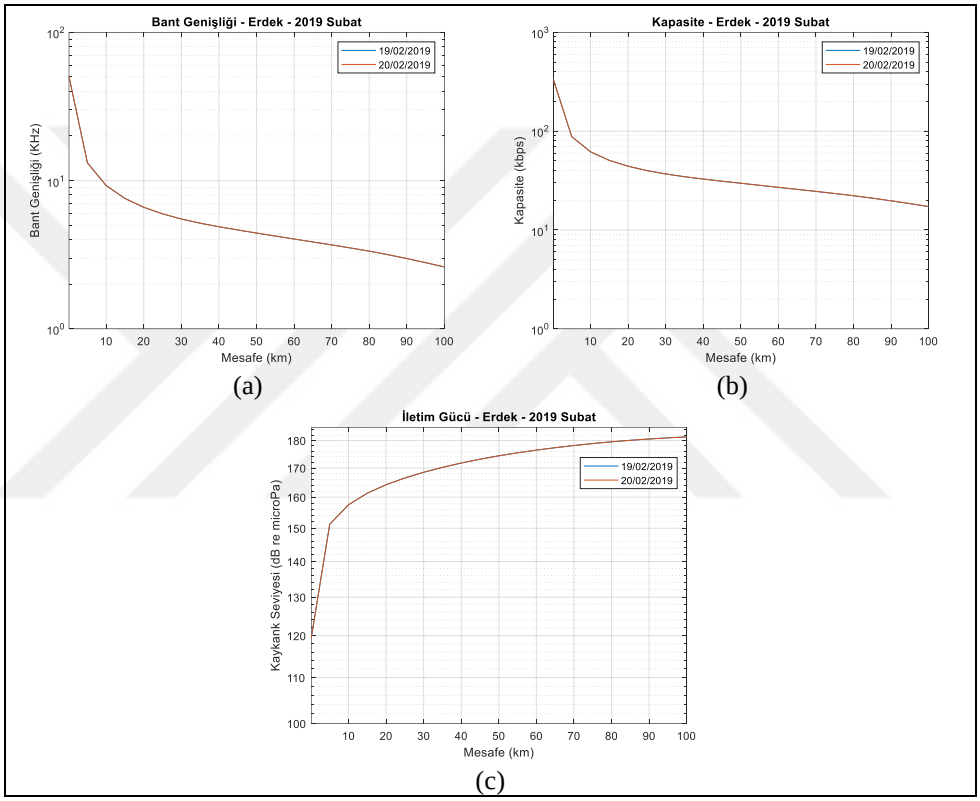


Şekil 3.38. Şubat 2019 tarihlerinde alınan ölçümlerin derinliğe bağlı gösterimi

Şekil 3.38.a'dan da görüleceği üzere alınan kayıtlarda su sıcaklığı derinliğe bağlı olarak gerçekleşen değişim seviyeleri çok düşüktür. Şekil 3.38.b'den de görüleceği

üzere derinliğe bağlı tuzluluk oranında artış meydana gelmiştir. Şekil 3.38.c'den de görüleceği üzere her iki kayıtta da ses hızı pozitif eğime sahiptir.

Şubat 2018'e ait tüm kayıtlar ve [40] nolu çalışmada tanımlanan emilim kayıp parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen bant genişliğinin mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.39.a'da, kapasitenin mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.39.b'de ve iletim gücünün mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.39.c'de gösterilmiştir.



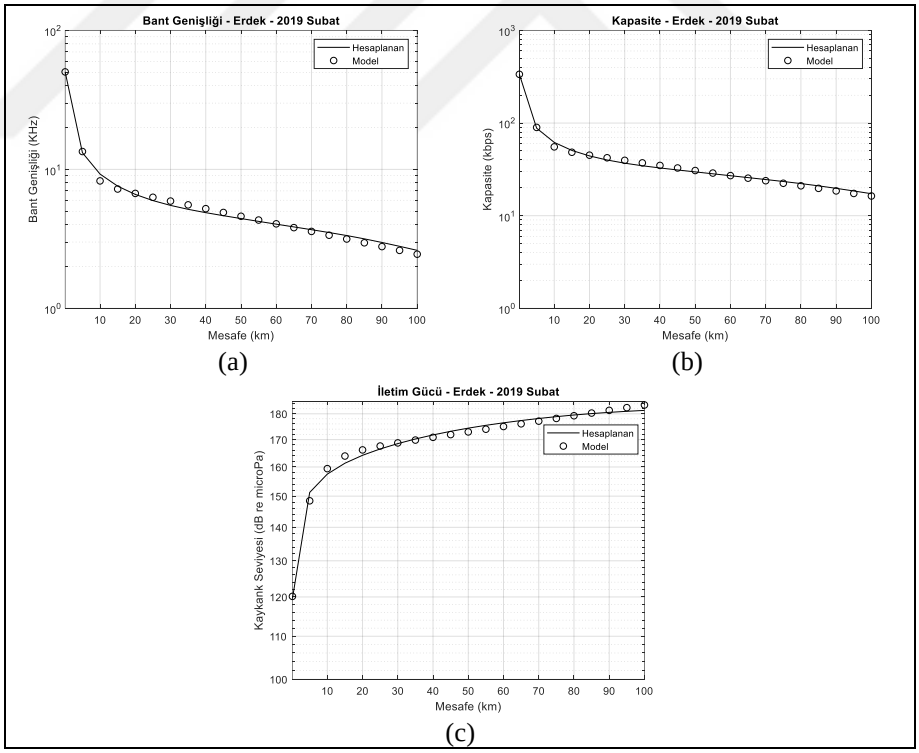
Şekil 3.39. Şubat 2019 kayıtlarına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

Şubat ayına ait tüm kayıtlar için [40] nolu çalışmada tanımlanan emilim kayıp parametreleri ile tez kapsamında önerilen emilim kayıp parametreleri kullanılarak farklı mesafeler için bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerin ortalamaları alınarak kestirimler yapılmıştır. Tablo 3.8.'de Erdek bölgesi için Şubat ayına ait bant genişliği, kapasite ve iletim gücü model parametreleri gösterilmiştir.

Tablo 3.8. Şubat 2019 için oluşturulan kanal model parametreleri

	Birim	Parametre		
		Katsayı	[40]	Önerilen
Bant Genişliği	*Hz*	$\mathbf{b_0}$	43482.3701	43382.9631
	1/Km	$\mathbf{b_1}$	-0.4193	-0.4270
	Hz	$\mathbf{b_2}$	8624.1400	8682.8703
	1/Km	$\mathbf{b_3}$	-0.0126	-0.0131
Kapasite	*bps*	$\mathbf{c_1}$	290141.8624	289423.7814
	1/Km	$\mathbf{c_2}$	-0.4205	-0.4285
	bps	**c3**	57911.3048	58360.6108
	1/Km	**c4**	-0.0127	-0.0132
Güç	*dB ref µPa*	**p1**	162.9119	163.4160
	1/Km	**p2**	0.0012	0.0012
	dB ref µPa	**p3**	-43.6808	-44.0900
	1/Km	**p4**	-0.2082	-0.2025

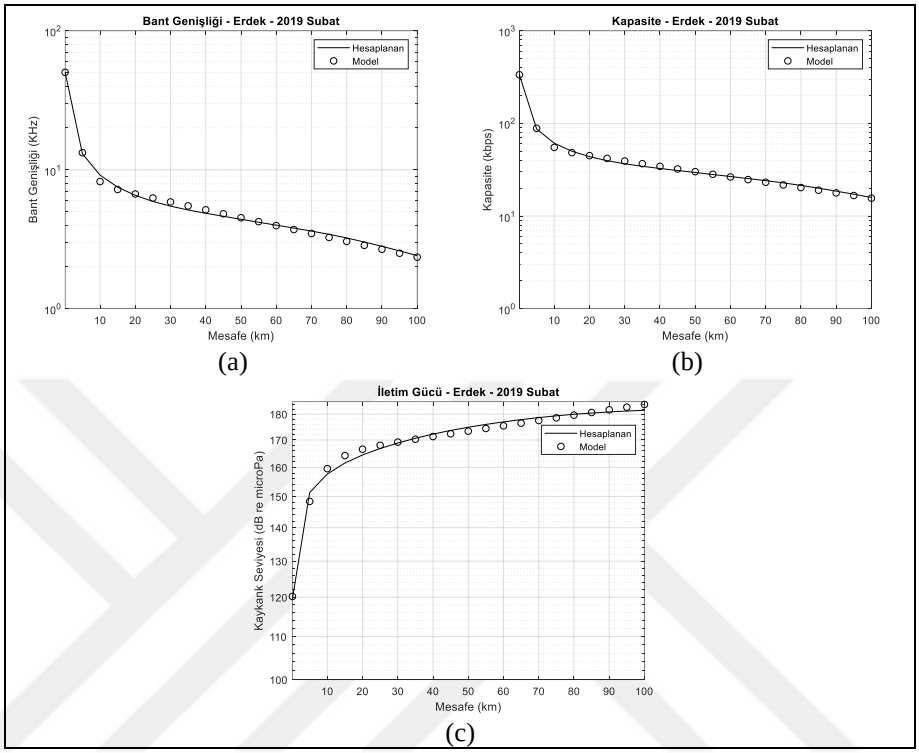
Tablo 3.8.'de verilen model parametreleri kullanılarak elde edilen mesafeye bağlı bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin karşılaştırmaları Şekil 3.40. ve Şekil 3.41.'de gösterilmiştir. Şekil 3.40.a, Şekil 3.40.b ve Şekil 3.40.c'de gösterilen bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin hesaplanmasında çalışma [40]'da önerilen emilim kaybı modeli ve parametreleri kullanılmıştır.



Şekil 3.40. Çalışma [40]'da önerilen parametreler ile Şubat ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

Şekil 3.41.a, Şekil 3.41.b ve Şekil 3.41.c'de gösterilen bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin hesaplanmasında çalışma [40]'da önerilen emilim kaybı modeli ve

tez kapsamında önerilen parametreler kullanılmıştır. Şekil 3.40. ve Şekil 3.41.'den de görüleceği üzere hesaplanan bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerleri ile model çıktıları uyumludur.

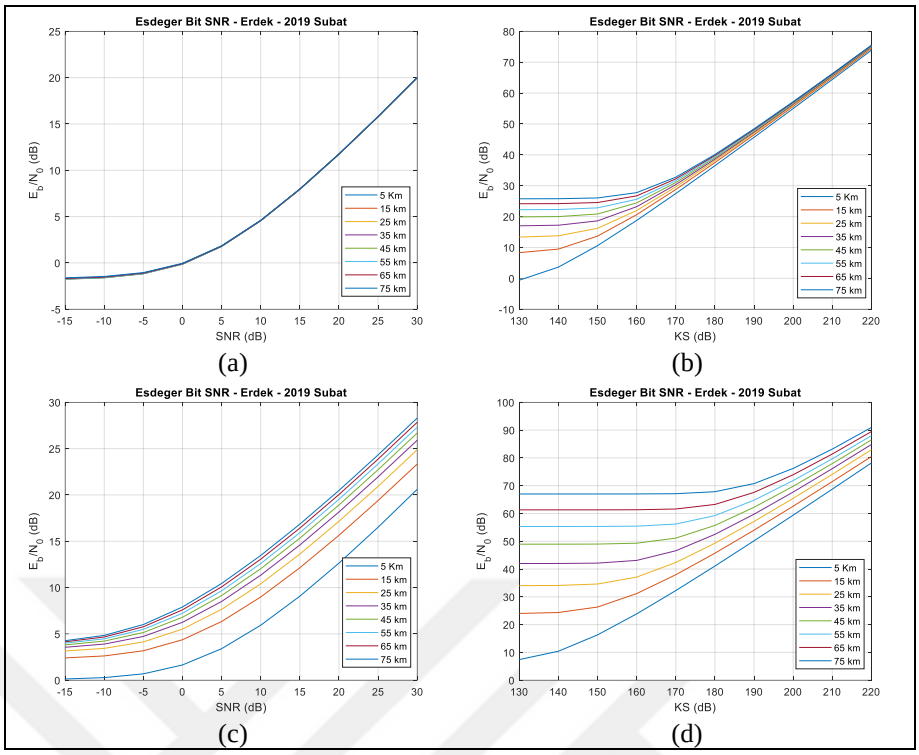


Şekil 3.41. Tez kapsamında önerilen parametreler ile Şubat ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

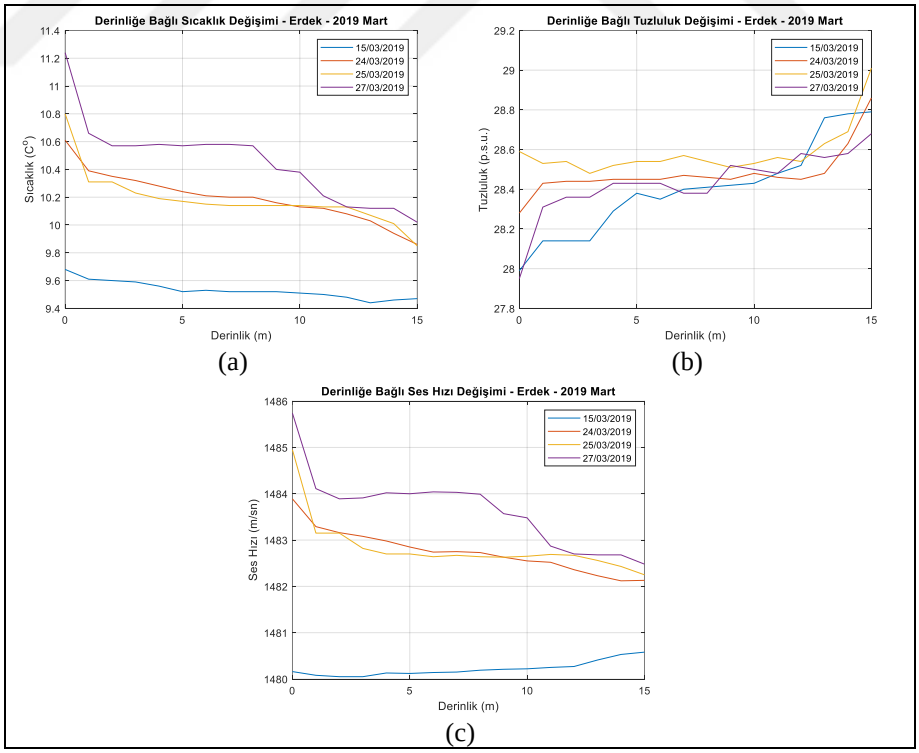
Şekil 3.42.'de Erdek bölgesi için Şubat ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir. Şekil 3.42.a'da 3dB bant genişliği için SNR'a bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri, Şekil 3.42.b'de 3dB bant genişliği için iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir. Şekil 3.42.c'de 6.5 KHz – 30 KHz bant genişliği için SNR'a bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri ve Şekil 3.42.d'de 6.5 KHz – 30 KHz bant genişliği için iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir.

3.9. Mart 2019 Verilerinin Analizleri

Mart 2018 tarihinde 4 farklı günde alınmış kayıtların derinliğe bağlı sıcaklık değişimleri Şekil 3.43.a'da, derinliğe bağlı tuzluluk değişimleri Şekil 3.43.b'de ve derinliğe bağlı sez hızı değişimleri Şekil 3.43.c'de gösterilmiştir.



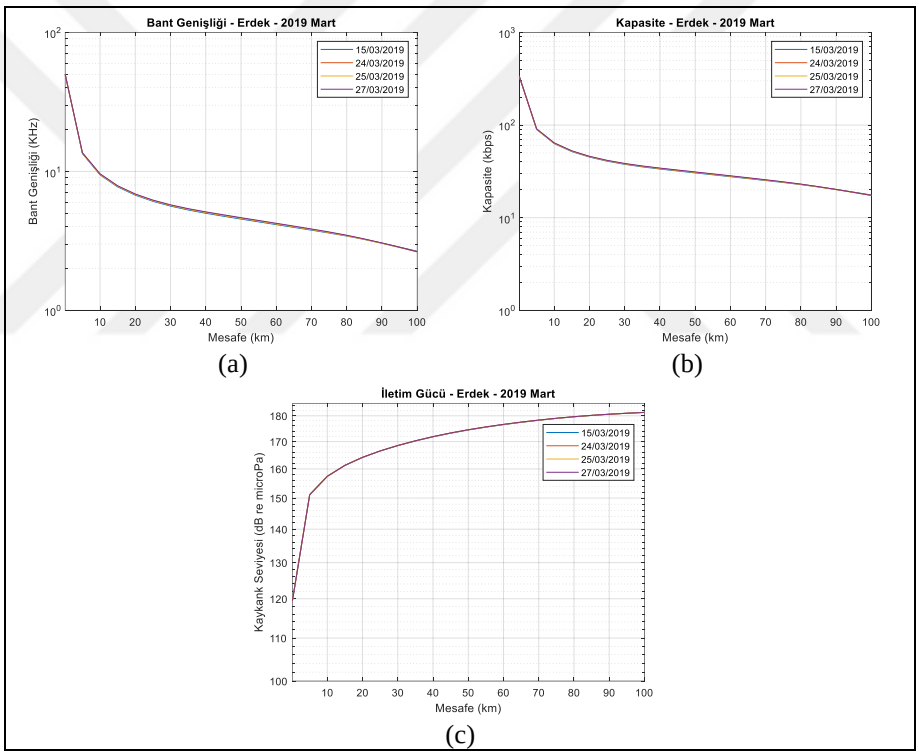
Şekil 3.42. Şubat ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri



Şekil 3.43. Mart 2019 tarihlerinde alınan ölçümlerin derinliğe bağlı gösterimi

Şekil 3.43.a'dan da görüleceği üzere alınan kayıtlarda su sıcaklığı derinliğe bağlı olarak genelde azalmıştır. Şekil 3.43.b'den de görüleceği üzere derinliğe bağlı tuzluluk oranında artış meydana gelmiştir. Şekil 3.43.c'den de görüleceği üzere 15 Mart 2019 tarihinde ses hızı eğimi sıfıra yakın iken daha sonraki tarihlerde alınan 3 kayıtta ses hızı negatif eğime sahiptir.

Mart 2018'e ait tüm kayıtlar ve [40] nolu çalışmada tanımlanan emilim kayıp parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen bant genişliğinin mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.44.a'da, kapasitenin mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.44.b'de ve iletim gücünün mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.44.c'de gösterilmiştir.



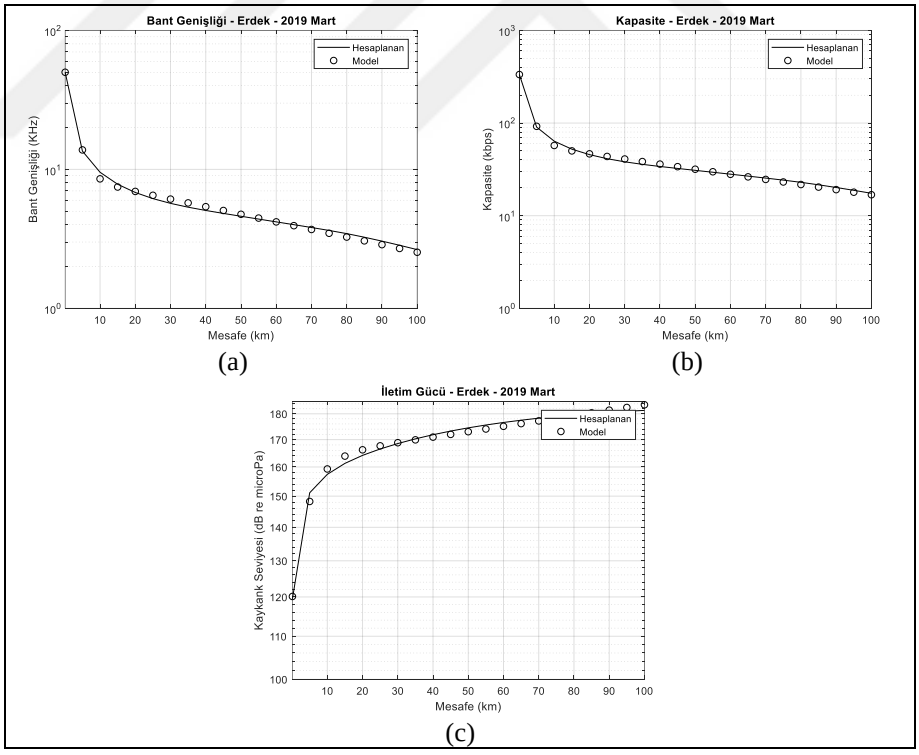
Şekil 3.44. Mart 2019 kayıtlarına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

Mart ayına ait tüm kayıtlar için [40] nolu çalışmada tanımlanan emilim kayıp parametreleri ile tez kapsamında önerilen emilim kayıp parametreleri kullanılarak farklı mesafeler için bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerin ortalamaları alınarak kestirimler yapılmıştır. Tablo 3.9.'da Erdek bölgesi için Mart ayına ait bant genişliği, kapasite ve iletim gücü model parametreleri gösterilmiştir.

Tablo 3.9. Mart 2019 için oluşturulan kanal model parametreleri

	Birim	Parametre		
		Katsayı	[40]	Önerilen
Bant Genişliği	*Hz*	$\mathbf{b_0}$	42852.6528	42336.5817
	1/Km	$\mathbf{b_1}$	-0.4129	-0.4133
	Hz	$\mathbf{b_2}$	8912.6225	9204.4525
	1/Km	$\mathbf{b_3}$	-0.0126	-0.0130
Kapasite	*bps*	$\mathbf{c_1}$	285877.8246	282345.6682
	1/Km	$\mathbf{c_2}$	-0.4142	-0.4149
	bps	**c3**	59880.8305	61910.9681
	1/Km	**c4**	-0.0127	-0.0131
Güç	*dB ref µPa*	**p1**	162.9989	163.4736
	1/Km	**p2**	0.0012	0.0012
	dB ref µPa	**p3**	-43.7778	-44.1753
	1/Km	**p4**	-0.2047	-0.1974

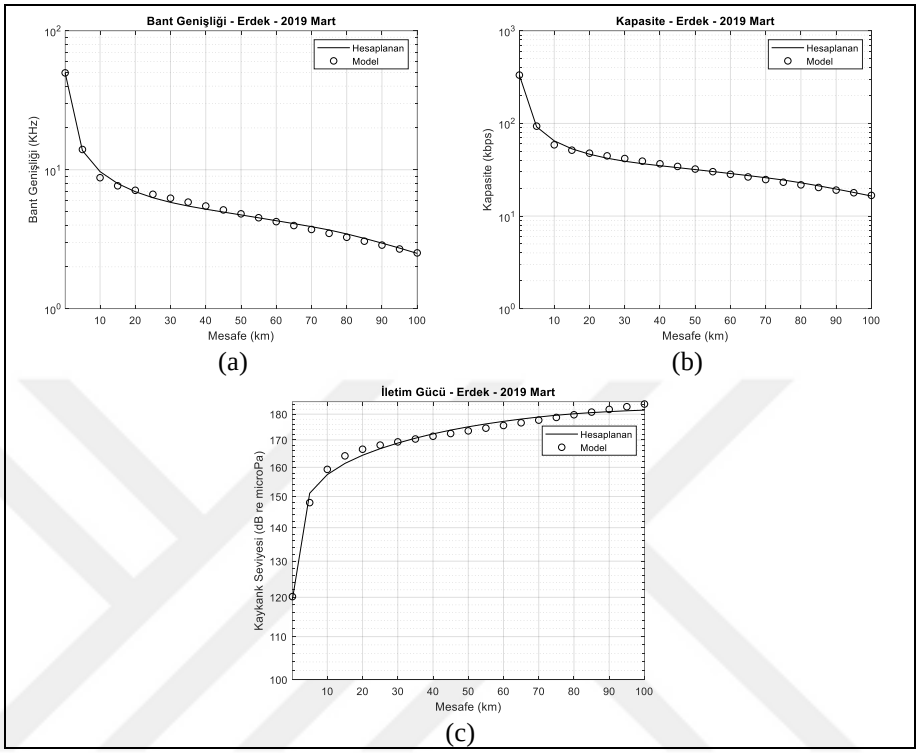
Tablo 3.9.'da verilen model parametreleri kullanılarak elde edilen mesafeye bağlı bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin karşılaştırmaları Şekil 3.45. ve Şekil 3.46.'da gösterilmiştir. Şekil 3.45.a, Şekil 3.45.b ve Şekil 3.45.c'de gösterilen bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin hesaplanmasında çalışma [40]'da önerilen emilim kaybı modeli ve parametreleri kullanılmıştır.



Şekil 3.45. Çalışma [40]'da önerilen parametreler ile Mart ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

Şekil 3.46.a, Şekil 3.46.b ve Şekil 3.46.c'de gösterilen bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin hesaplanmasında çalışma [40]'da önerilen emilim kaybı modeli ve

tez kapsamında önerilen parametreler kullanılmıştır. Şekil 3.45. ve Şekil 3.46.'dan da görüleceği üzere hesaplanan bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerleri ile model çıktıları uyumludur.



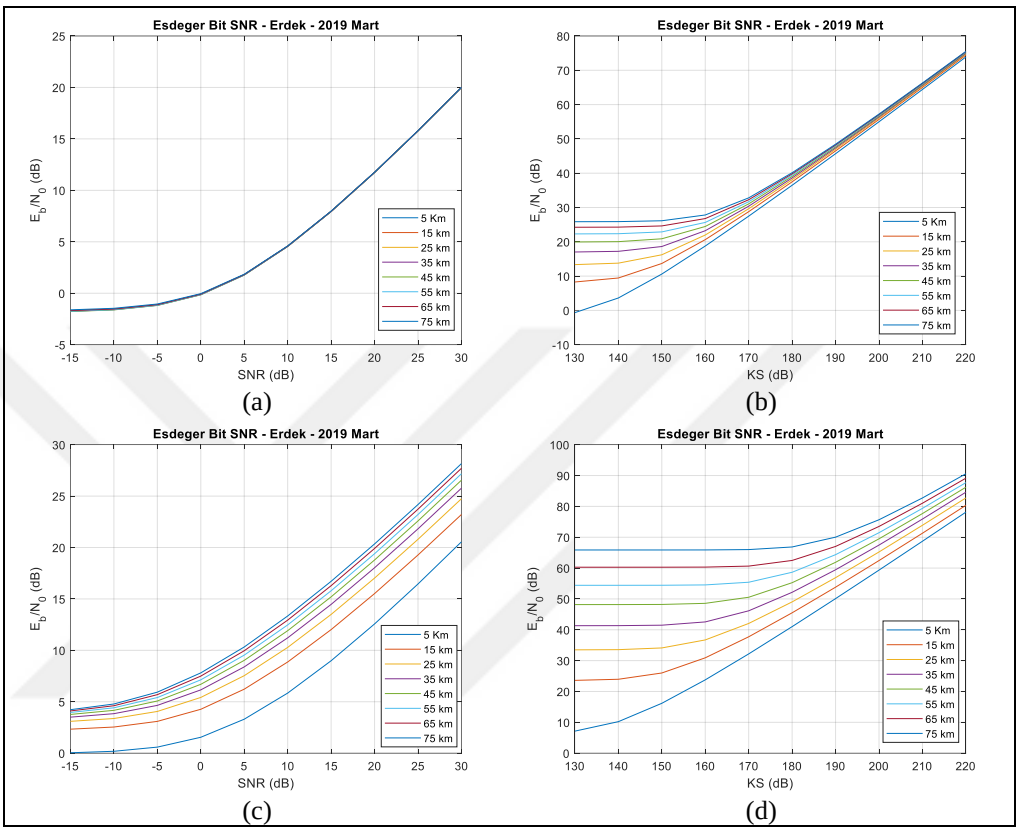
Şekil 3.46. Tez kapsamında önerilen parametreler ile Mart ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

Şekil 3.47.'de Erdek bölgesi için Mart ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir. Şekil 3.47.a'da 3dB bant genişliği için SNR'a bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri, Şekil 3.47.b'da 3dB bant genişliği için iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir. Şekil 3.47.c'de 6.5 KHz – 30 KHz bant genişliği için SNR'a bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri ve Şekil 3.47.d'de 6.5 KHz – 30 KHz bant genişliği için iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir.

3.10. Nisan 2019 Verilerinin Analizleri

Nisan 2018 tarihinde 5 farklı günde alınmış kayıtların derinliğe bağlı sıcaklık değişimleri Şekil 3.48.a'da, derinliğe bağlı tuzluluk değişimleri Şekil 3.48.b'de ve derinliğe bağlı sez hızı değişimleri Şekil 3.48.c'de gösterilmiştir. Şekil 3.48.a'dan da görüleceği üzere alınan kayıtlarda su sıcaklığı derinliğe bağlı olarak genelde azalmış fakat mevsimsel sıcaklıkların artışından dolayı Nisan ayı süresince alınan kayıtlarda

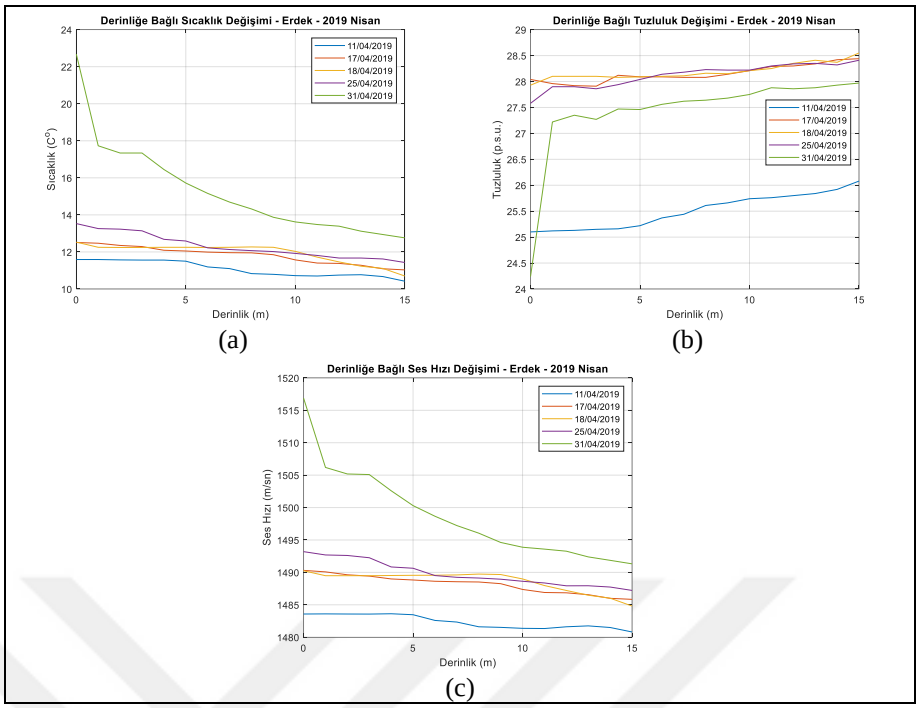
su sıcaklığında artış meydana gelmiştir. Şekil 3.48.b'den de görüleceği üzere derinliğe bağlı tuzluluk oranında artış meydana gelmiştir. Şekil 3.48.c'den de görüleceği üzere mevsimsel olarak havaların ısınması nedeni ile ses hızının negatif eğiminde artış meydana gelmiştir.



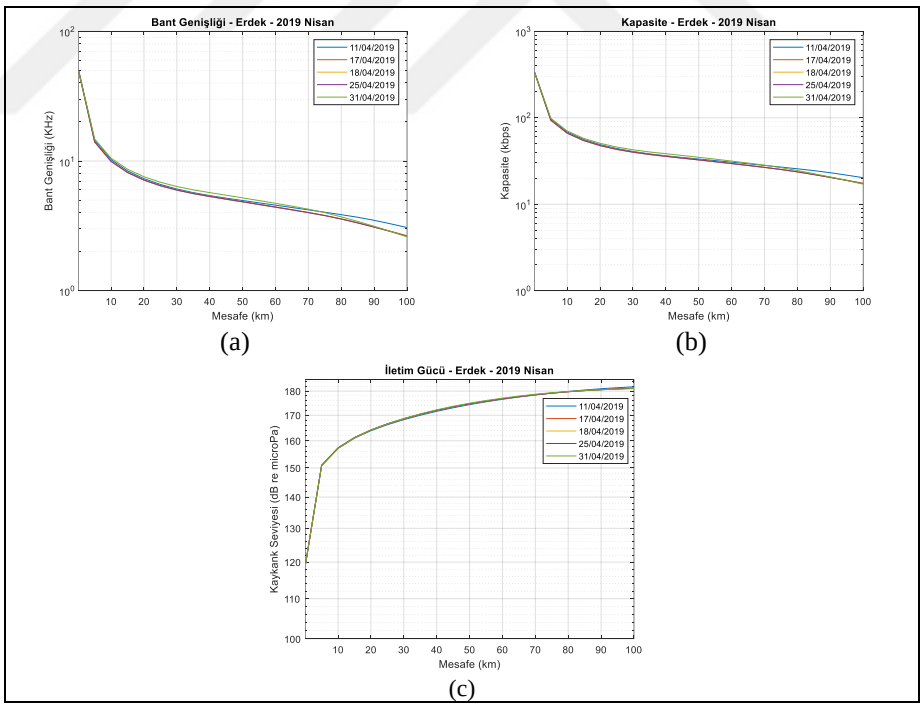
Şekil 3.47. Mart ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri

Nisan 2018'e ait tüm kayıtlar ve [40] nolu çalışmada tanımlanan emilim kayıp parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen bant genişliğinin mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.49.a'da, kapasitenin mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.49.b'de ve iletim gücünün mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.49.c'de gösterilmiştir.

Nisan ayına ait tüm kayıtlar için [40] nolu çalışmada tanımlanan emilim kayıp parametreleri ile tez kapsamında önerilen emilim kayıp parametreleri kullanılarak farklı mesafeler için bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.48. Nisan 2018 tarihlerinde alınan ölçümlerin derinliğe bağlı gösterimi



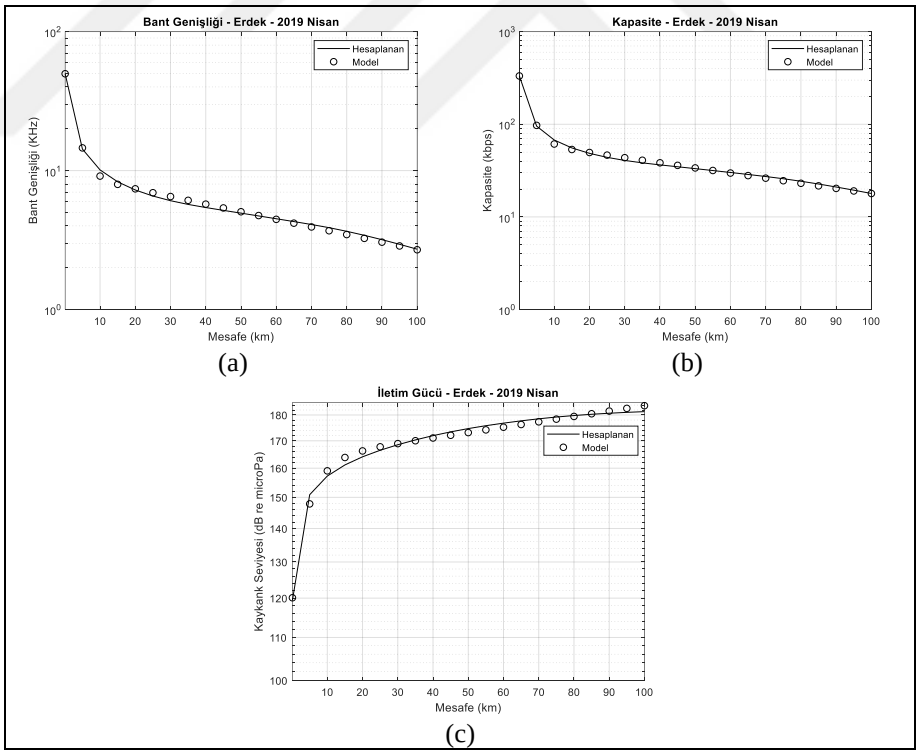
Şekil 3.49. Nisan 2019'da alınan kayıtların her güne ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

Hesaplanan bu değerlerin ortalamaları alınarak kestirimler yapılmıştır. Tablo 3.10.'da Erdek bölgesi için Nisan ayına ait bant genişliği, kapasite ve iletim gücü model parametreleri gösterilmiştir.

Tablo 3.10. Nisan 2019 için oluşturulan kanal model parametreleri

	Birim	Parametre		
		Katsayı	[40]	Önerilen
Bant Genişliği	*Hz*	$\mathbf{b_0}$	41931.7813	41145.2712
	1/Km	$\mathbf{b_1}$	-0.4007	-0.3945
	Hz	$\mathbf{b_2}$	9491.5396	10120.9689
	1/Km	$\mathbf{b_3}$	-0.012	-0.0129
Kapasite	*bps*	$\mathbf{c_1}$	279641.4779	274280.1472
	1/Km	$\mathbf{c_2}$	-0.4023	-0.3965
	bps	**c3**	63823.6907	68139.4612
	1/Km	**c4**	-0.0127	-0.0131
Güç	*dB ref µPa*	**p1**	163.1294	163.6194
	1/Km	**p2**	0.0012	0.0012
	dB ref µPa	**p3**	-43.9109	-44.3051
	1/Km	**p4**	-0.1987	-0.1890

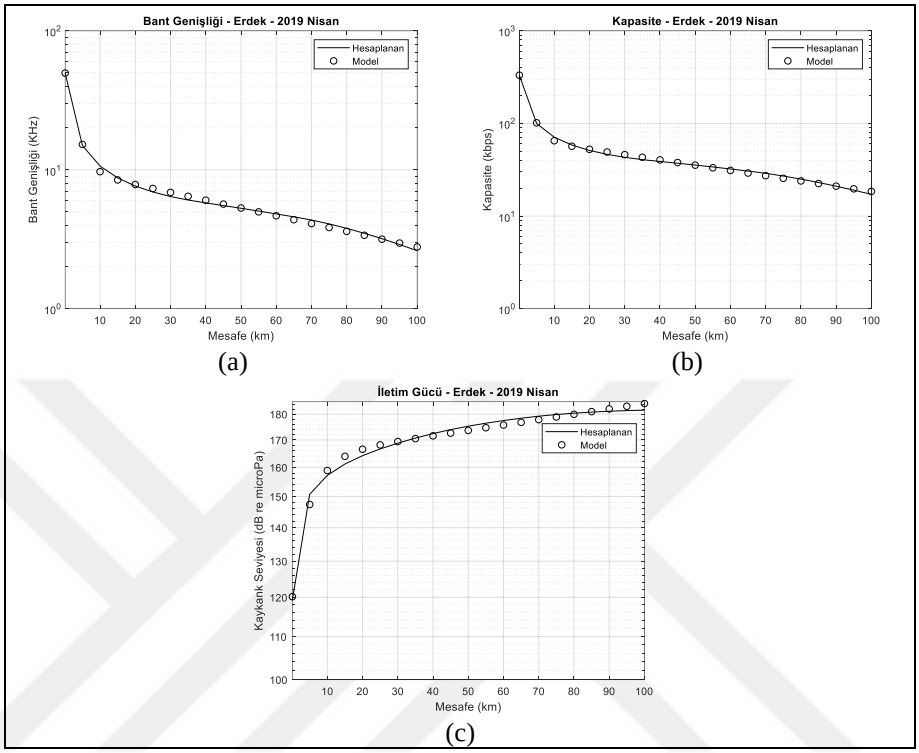
Tablo 3.10.'da verilen model parametreleri kullanılarak elde edilen mesafeye bağlı bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin karşılaştırmaları Şekil 3.50. ve Şekil 3.51.'de gösterilmiştir. Şekil 3.50.a, Şekil 3.50.b ve Şekil 3.50.c'de gösterilen bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin hesaplanmasında çalışma [40]'da önerilen emilim kaybı modeli ve parametreleri kullanılmıştır.



Şekil 3.50 Çalışma [40]'da önerilen parametreler ile Nisan ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

Şekil 3.51.a, Şekil 3.51.b ve Şekil 3.51.c'de gösterilen bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin hesaplanmasında çalışma [40]'da önerilen emilim kaybı modeli ve

tez kapsamında önerilen parametreler kullanılmıştır. Şekil 3.50. ve Şekil 3.51.'den de görüleceği üzere hesaplanan bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerleri ile model çıktıları uyumludur.

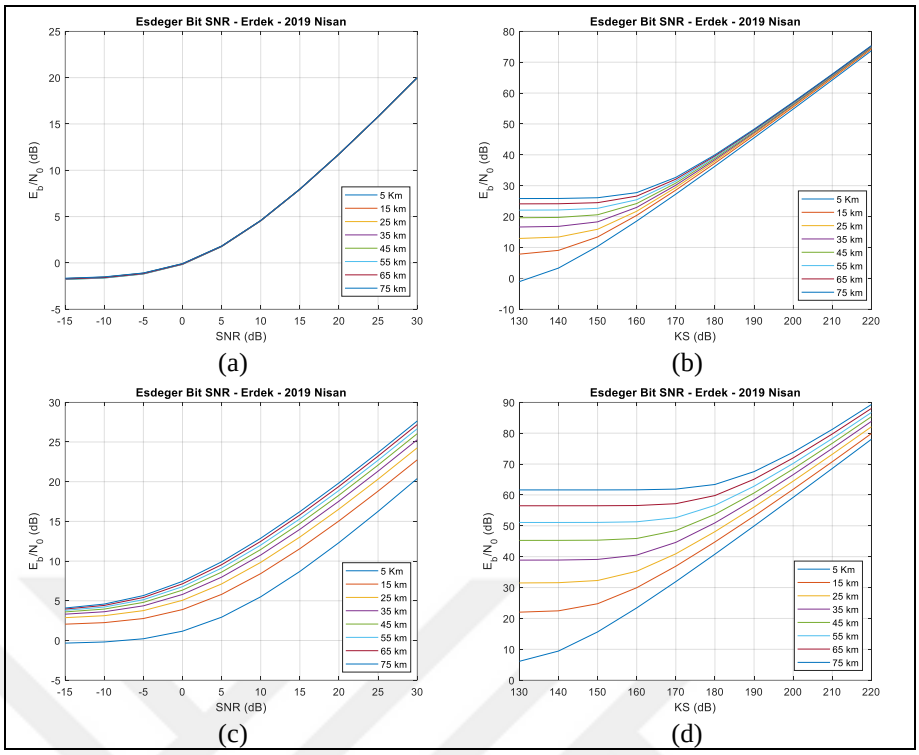


Şekil 3.51. Tez kapsamında önerilen parametreler ile Nisan ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

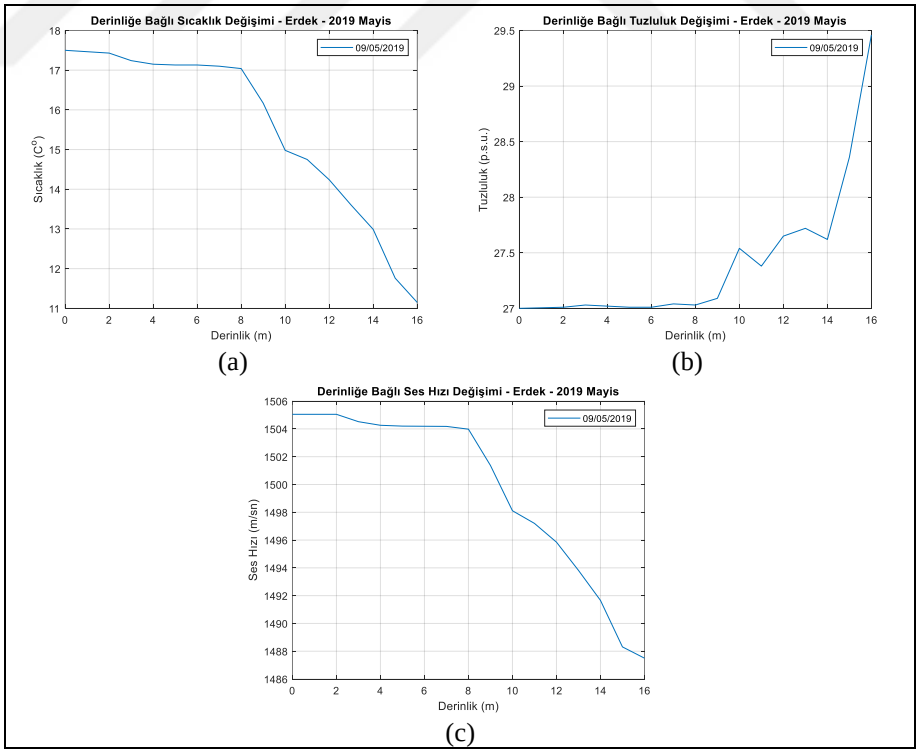
Şekil 3.52.'de Erdek bölgesi için Nisan ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir. Şekil 3.52.a'da 3dB bant genişliği için SNR'a bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri, Şekil 3.52.b'de 3dB bant genişliği için iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir. Şekil 3.52.c'de 6.5 KHz – 30 KHz bant genişliği için SNR'a bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri ve Şekil 3.52.d'de 6.5 KHz – 30 KHz bant genişliği için iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir.

3.11. Mayıs 2019 Verilerinin Analizleri

9 Mayıs 2019 tarihinde alınmış kaydın derinliğe bağlı sıcaklık değişimi Şekil 3.53.a'da, derinliğe bağlı tuzluluk değişimi Şekil 3.53.b'de ve derinliğe bağlı sez hızı değişimi Şekil 3.53.c'de gösterilmiştir.



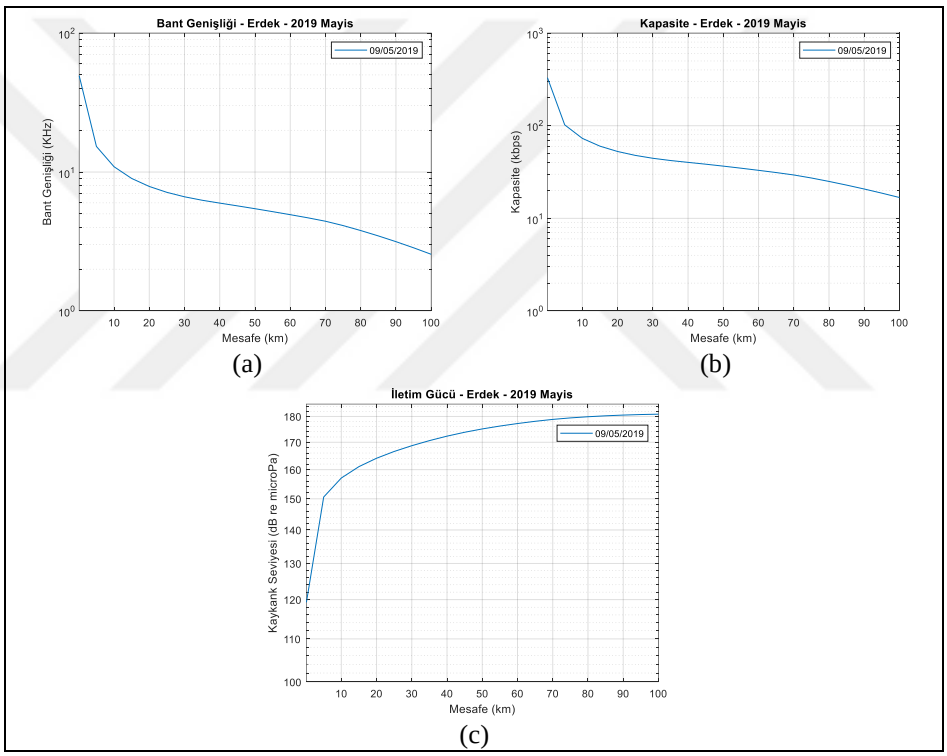
Şekil 3.52. Nisan ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri



Şekil 3.53. Mayıs 2019 tarihlerinde alınan ölçümlerin derinliğe bağlı gösterimi

Şekil 3.53.a'dan da görüleceği üzere derinlik arttıkça sıcaklıkta azalma meydana gelmiştir. Şekil 3.53.b'den de görüleceği üzere derinlik arttıkça tuzluluk oranında artış meydana gelmiştir. Şekil 3.53.c'den de görüleceği üzere ses hızı negatif eğime sahiptir.

9 Mayıs 2019 tarihinde alınmış kayıt ve [40] nolu çalışmada tanımlanan emilim kayıp parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde elde edilen bant genişliğinin mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.54.a'da, kapasitenin mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.54.b'de ve iletim gücünün mesafeye bağlı değişimleri Şekil 3.54.c'de gösterilmiştir.



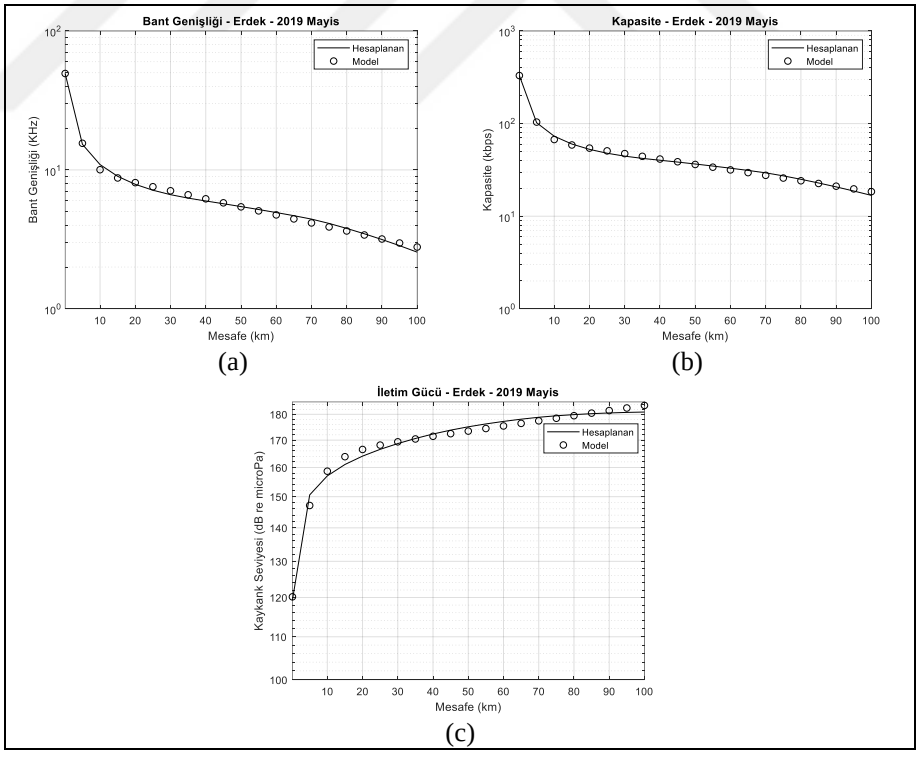
Şekil 3.54. Mayıs 2019 kayıtların her güne ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

9 Mayıs 2019 tarihli kayıt için [40] nolu çalışmada tanımlanan emilim kayıp parametreleri ile tez kapsamında önerilen emilim kayıp parametreleri kullanılarak farklı mesafeler için bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerin ortalamaları alınarak kestirimler yapılmıştır. Tablo 3.11.'de Erdek bölgesi için Mayıs ayına ait bant genişliği, kapasite ve iletim gücü model parametreleri gösterilmiştir.

Tablo 3.11. Mayıs 2019 için oluşturulan kanal model parametreleri

	Birim	Parametre		
		Katsayı	[40]	Önerilen
Bant Genişliği	*Hz*	$\mathbf{b_0}$	40441.6178	39486.0959
	1/Km	$\mathbf{b_1}$	-0.3928	-0.3889
	Hz	$\mathbf{b_2}$	10551.4776	11697.2646
	1/Km	$\mathbf{b_3}$	-0.0133	-0.0141
Kapasite	*bps*	$\mathbf{c_1}$	269497.8347	262979.5322
	1/Km	$\mathbf{c_2}$	-0.3950	-0.3917
	bps	**c3**	71088.5044	78903.7138
	1/Km	**c4**	-0.0135	-0.0143
Güç	*dB ref µPa*	**p1**	163.8644	164.8601
	1/Km	**p2**	0.0011	0.0011
	dB ref µPa	**p3**	-44.5248	-45.2502
	1/Km	**p4**	-0.1845	-0.1686

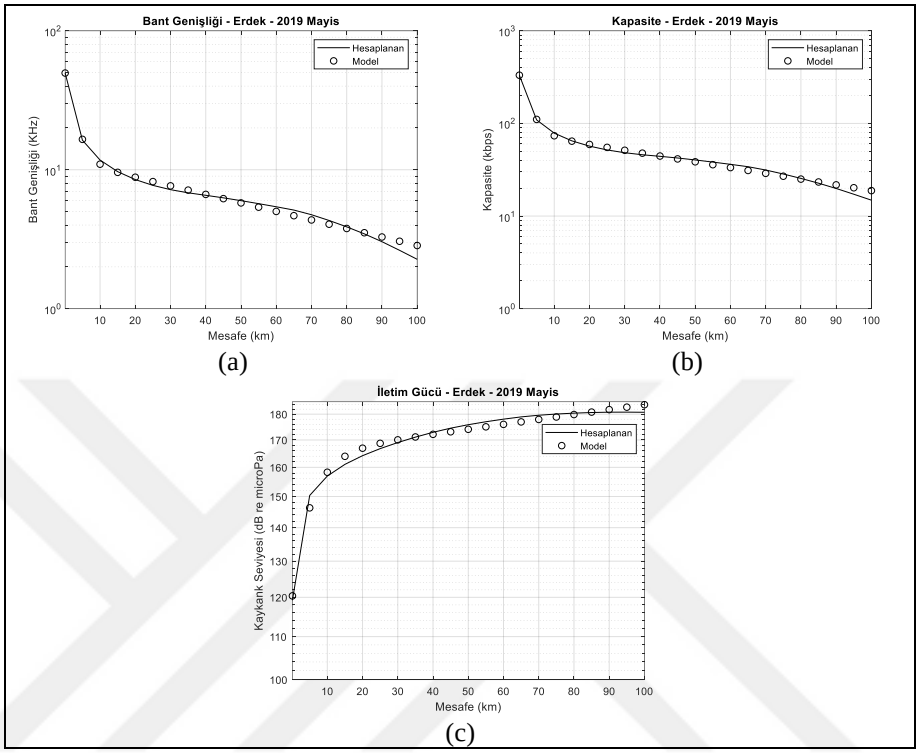
Tablo 3.11.'de verilen model parametreleri kullanılarak elde edilen mesafeye bağlı bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin karşılaştırmaları Şekil 3.55. ve Şekil 3.56.'da gösterilmiştir. Şekil 3.55.a, Şekil 3.55.b ve Şekil 3.55.c'de gösterilen bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin hesaplanmasında çalışma [40]'da önerilen emilim kaybı modeli ve parametreleri kullanılmıştır.



Şekil 3.55. Çalışma [40]'da önerilen parametreler ile Mayıs ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

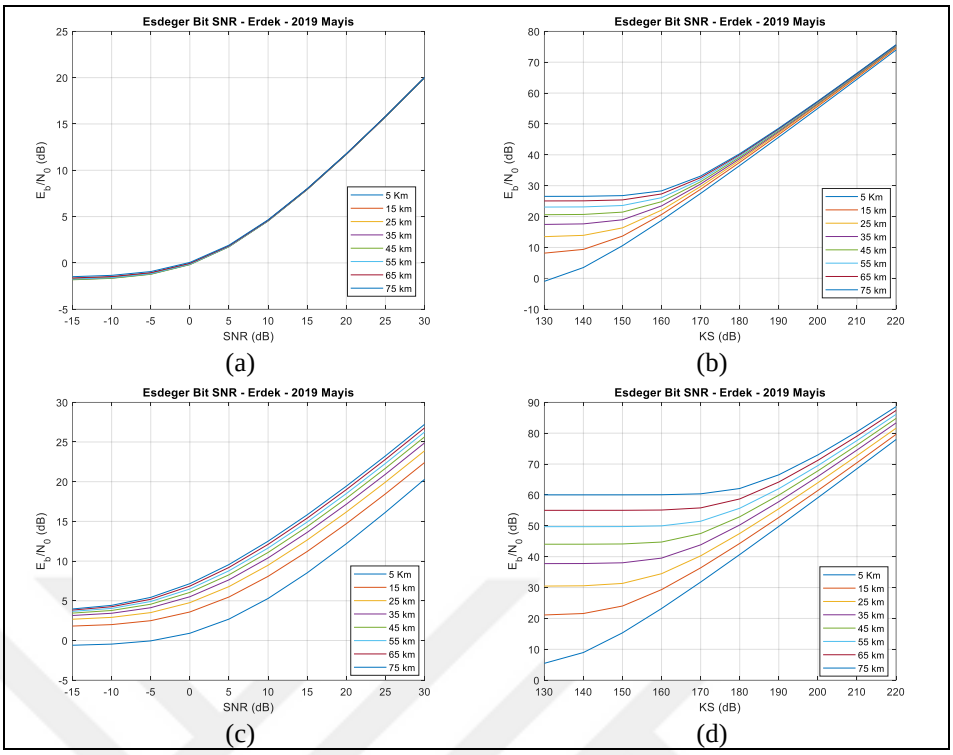
Şekil 3.56.a, Şekil 3.56.b ve Şekil 3.56.c'de gösterilen bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerinin hesaplanmasında çalışma [40]'da önerilen emilim kaybı modeli ve

tez kapsamında önerilen parametreler kullanılmıştır. Şekil 3.55. ve Şekil 3.56.'dan da görüleceği üzere hesaplanan bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerleri ile model çıktıları uyumludur.



Şekil 3.56. Tez çalışmasında önerilen parametreler ile Mayıs ayına ait mesafeye bağlı a) bant genişliği b) kapasite c) iletim gücü

Şekil 3.57.'de Erdek bölgesi için Mayıs ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir. Şekil 3.57.a'da 3dB bant genişliği için SNR'a bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri, Şekil 3.57.b'da 3dB bant genişliği için iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir. Şekil 3.57.c'de 6.5 KHz – 30 KHz bant genişliği için SNR'a bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri ve Şekil 3.57.d'de 6.5 KHz – 30 KHz bant genişliği için iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 3.57. Mayıs ayına ait SNR'a ve iletim gücüne bağlı eşdeğer bit SNR değişimleri

4. SONUÇLAR

Ses hızı sualtı ortamında değişkenlik gösteren ve haberleşme sistemlerinin tasarımlarını doğrudan etkileyen, mevsimsel değişimlerden etkilenen en önemli parametredir. Derinliğe bağlı olarak değişen sıcaklık ve tuzluk oranları sez hızı profilini ve frekansa bağlı olarak sinyalin ne kadar emilim kaybına uğrayacağını belirlemektedir.

Haberleşme sisteminde kaynak-alıcı arasındaki mesafeye bağlı olarak kaynaktan iletilen güç yayılım kaybına ve emilim kaybına uğradıktan sonra alıcıda alınır. Bu nedenle sualtı ortamında haberleşmenin gerçekleştirileceği mesafe ve iletilecek bilginin boyutu haberleşme sistemin kullanacağı bant genişliğini, gerekli kapasitesini ve kaynak gücünü doğrudan etkilemektedir.

Tez kapsamında kanal kestirimi için gerçekleştirilen analizler iki aşamadan oluşmaktadır. 1. aşamada:

a. Literatürde önerilen frekansa bağımlı emilim kaybı fonksiyonu kullanılarak farklı mesafeler için öncelikle dar bant SNR'ın frekans bağlılığı hesaplama işlemleri silindirik, pratik ve küresel yayılım modelleri için gerçekleştirilmiştir.
b. Hesaplarda 3 dB bant genişliği yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarda yayılım modelinin SNR seviyesini doğrudan etkilediği görülmüş fakat mesafeye bağlı olarak davranışı etkilemediği görülmüştür. Analizlerin devamında mesafeye bağlı olarak en iyi frekansların hesaplama işlemleri üç yayılım modeli içinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarla yayılım modelinin en iyi frekansa etkisinin olmadığı gösterilmiştir.
c. Bant genişliği, kapasite ve iletim gücü hesaplarında farklı SNR seviyelerinde 3 yayılım modeli kullanılmıştır. Bant genişliğinin SNR seviyesinden ve yayılım modelinden bağımsız olduğu ve tüm analizler için aynı değeri gösterdiği gözlemlenmiştir. Kapasite değerinin ise yayılım modelinden etkilenmediği, fakat SNR seviyesindeki değişimlerden etkilendiği, iletim gücü değeri ise yayılım modeli ve SNR seviyesindeki değişimlerden doğrudan etkilendiği görülmüştür.

d. Elde edilen analizlerin sonuçları kullanılarak tez kapsamında önerilen kanal model yaklaşımı ile bant genişliği, kapasite ve iletim gücü için farklı SNR seviyeleri ve üç yayılım modeli kullanılarak model parametreleri oluşturulmuştur. Model parametrelerinin bant genişlikleri için tüm analizlerde aynı olduğu, kapasite değerlerinin sadece SNR seviyeleri değiştiğinde farklı olduğu ve iletim gücü için ise her analizde farklı olduğu gözlemlenmiştir.
e. Çok yolluluğun bant genişliği, kapasite ve iletim gücü üzerine etkisi analiz edilmiştir. Yol sayısı arttıkça yakın mesafelerde hatalar oluştuğu, yüzeyden ve dipten yansıma kayıplarının seviyeleri analizleri doğrudan etkilediği görülmüştür.
f. Son olarak ise eş değer bit analizleri 3 dB bant genişliği için farklı SNR seviyeleri ve farklı kaynak seviyeleri ile analiz edilmiştir.

Çalışmada ikinci aşamada gerçekleştirilen analizlerde:

a. Koç Bilgi ve Savunma Teknolojileri'nin Temmuz 2018 - Mayıs 2019 tarihleri arasında Erdek bölgesinde gerçekleştirdikleri saha testlerinde CDT ölçüm ucu ile kayıt altına aldıkları derinliğe bağlı sıcaklık, tuzluluk ve ses hızı verileri emilim kaybı hesaplarında kullanılmıştır.
b. Hesaplamalarda pratik yayılım modeli ve 3 dB bant genişliği yöntemi kullanılmıştır. Bant genişliği, kapasite ve iletim gücü hesaplarında 20 dB SNR seviyesi seçilmiştir.
c. Sinyalin kaynaktan alıcıya ulaşıncaya kadar geçen süre içerisinde derinlik çözünürlüğü 1 metre olacak şekilde ses hızı, sıcaklık, tuzluluk ve derinlik bilgileri güncellenerek bant genişliği, kapasite ve iletim gücü hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde ortamda meydana gelen değişimlerin etkisi modele dahil edilmiştir.
d. Kanal kestirimleri her aya ait alınan ölçümler ayrı ayrı hesaplanarak gerçekleştirilmiştir. Her ölçüm için mesafeye bağlı bant genişliği, kapasite ve iletim gücü analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak aylara ait ortalama değerler çıkarılmıştır. Elde edilen model çıktılarının hesaplanan değerler ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.
e. Eş değer bit SNR analizleri farklı mesafeler ve farklı bant genişlikleri için gerçekleştirilmiştir. Analizlerde 3 dB bant genişliğinde farklı SNR seviyeleri için mesafelerde değerlerin birbirine yakın çıkma nedeni kapasitenin bant genişliğine

oranının her mesafe için yaklaşık olarak aynı olmasından kaynaklandığı görülmüştür.

f. Gerçekleştirilen analizlerde, mevsimsel olarak değişiklik arz eden sıcaklık, tuzluluk ve bunlara bağlı olarak ses hızı değişimlerinin bant genişliği, kapasite ve iletim gücü değerlerini doğrudan etkilediği gösterilmiştir.

Haberleşme sisteminin başarımı sualtında meydana gelen anlık değişimlerden (sıcaklık, tuzluluk, vb) doğrudan etkilenmektedir. Literatürde sunulan birçok çalışmada sualtı ortamında kaynak alıcı arasında oluşacak kanal kestirimlerinde özellikle emilim kaybı hesaplamaları frekansa bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde gerçekleştirilen yaklaşımlar ile sualtı ortamında meydana gelen değişimler göz ardı edilerek, kanalın her zaman aynı tepkiyi vereceği varsayımı yapılmaktadır.

Bu tez çalışmasında sualtı ortamında meydana gelen değişiklikler göz önünde bulundurularak;

- Sualtı ortamında meydana gelen değişimlerin kanalın dürtü yanıtını doğrudan etkilemesi nedeni ile kanal kapasitesini doğrudan etkileyeceği sahada alınmış ölçüm verileri (farklı zamanlarda aynı bölgede alınan derinliğe bağlı sıcaklık, tuzluluk ve ses hızı) kullanılarak gösterilmiştir.
- Sualtı ortamında meydana gelen derinliğe bağlı sıcaklık, tuzluluk ve ses hızı değişimleri tez kapsamında emilim kaybı hesaplarına dahil edilerek kanal kapasitesinin sadece mesafe ve frekansa bağlı olmadığı gösterilmiştir.
- Ses hızında meydana gelen değişimlerin farklı zaman gecikmelerine yol açacak olması ve emilim kayıplarında meydana gelen farklı seviyelerdeki kayıplardan dolayı kanal kapasitesinin doğrudan etkileneceği gösterilmiştir.
- Aynı konumda farklı zamanlarda farklı dürtü yanıtına sahip sualtı akustik kanalların, aynı zaman diliminde farklı konumlarda da farklı dürtü yanıtına sahip olacağı nedeni ile kanal kapasitelerinin de farklı olacağı gösterilmiştir.
- Sualtı ortamında zamansal ve mekânsal değişimlerin etkisi gerçekleştirilecek çalışmalarda göz önünde bulundurulması ve hesaplamalara dahil edilmesi gerekliliği vurgulanmıştır.

- Bölüm 3’te kestirimi yapılan aylara göre mesafeye bağlı bant genişliği, kapasite ve iletim gücü parametrelerinin aylara göre farklılıklar göstermesi ortamda meydana gelen değişimlerin etkisini göstermektedir.
- Emilim kaybı hesaplarında kullanılmak üzere basitleştirilmiş parametreler önerilmiştir ve bu parametrelerin literatürde önerilen yaklaşıma yakın çıktılar ürettiği gösterilmiştir.
- Kanal kestirimi için mesafeye bağımlı üstel (exponensiyel) model önerilmiştir. Analizler sonucunda önerilen modelin beklenen değerlerle uyumlu sonuçlar ürettiği gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

[1] Partan J., Kurose J., Levine B.N., A survey of practical issues in underwater networks, *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 2007, **11**(4), 23–33.

[2] Dola H., Bloma K., Colina M., Priora M., Characterizing the Underwater Acoustic Communiıcations Channel in Shallow Estuaries and Its Applicatıon to the Development of a Flexible Wideband Modulation, *4th Underwater Acoustics Conference and Exhibition*, Skiathos, Greece, 3-8 Eylül 2017.

[3] Stojanovic M., Preisig J., Underwater Acoustic Communication Channels: Propagation Models and Statistical Characterization, *IEEE Communications Magazine*, 2009, **47**(1), 84 – 89.

[4] Xinhua Z., Chaotic Characteristics Analyses of Underwater Acoustic Signals, *International Conference on Signal Processing Proceedings*, China, 12-16 Ekim 1998.

[5] Chitre M., Shahabudeen S., Stojanovic M., Underwater Acoustic Communications and Networking: Recent Advances and Future Challenges, *Marine Technology Society Journal*, 2008, **42**(1), 103-116.

[6] Xiaolin J., Zhengyu, T., Ronghui W., A novel cooperative spectrum signal detection algorithm for underwater communication system. *J Wireless Com Network*, 2019, **232**.

[7] Nasri N., Kachouri A., Andrieux L., Samet M., Design considerations for wireless underwater communication transceiver, *IEEE International Conference on Signals, Circuits and Systems*, Monastir, Tunisia, 7-9 Kasım 2008.

[8] Stojanovic M., On the Relationship Between Capacity and Distance in an Underwater Acoustic Communication Channel, *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Comminucations Review*, 2007, **11**(4), 34-43.

[9] Sehgal A., Iyad Tumar I., Schönwälder J., AquaTools: An Underwater Acoustic Networking Simulation Toolkit, *Proceedings of IEEE Oceans Conference*, Sydney, Mayıs 2010.

[10] Lucani D. E., Medard M., Stojanovic M., Underwater Acoustic Networks: Channel Models and Network Coding Based Lower Bound to Transmission Power for Multicast, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2008, **26**(9), 1708 – 1719.

[11] Haywardi T. J., Yang T. C., Underwater Acoustic Communication Channel Capacity: A Simulation Study, *American Institute of Physics Conference Series*, USA, Kasım 2004.

[12] Zhou Y., Song A., Tong F., Underwater Acoustic Channel Characteristics and Communication Performance at 85 kHz, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2017, **142**.

[13] Saraswathi K., Netravathi A., Ravishankar S., A Study on channel modeling of underwater acoustic communication, *International Journal of Research in Computer and Communication Technology*, 2014, **3**(1), 143-147,.

[14] Diamant R., Chorev L., Emulation System for Underwater Acoustic Channel, *International Undersea Defence Technology Europe Conference*, Amsterdam, Nisan, 2005.

[15] Socheleaua F., Passerieux J., Laota C., Characterisation of Time-Varying Underwater Acoustic Communication Channel with Application to Channel Capacity, *In Proceedings of the Underwater Acoustic Measurements*, Nafplion, Greece, 2009.

[16] Qarabaqi P., Stojanovic M., Statistical Characterization and Computationally Efficient Modeling of a Class of Underwater Acoustic Communication Channels, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 2013, **38**(4), 701-717.

[17] Tomasi B., Preisig J., Deane G. B., Zorzi M., A study on the wide-sense stationarity of the underwater acoustic channel for non-coherent communication systems, *17th European Wireless 2011 - Sustainable Wireless Technologies*, Vienna, Austria, 2011.

[18] Urick R. J., *Principles of Underwater Sound*, 3rd Ed. McGraw Hill Book Co., New York, 1983.

[19] Paul C. Etter, *Underwater Acoustic Modeling and Simulation*, 4th ed. CRC Press, 2013.

[20] Leroy C., Development of Simple Equations for Accurate and More Realistic Calculation of the Speed of Sound in Seawater, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1969, **46**(216).

[21] Medwin H., Speed of Sound In Water: A Simple Equation for Realistic Parameters, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1975, **58**(6), 1318-1319.

[22] Mackenzie K.V., Nine-term Equation for Sound Speed in the Oceans. The *Journal of the Acoustical Society of America*, 1981, **70**(3), 807-812.

[23] https://rbr-global.com/products/standard-loggers/rbrduo-ct (Ziyaret tarihi: 23 Ocak 2020).

[24] Ross D., *Mechanics of Underwater Noise*. Peninsula Publishing, Los Altos, CA, 1987.

[25] Waite A.D., *Sonar for Practicing Engineers*, 3rd ed.; Wiley: West Sussex, UK, 2002.

[26] Li W., *Digital Sonar Design in Underwater Acoustics: Principles and Applications*, Springer, 2012.

[27] Richard P. H., *Underwater Acoustics Analysis, Design and Performance of Sonar*, Wiley, 2010.

[28] Knudsen V. O., Alford R. S., Emiling, J. W., Survey of Underwater Sound, Report 3, Ambient Noise, *NRDC 1848*, 1944.

[29] Wenz, G. M., Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources, *Journal of the Acoustical Society of America*, 1936, **34**(12).

[30] Crouch W. W., *Ambient Sea Noise*: A Review of the Literature, *Naval Underwater Systems Center*, 1972.

[31] Urick R. J., *Ambient Noise in the Sea*, Los Altos Hills, CA: Peninsula Publishing, 1986.

[32] Coates R., *Underwater Acoustic Systems*, Wiley, New York, 1989.

[33] https://dosits.org/science/sounds-in-the-sea/what-are-common-underwater-sounds/ (Ziyaret tarihi: 21 Mayıs 2019).

[34] Readhead M. L., Is underwater thermal noise useful?, *Inter Noise*, Avusturalya, 2014.

[35] Traverso F., Vernazza G.; Trucco A., Simulation of non-White and non-Gaussian Underwater Ambient Noise, *Oceans-Yeosu*, 2012.

[36] Özen S., Öner M., Çavuşlu M. A., İlgüy A. C., Tatar Ö., Başaran Y. H., Deniz Taşıtlarından Yayılan Sualtı Akustik Tonların Benzetimi ve Kestirimi, *IEEE 21th Signal Processing and Communications Applications*, Kıbrıs, 2013.

[37] Özen S., Çavuşlu M. A., Başaran Y. H, Öner M., Tatar Ö, Deniz Platformlarının ve Sualtı Ortamının Akustik Sinyallerin Benzetimi, *IEEE 20th Signal Processing and Communications Applications*, Fethiye, Türkiye, 2012.

[38] http://resource.npl.co.uk/acoustics/techguides/seaabsorption/ (Ziyaret tarihi: 28 Kasım 2018).

[39] Lurton X., *An Introduction to Underwater Acoustics : Principles and Applications*, 2nd ed. Springer, 2010.

[40] Francois, R. E., Garrison, G. R., Sound absorption based on ocean measurements. PartI: Pure water and magnesium sulphate contributions, *Journal of the Acoustical Society of America*, 1982, **72**(3), 896–907.

[41] Thorp W.H., Analytic Description of the Low-Frequency Attenuation Coefficient, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1967, **42**(270).

[42] Xiaohong S., Haiyan W., Yuzhi Z., Zhao Ruiqin Z., Adaptive Technique for Underwater Acoustic Communication, *InTech*, 2012.

[43] https://en.wikipedia.org/wiki/Bandwidth_(signal_processing) (Ziyaret tarihi: 20 Mart 2020).

[44] Joshy S., Babu A.V., Capacity of Underwater Wireless Communication Channel with Different Acoustic Propagation Loss Models, *International Journal of Computer Networks & Communications*, 2010, **2**(5).

EKLER

Ek-A

TASNİF DIŞI

Koç Bilgi ve Savunma Teknolojileri AŞ

Koç Bilgi ve
Savunma Teknolojileri A.Ş

Ünalan Mah. Çağlı Sok.
34700 Üsküdar, İstanbul
Santral : +90 (216) 556 11 00
Faks : +90 (216) 556 11 88

ODTÜ Teknokent Yazılım
Teknoparkı Üniversiteler Mh.
İhsan Doğramacı Blv. No: 17/B
06800 ODTÜ , Ankara
Santral : +90 (312) 218 89 00
Faks : +90 (312) 218 89 90
www.kocsavunma.com.tr

SAYI : KBS-KOUFBE-125-TD-MAÇ
KONU : Ölçüm Verilerinin Kullanılması

29/07/2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Firmamız çalışanlarından 156112009 numaralı doktora öğrenciniz Mehmet Ali Çavuşlu'nun doktora tezinde, firmamızda mevcut olan 2018 ve 2019 yıllarında alınmış sualtı ortamına ait sıcaklık, derinlik, tuzluluk ve ses hızı ölçümlerinin kullanılması tarafımızca uygundur.

Saygılarımızla,

Mehmet Hakan ÖKTEM
Teknoloji ve Mühendislik Grup Yöneticisi

1/1

TASNİF DIŞI

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

Çavuşlu M. A., Şahin S., FPGA Implementation of ANN Training using Levenberg and Marquardt Algorithm, *Neural Network World*, 2018, **28**(2), 161-178.

Şahin S., **Çavuşlu M. A.**, FPGA Implementation of Wavelet Neural Network Training with PSO/iPSO, *Journal of Circuits, Systems and Computers*, 2018, 27(6).

Karakuzu C., Karakaya F., **Çavuşlu M. A.**, FPGA Implementation of Neuro-fuzzy System with Improved PSO Learning, *Neural Networks*, 2016, **79**, 128–140.

Aydın M., Karakuzu C., Uçar M., Cengiz A., **Çavuşlu M. A.**, Prediction of surface roughness and cutting zone temperature in turning processes of AISI 304 stainless steel using ANFIS with PSO learning, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2013, **67**, 957-967.

Çavuşlu M. A., Karakuzu C., Karakaya F., Neural identification of dynamic systems on FPGA with improved PSO learning, *Applied Soft Computing*, 2012, **12**(9), 2707–2718.

Çavuşlu M. A., Karakuzu C., Şahin S., Mehmet Yakut, Neural Network Training Based on FPGA with Floating Point Number Format and It's Performance, *Neural Computing and Application*, 2011, 20(2), 195-202.

Çavuşlu M. A., Kösten M. M., *VHDL ile Sayısal Tasarım ve FPGA Uygulamaları*, KODLAB, 2015.

Çavuşlu M. A., Altuncu M. A., Özcan H., Kaya Gülağız F., Suhap Şahin, Sualtı Haberleşmede Çok Yolluluğun Bant Genişliği, Kapasite ve İletim Gücü Üzerindeki Etkisi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2020, 7(1), 404 – 420.

Çavuşlu M. A., Becerikli Y., Karakuzu C., Levenberg - Marquardt Algoritması ile YSA Eğitiminin Donanımsal Gerçeklenmesi, *TBV Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 2012, **5**, 31-38.

Çavuşlu M. A., Karakuzu C., Nöral ve Bulanık Sistem Hücre Aktivasyon Yaklaşımları ve FPGA'da Donanımsal Gerçeklenmesi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2011, **15**(1), 8-16.

Çavuşlu M. A., Karakuzu C., Şahin S., Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması ile Yapay Sinir Ağı Eğitiminin FPGA Üzerinde Donanımsal Gerçeklenmesi, *Politeknik Dergisi*, 2010, 13(2), 83-92.

Özen S., **Çavuşlu M. A.**, Öner M., Tatar Ö., Başaran Y. H., Constant False Alarm Rate Based Detectors for Underwater Acoustic Signal Detection, *International Conference on Science for Defense and Security*, Çeşme, Türkiye, 2012.

Çavuşlu M. A., Karakuzu C., Evrimsel öğrenmesi ile birlikte dalgacık bulanık çıkarım sisteminin donanımsal gerçeklenmesi, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11) Proceedings,* Elazığ, Türkiye, 2011.

Avcı G., Kösten M. M., Karakaya F., Altun H., **Çavuşlu M. A.**, Implementation of an Hybrid Approach on FPGA for License Plate Detection Using Genetic Algorithm and Neural Networks, *International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications*, Trabzon, 2009.

Çavuşlu M. A., Karakuzu C., Şahin S., Neural Network Hardware Implementation Using FPGA, *3rd International Symposium on Electrical, Electronic and Computer Engineering Symposium Proceedings*, Nicosia, TRNC, 2006.

Az I., Şahin S., Karakuzu C., **Çavuşlu M. A.**, Implementatıon of FFT and IFFT Algorithms in FPGA, *3rd International Symposium on Electrical, Electronic and Computer Engineering Symposium Proceed*ings, Nicosia, TRNC, 2006.

Altıncu M. A., Kösten M. M., **Çavuşlu M. A.**, Şahin S., Temel Görüntü İşleme Uygulamalarının Düşük Maliyetli IP Çekirdek olarak FPGA Tabanlı Gerçeklenmesi, *IEEE 26th Signal Processing and Communications Applications,* Çeşme, Türkiye, 2018.

Altuncu M. A, Türkoğlu B., **Çavuşlu M. A.**, Şahin S., K-means Algoritmasının FPGA Üzerinde Gerçeklenmesi, *IEEE 26th Signal Processing and Communications Applications*, Çeşme, Türkiye, 2018.

Dağ B., Efe G., Tuğaç S., **Çavuşlu M. A.**, Sualtı Akustik Modelleme için Genel Araç (GT-Aqua) ve Performans Analizi, *IEEE 26th Signal Processing and Communications Applications,* Çeşme, Türkiye, 2018.

Gültekin O. K., **Çavuşlu M. A.**, Erdöl H., Uzaktan Mesafe Algılayıcılar Kullanarak Hareketli Nesnelerin FPGA Tabanlı Kontrolü, *IEEE 25th Signal Processing and Communications Applications,* Antalya, Türkiye, 2017.

Çavuşlu M. A., Karakaya F., Balkoca A., Kenar Bağımlı Ara Değerleme Yöntemi Kullanarak De-Interlacer İşleminin FPGA Tabanlı Gerçeklenmesi, *IEEE 24th Signal Processing and Communications Applications*, Zonguldak, Türkiye, 2016.

Çavuşlu M. A., Tuğaç S., Öner M., Ateş A., Yağmur H., Doğan D., Tımış T. T., Başaran Y. H., "GATAS : Gömülü Akustik Tespit ve Sınıflandırma Sistemi, *IEEE 24th Signal Processing and Communications Applications*, Zonguldak, Türkiye, 2016.

Çavuşlu M. A., Öner M., Helvacılar E., Başaran Y. H., Sualtı Akustik Sinyallerden LOFAR Analizi ile Deniz Taşıtlarına Ait Öznitelik Çıkarımının Donanımsal Gerçeklenmesi, *IEEE 23th Signal Processing and Communications Applications,* Malatya, Türkiye,2015.

İlgüy A. C., Öner M., **Çavuşlu M. A.**, Tatar Ö., Helvacılar E., Başaran Y. H., Sualtı Akustik Sinyallerden Deniz Taşıtlarının Sınıflandırılması, *SAVTEK,* Ankara, Türkiye, 2014.

Özen S., **Çavuşlu M. A.**, Öner M., İlgüy A. C., Tatar Ö., Başaran Y. H., Sualtı Akustik Tonların Kestiriminde Farklı Eşikleme Yöntemlerinin Kullanımı ve Analizi, *10. Ulusal Akustik Kongresi,* İstanbul, Türkiye, 2013.

Özen S., Öner M., **Çavuşlu M. A.**, İlgüy A. C., Tatar Ö., Başaran Y. H. Deniz TaşıtlarındanYayılan Sualtı Akustik Tonların Benzetimi ve Kestirimi, *IEEE 21th Signal Processing and Communications Applications,* Kıbrıs, 2013.

Şahin S., Kavak A., **Çavuşlu M. A.**, FPGA Tabanlı OFDM Modem Mimarisi üzerinde Sayı Formatlarının Karşılaştırılması, *IEEE 21th Signal Processing and Communications Applications,* Kıbrıs, 2013.

Özen S., **Çavuşlu M. A.**, Başaran Y. H., Öner M., Tatar Ö., Bakım C. E., Pasif Sonarlarda Tespit/Teşhis Yöntemlerinin İncelenmesi, *SAVTEK,* Ankara, Türkiye, 2012.

Başaran Y. H., Tuğay M. A., Özen S., **Çavuşlu M. A.**, Öner M., Tatar Ö., Pasif Sonarlarda Teşhis İşlemleri için Deniz Taşıtlarının Akustik Sinyallerinin İncelenmesi, *SAVTEK,* Ankara, Türkiye, 2012.

Öner M., Özen S., **Çavuşlu M. A.**, Tatar Ö., Başaran Y. H., Deniz İçi Basınç Ölçümlerinde Dalga Basıncı Etkisi, *SAVTEK,* Ankara, Türkiye, 2012.

Öner M., Özen S., **Çavuşlu M. A.**, Tatar Ö., Başaran Y. H., Gemi Hidrodinamik Basıncının Pratik Modellenmesi, *SAVTEK,* Ankara, Türkiye, 2012.

Özen S., **Çavuşlu M. A.**, Başaran Y. H., Öner M., Tatar Ö., Deniz Platformlarının ve Sualtı Ortamının Akustik Sinyallerin Benzetimi, *IEEE 20th Signal Processing and Communications Applications,* Fethiye, Türkiye, 2012.

Çavuşlu M. A., Karakaya F., Ayrık Dalgacık Dönüşümü ve Ters Ayrık Dalgacık Dönüşümünün FPGA Tabanlı Donanımsal Gerçeklenmesi, . *IEEE 18th Signal Processing and Communications Applications,* Diyarbakır, Türkiye, 2010.

Karakaya F., Altun H., **Çavuşlu M. A.**, Gerçek Zamanlı Nesne Tanıma Uygulamaları için HOG Algoritmasının FPGA Tabanlı Gömülü Sistem Uyarlaması, *IEEE 17th Signal Processing and Communications Applications,* Antalya, Türkiye, 2009.

Çavuşlu M. A., Karakaya F., Altun H., ÇKA Tipi Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Plaka Yeri Tespitinin FPGA'da Donanımsal Gerçeklenmesi, *ASYU,* Türkiye, 2008.

Çavuşlu M. A., Karakuzu C., Şahin S., Karakaya F., Yapay Sinir Ağı Eğitiminin IEEE 754 Kayan Noktalı Sayı Formatı ile FPGA Tabanlı Gerçeklenmesi, *Gömülü Sistemler ve Uygulamaları Sempozyumu,* İstanbul, Türkiye, 2008.

Çavuşlu M. A., Karakaya F., Altun H., Plaka Yeri Tespiti için Kenar Bulma, Bit Tabanlı Öznitelik Çıkartma ve YSA Sınıflandırıcısının FPGA Üzerine Uyarlanması, *Gömülü Sistemler ve Uygulamaları Sempozyumu,* İstanbul, Türkiye, 2008.

Az I., Şahin S., **Çavuşlu M. A.**, Hızlı Fourier Ve Ters Hızlı Fourier Dönüşümlerinin FPGA'da Donanımsal Olarak Gerçeklenmesi, *IEEE 15th Signal Processing and Communications Applications,* Eskişehir, Türkiye, 2007.

Çavuşlu M. A., Dikmeşe Ş., Şahin S., Küçük K., Kavak A., Akıllı Anten Algoritmalarının IEEE 754 Kayan Sayı Formatı ile FPGA Tabanlı Gerçeklenmesi ve Performans Analizi, *URSI-TÜRKİYE 3. Bilimsel Kongresi*, Ankara, Türkiye, 2006.

ÖZGEÇMİŞ

Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Niğde Üniversitesi Elektrik - Elektronik mühendisliği Bölümünde de yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2016 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Bilgisayar Yazılım Anabilim Dalı'nda doktora eğitimine devam etmektedir. Özel sektörde Ar-Ge Mühendisi, Proje Yürütücüsü olarak çalıştıktan sonra, Sayısal Sistemler Baş Uzmanı olarak çalışmaktadır. Uzmanlık alanları FPGA, yapay zekâ, sinyal ve görüntü işleme, sualtı akustiği ve optimizasyondur.