

**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ**

**AKDENİZ – KARADENİZ SU ALTI AKUSTİK
YAYILIM MODEL UYGULAMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kerem KÖPRÜLÜ

Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği Ana Bilim Dalı

**Danışman
Prof. Dr. Bedri ALPAR**


TEMMUZ, 2006

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ

KEREM KÖPRÜLÜ tarafından hazırlanmış ve sunulmuş "AKDENİZ-KARADENİZ SU ALTI AKUSTİK YAYILIM MODEL UYGULAMALARI" başlıklı tez DENİZ JEOFİZİĞİ Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS Tezi olarak kabul edilmiştir.


Tez Danışmanı

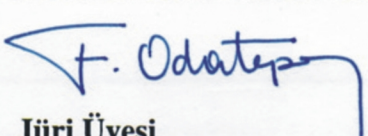
Prof. Dr. Bedri ALPAR


Jüri Üyesi

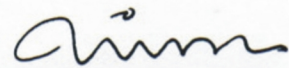
Prof. Dr. Kurultay ÖZTÜRK


Jüri Üyesi

Prof. Dr. Yıldız ALTINOK


Jüri Üyesi

Doç. Dr. Fatih M. ADATEPE


Jüri Üyesi

Yard. Doç. Dr. Hüsne ALTIOK

Tez Savunma Tarihi: 1.08.2006

ÖNSÖZ

Türkiye Denizlerinde, farklı oşinografik özelliklere sahip iki pilot bölge seçilerek, bu bölgelerin transmisyon kayıpları farklı teorilere dayanan üç değişik su altı akustik yayılım modeli yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler NATO Su Altı Araştırma Merkezi (Undersea Research Center) ile Dz. K.K., Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi'nin ortak olarak düzenlediği projelerde ölçülen değerlerle karşılaştırılarak, bahse konu iki farklı bölge için hangi modelin daha doğru sonuçlar verdiği araştırılmıştır.

Öncelikle bölgeleri temsil eden modeller saptanmış, daha sonra yaz ölçüm değerleri bulunan İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışı için, kış mevsimine ait transmisyon kayıpları da hesaplanarak mevsimsel bir karşılaştırma yapılmıştır. Antalya Körfezi açıklarında bulunan diğer bölge için ise, arazi ölçümü yapılmış hat için saptanan model ayrıca arazi ölçümü yapılmış hatta dik olan bir hat üzerinde de uygulanarak olası transmisyon kayıpları derinlik ve uzaklığa bağlı olarak modellenmiştir. Böylece seçilen iki pilot bölge için en iyi sonuçları veren akustik yayılım modelleri kullanılarak bazı karşılaştırmalar ve benzetimler yapılmıştır.

Tez çalışmam sırasında danışmanlığımı sürdüren Prof. Dr. Bedri Alpar'a teşekkür ederim. Ayrıca Dr. Tuncay Akal'a tez çalışması için gerekli olan verileri sağladığı ve fikirleriyle katkıda bulunduğu için, Doç. Dr. Fatih Adatepe'ye de tezim sırasındaki yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER	Sayfa
ÖNSÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
EK LİSTESİ	xi
I. GİRİŞ.....	1
II. SU ALTI AKUSTİĞİ ve TEMEL PRENSİPLERİ.....	3
2.1. Su Altı Akustiği ve Tarihi.....	3
2.2. Sesin Özellikleri ve Bazı Tanımlar.....	4
2.2.1. Ses basıncı.....	5
2.2.2. Dalga şiddeti.....	6
2.2.3. Desibel olarak ses şiddeti.....	7
2.3. Ses Hızını Etikleyen Parametreler.....	8
2.3.1. Sıcaklık.....	8
2.3.2. Tuzluluk.....	10
2.3.3. Basınç.....	11
2.3.4. Yoğunluk.....	11
2.4. Transmisyon (İletim) Kayıpları.....	11
2.5. Su Altı Akustiğinde Kullanılan Kaynaklar ve Alıcılar.....	14
2.6. Okyanusta Ses Yayılımı.....	14
2.7. Akustik Yayılım Modelleri.....	16
2.7.1. Işın teorisi modelleri.....	17
2.7.2. Normal mod modelleri.....	17
2.7.3. Parabolik eşitlik modelleri.....	18
2.7.4. Akustik yayılım modellerinin karşılaştırılması.....	19
III. MATERYAL ve METOT.....	20
3.1. Verilerin Elde Edilmesi.....	20
3.2. Akustik ve Ortam Verilerinin Ölçülmesi.....	22
3.3. İletim Kaybı Hesaplamaları.....	24
3.4. Çalışma Sırasında Kullanılacak Modellerin Anlaşılması.....	25
3.4.1. Bellhop modeli.....	26
3.4.2. Kraken modeli.....	28
3.4.3. RAM modeli	29
3.5 Modeller İçin Gerekli Olan Verilerin Hazırlanması.....	30
IV. BULGULAR.....	31
4.1 Akdeniz Uygulaması.....	31
4.2 Karadeniz Uygulaması.....	41
V. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	67
KAYNAKLAR.....	73
EKLER.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	83

ÖZET

AKDENİZ – KARADENİZ SU ALTI AKUSTİK YAYILIM MODEL UYGULAMALARI

KEREM KÖPRÜLÜ

Bu çalışmanın temel amacı; Güneybatı Karadeniz İstanbul Boğazı çıkışı ve Doğu Akdeniz'in (Antalya Körfezi açıkları) su altı akustik yayılım özelliklerini özetlemektir. Öncelikle seçilen pilot bölgeler için hangi akustik yayılım modelini kullanarak daha iyi sonuçlara ulaşıldığı belirlenmiştir.

Bu amaçla bu tezde, NATO Undersea Research Center (NURC)'un Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi (SHOD) ile birlikte düzenlediği ortak projede ölçülen iletim (transmisyon) kaybı ve oşinografik ölçüm verileri kullanılmıştır. Modelleme ve karşılaştırmalar MatLab teknik hesaplama programında çalışan farklı su altı akustik yayılım programları kullanılarak yapılmıştır. Her bölge için en uygun akustik model seçildikten sonra bazı akustik yayılım benzetimleri yapılmıştır. Böylece Karadeniz'deki çalışma bölgesinde mevsimsel ses kaybı karşılaştırmaları yapılmıştır. Akdeniz için ise farklı bir hat seçilerek burada da transmisyon kayıpları hesaplanmış ve farklı frekanslar için benzetimler yapılmıştır.

Ses yayılımı matematiksel olarak dalga denklemi ile tanımlanmıştır. Bu denklemin parametreleri ve sınırları çevresel deniz şartlarından etkilenmektedir. Bu nedenle bir modelin çalışma yapılan bölge için uygunluğu doğru çevresel ve akustik parametrelerin kullanılmasıyla sağlanır. Çalışma sonucunda doğru parametreler kullanılarak proje sırasında ölçülen değerlere uygun sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür.

ABSTRACT

ACOUSTIC PROPAGATION MODEL APPLICATIONS IN THE MEDITERRANEAN and BLACK SEA REGIONS

KEREM KÖPRÜLÜ

The aim of this thesis is to summarize environmental underwater acoustic characteristics of Southwest Black Sea and Eastern Mediterranean Sea (offshore Gulf of Antalya) using the most recent simulation models. Before any applications, the best available acoustic models should be selected for each pilot area.

In this thesis, transmission loss and oceanographic data from the joint project conducted by NATO Undersea Research Center (NURC) in collaboration with the Turkish Navy Department of Navigation, Hydrograph and Oceanography were used. A parametric study using different “Underwater Acoustic Propagation Models” which were developed to use under the MatLab commercial technical computation package was performed. After selecting the proper acoustic model for each area acoustic propagation simulations were performed, seasonal comparisons were also made for the study area in the Black Sea. Another profile was selected offshore Gulf of Antalya in the Mediterranean area, and transmission loss simulations were made for various frequencies.

Sound propagation in the ocean is mathematically described by the wave equation, whose parameters and boundary conditions describe the ocean environment. It is evident that any specific model has its range of applicability within the domain of acoustic and environmental parameters as well as regarding computer facilities and time. At the end of the study convenient results were reached compared with the in situ measurements by using the right parameters.

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.	Uygulama alanlarının yer bulduru haritası.....	2
Şekil 2.	Geneva Gölü'nde 1827 yılında yapılan ilk ses hızı ölçümü.....	3
Şekil 3.	İstanbul Boğazı, Karadeniz çıkışında yaz mevsimini temsil eden termoklin tabakası ve sıcaklığa bağlı olarak ses hızı değişimi.....	10
Şekil 4.	Geometrik yayılım kanunları.....	12
Şekil 5.	Okyanustaki temel ses yayılım yolları.....	15
Şekil 6.	Gerekli oşinografik parametrelerin ölçümlerini yapan XBT, CTD ve XCTD cihazlarının, çalışma sırasında kullanılan diğer aletlerle birlikte gösterildiği çizim.....	21
Şekil 7.	Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi tarafından kullanılan Rosette örnekleycisi ve CTD cihazı.....	22
Şekil 8.	Çalışma sırasında kullanılan metot.....	23
Şekil 9.	Alıcıya ulaşan ses sinyalleri içindeki ortam gürültüleri.....	24
Şekil 10.	Bellhop modelinde farklı yayılım parametreleri kullanılarak yapılan benzetimler.....	27
Şekil 11.	Bellhop modeli ile su sıcaklığının orta katmanda üst ve alta göre daha soğuk olduğu bir ortam için transmisyon kaybı ve ışın yollarını gösteren grafik.....	27
Şekil 12.	Derin su ortamında Kraken modeliyle yapılan bir benzetim örneği.....	28
Şekil 13.	RAM modeli ile hesaplanan transmisyon kayıplarının derinlik ve mesafeye bağlı olarak gösterimi.....	30
Şekil 14.	Akdeniz için seçilen pilot bölge ve uygulamaların yapıldığı A-C ve A-D hatları.....	31
Şekil 15.	A-C hattına ait ölçülen hız, sıcaklık ve tuzluluk değerleri.....	32
Şekil 16.	A-C hattında, 400 Hz frekansı için Kraken ve Bellhop modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.....	33
Şekil 17.	A-C hattında, 900 Hz frekansı için Kraken ve Bellhop modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.....	33

Şekil 18.	A-C hattında, 3500 Hz frekansı için Kraken ve Bellhop modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.....	34
Şekil 19.	A-C hattında 400Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop modeliyle benzetimi ve A-C hattının hız – derinlik grafiği.....	35
Şekil 20.	A-C hattında 900Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop modeliyle benzetimi ve A-C hattının hız - derinlik grafiği.....	35
Şekil 21.	A-C hattında 3500Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop modeliyle benzetimi ve A-C hattının hız - derinlik grafiği.....	35
Şekil 22.	A-C hattında 7500Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop modeliyle benzetimi ve A-C hattının hız - derinlik grafiği.....	36
Şekil 23.	Akdeniz A-C hattında Bellhop modeliyle hesaplanan ışın yolları.....	36
Şekil 24.	A-C hattında ses kaybının yüksek olduğu gölge bölge (shadow zone).....	37
Şekil 25.	A-D hattına ait ölçülen hız, sıcaklık ve tuzluluk değerleri.....	37
Şekil 26.	A-D hattı için Bellhop modeliyle değişik frekanslarda hesaplanan transmisyon kayıplarının karşılaştırması.....	38
Şekil 27.	A-D hattında 200Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop modeliyle benzetimi ve A-D hattının hız - derinlik grafiği.....	39
Şekil 28.	A-D hattında 400Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop modeliyle benzetimi ve A-D hattının hız - derinlik grafiği.....	39
Şekil 29.	A-D hattında 800Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop modeliyle benzetimi ve A-D hattının hız - derinlik grafiği.....	39
Şekil 30.	A-D hattında 1600Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop modeliyle benzetimi ve A-D hattının hız - derinlik grafiği.....	40
Şekil 31.	Akdeniz A-D hattında Bellhop modeliyle hesaplanan ışın yolları.....	40
Şekil 32.	Karadeniz için seçilen pilot bölge ve uygulamaların yapıldığı K-A, K-H ve K-M hatları.....	41
Şekil 33.	K-A hattına ait ölçülen hız, sıcaklık ve tuzluluk değerleri.....	42
Şekil 34.	K-H hattına ait ölçülen hız, sıcaklık ve tuzluluk değerleri.....	42
Şekil 35.	K-M hattına ait ölçülen hız, sıcaklık ve tuzluluk değerleri.....	43

Şekil 36.	K-A hattında, 50 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyön kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.....	43
Şekil 37.	K-A hattında, 200 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyön kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.....	44
Şekil 38.	K-A hattında, 400 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyön kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.....	44
Şekil 39.	K-A hattında, 1000 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyön kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.....	45
Şekil 40.	K-A hattında, 1600 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyön kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.....	45
Şekil 41.	K-A hattında, 2000 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyön kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.....	46
Şekil 42.	K-H hattında, 50 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyön kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.....	46
Şekil 43.	K-H hattında, 200 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyön kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.....	47
Şekil 44.	K-H hattında, 400 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyön kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.....	47
Şekil 45.	K-H hattında, 1000 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyön kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.....	48

Şekil 46.	K-H hattında, 1600 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.....	48
Şekil 47.	K-H hattında, 2000 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.....	49
Şekil 48.	K-M hattında, 50 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.....	49
Şekil 49.	K-M hattında, 200 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.....	50
Şekil 50.	K-M hattında, 400 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.....	50
Şekil 51.	K-M hattında, 1000 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.....	51
Şekil 52.	K-M hattında, 1600 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.....	51
Şekil 53.	K-A hattında 50Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-A hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.....	52
Şekil 54.	K-A hattında 200Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-A hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.....	53
Şekil 55.	K-A hattında 400Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-A hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.....	53

Şekil 56.	K-A hattında 1000Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-A hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.....	54
Şekil 57.	K-A hattında 1600Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-A hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.....	54
Şekil 58.	K-A hattında 2000Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-A hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.....	55
Şekil 59.	K-H hattında 50Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-H hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.....	55
Şekil 60.	K-H hattında 200Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-H hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.....	56
Şekil 61.	K-H hattında 400Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-H hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.....	56
Şekil 62.	K-H hattında 1000Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-H hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.....	57
Şekil 63.	K-H hattında 1600Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-H hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.....	57
Şekil 64.	K-H hattında 2000Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-H hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.....	58
Şekil 65.	K-M hattında 50Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-M hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.....	58

Şekil 66.	K-M hattında 200Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-M hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.....	59
Şekil 67.	K-M hattında 400Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-M hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.....	59
Şekil 68.	K-M hattında 1000Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-M hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.....	60
Şekil 69.	K-M hattında 1600Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-M hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.....	60
Şekil 70.	K-H hattına ait ölçülen yaz ayı hız, sıcaklık ve tuzluluk değerleri.....	61
Şekil 71.	K-H hattına ait ölçülen kış ayı hız, sıcaklık ve tuzluluk değerleri.....	61
Şekil 72.	K-H hattında 50 Hz için RAM modeliyle hesaplanan yaz ve kış transmisyon kayıpları.....	62
Şekil 73.	K-H hattında 200 Hz için RAM modeliyle hesaplanan yaz ve kış transmisyon kayıpları.....	62
Şekil 74.	K-H hattında 400 Hz için RAM modeliyle hesaplanan yaz ve kış transmisyon kayıpları.....	63
Şekil 75.	K-H hattında 1000 Hz için RAM modeliyle hesaplanan yaz ve kış transmisyon kayıpları.....	63
Şekil 76.	K-H hattında 1600 Hz için RAM modeliyle hesaplanan yaz ve kış transmisyon kayıpları.....	64
Şekil 77.	K-H hattında 2000 Hz için RAM modeliyle hesaplanan yaz ve kış transmisyon kayıpları.....	64
Şekil 78.	K-H hattında 50, 200 ve 400Hz frekansları için RAM modeline göre transmisyon kaybı karşılaştırmaları.....	65
Şekil 79.	K-H hattında 1000, 1600 ve 2000Hz frekansları için RAM modeline göre yaz ve kış transmisyon kaybı karşılaştırmaları.....	66
Şekil 80.	Dip tuzluluk oranı %24'ten yüksek olan bölgeler.....	69

Şekil 81.	İstanbul Boğazı Karadeniz Çıkışında Akdeniz ve Karadeniz su kütlelerinin akustik görüntüsü.....	69
Şekil 82.	K-A hattındaki bu benzetimde 80 metrenin altında Akdeniz suyunun dip kayıpları üzerindeki etkisi.....	70
Şekil 83.	İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışının topografyası boğaz kanalının kuzeybatıya doğru büküldüğünü göstermektedir.....	70

EK LİSTESİ

Sayfa

Ek 1.	: Bellhop modeli ana modülü.....	73
Ek 2.	: Kraken modeli ana modülü.....	76
Ek 3.	: RAM modeli ana modülü.....	78

I. GİRİŞ

Işık ve radyo dalgaları su içinde yayılım yaparken, çok çabuk zayıflarlar ve sönülmeye uğrarlar, fakat ses dalgaları yayılımı için su ideal bir ortamdır. Deniz bilimciler, bir düşman denizaltısının konumunu saptamak için ilk hidrofonun denize indirilmesinden bu yana geçen süre içerisinde, su altı akustiği konusunda sürekli araştırmalar ve uygulamalar yapmaktadırlar. Bu süreç sonucunda akustik dalgaların su içindeki yayılışı günümüz deniz bilim çalışmalarında yararlanılan en önemli araçlardan biri haline almıştır.

Üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizde Deniz Bilimleri kapsamındaki çalışmalardan; su akustiği ile ilgili gerçek zamanlı çalışmaların sayısının azlığı ortadadır. Doğu Akdeniz için deniz taban kayıplarının modellendiği bir çalışmada (Başaran, 1993) Shulkin ve Shaffer formülleri (Urick, 1983) kullanılarak değişik geliş açıları için 10kHz frekans üzerinden tahminler üretilmiştir. Bu tahminlere göre ortam için ne tip sonarların kullanımının uygun olabileceği değerlendirilmiştir. Son yıllarda farklı algoritmalar kullanılarak geliştirilen su altı yayılım modelleri ile ses yayılımı ve kayıplarını hesaplamak önem kazanmıştır. Bu hesaplamaları yapmak amacıyla birçok su altı yayılım modeli geliştirilmiştir ve geliştirilmektedir. Bu modellerin hepsi farklı su altı koşullarında birbirlerine göre avantaj sağlamakta veya zayıf kalmaktadır. Hangi modelin, ne tip ortamlarda daha iyi sonuçlar verdiğini anlamamanın en iyi yolu da, modellerden çıkan sonuçların, sahada yapılan ölçümlerle karşılaştırılması ve hangi tip modelin daha yakın sonuçlar verdiğinin bulunmasıdır.



Şekil 1. Uygulama alanlarının yer bulduru haritası

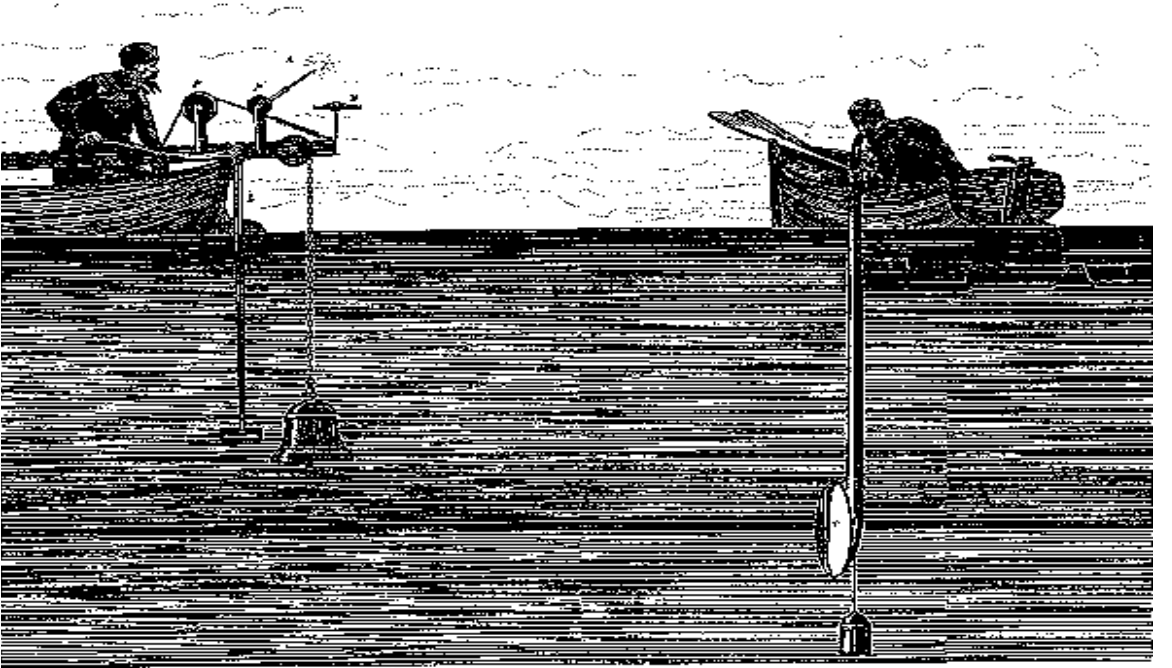
Bu tezin amacı; yukarıda bahsedildiği gibi bir uygulamanın Türkiye Denizleri'nde yapılarak, hangi modellerin, hangi bölgeler için daha faydalı olacağını tespit edilmesidir. Bu amaçla Şekil 1'deki Türkiye haritasında gösterilen iki pilot bölge seçilmiştir. Bu bölgelerde bazı akustik modeller uygulanmış ve karşılaştırılmıştır. Bu bölgelerin seçilmesindeki amaç, farklı oşinografik özelliklere ve farklı derinliklere sahip olmalarıdır. Sığ su için Karadeniz yaz dönemi, derin su için de Akdeniz kış dönemi seçilmiş ve bu iki farklı bölgeye ait akustik kayıplar modellerle hesaplanıp, saha ölçümlerine en yakın sonuçları veren modeller bulunmuştur. Bunun ardından da Akdeniz'de farklı bir hat için, Karadeniz'de ise kış mevsimi için akustik kayıplar hesaplanarak karşılaştırma fırsatı bulunmuştur.

Model sonuçlarının karşılaştırılmasında Akdeniz için, NATO Undersea Research Centre (NURC)'in 16-26 Şubat 1997 tarihleri arasında Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi (SHOD)'yle yaptığı ortak çalışmada alınan ölçümler kullanılmıştır. Karadeniz için ise; yine NURC ve SHOD'un 12 Haziran – 12 Temmuz 1996 tarihlerinde yaptıkları çalışma sırasında alınan ölçümler kullanılmıştır. Modellerin ölçümlerle karşılaştırılmasından önce; su altı akustiği bilim dalının tarihçesi, temel prensipleri ve uygulama sırasında gerekli tanımlar ile akustik modeller hakkında kısa bilgiler verilecek ve daha sonra da uygulama sırasında kullanılan yöntemler anlatılacaktır.

II. SU ALTI AKUSTİĞİ ve TEMEL PRENSİPLERİ

2.1. Su Altı Akustiği ve Tarihi

Su altı ortamında sesin, görünen ışık veya elektromanyetik enerjiye göre daha uzağa seyahat ettiği çok eskilerden beri biliniyordu. Su altı akustiğiyle ilgili ilk ölçümler 1827 yılında isviçreli fizikçi Daniel Colloden ve Fransız matematikçi Charles Sturm'un, su altında ses hızını ölçmek amacıyla, İsviçre'de Geneva Gölü'nde bir araya gelmesiyle yapılmıştır (Şekil 2). Bir ışık ve su altı çanı arasındaki zaman aralığını kabaca ölçerek yapılan bu deney, günümüzün kabul edilen değerlerine yakındı.



Şekil 2. Geneva Gölü'nde 1827 yılında yapılan ilk ses hızı ölçümü.

1900'lü yıllarda ise, fener gemileri, bir su altı çanı ve güvertede bulunan bir sis düdüğünün kombinasyonundan oluşan bir uzaklık ölçme sistemi kullanıyorlardı. Bu sistem sayesinde yaklaşan gemilerdeki mürettebat iki sesi de duyabiliyordu. Su altından gelen ses gemi gövdesine monte edilen bir hidrofona ulaşıyordu ve iki sesin farkını ölçerek fener gemisine olan tahmini uzaklıklarını ölçebiliyorlardı.

İlk sonar sistemleri, Birinci Dünya Savaşı sırasında Amerikan, İngiliz ve Fransızlar tarafından denizaltıları ve buzdağlarını bulmak amacıyla geliştirildi. O zamanlarda sonarlara "ASDIC" (AntiSubmarine Detection Investigation Committee) adı veriliyordu. İkinci Dünya Savaşı sırasında ise su altı akustiği büyük bir gelişme gösterdi ve bu dönemde düşman denizaltılarının su üstü gemileri tarafından tespit edilmesi çok daha kolaylaştı. Çünkü çok daha güçlü ve daha iyi oluşturulmuş ses sinyallerini suya gönderebilmekteydiler. Sinyal, denizaltının gövdesinden geri gelmekte ve uzaklığı hakkında bilgi vermekteydi.

Günümüzde; derinlik ölçme, deniz tabanı morfolojisinin çıkartılması, sismik stratigrafi, petrol ve doğal gaz araştırmaları, kabuk özellikleri ve kalınlığının saptanması, mühendislik ve akustik uygulamalar, balık stoklarının tayini gibi bir çok çalışmada akustik yöntemler kullanılmaktadır.

2.2. Sesin Özellikleri ve Bazı Tanımlar

Ses, elastik bir ortamın moleküllerinin düzenli hareketinden oluşur. Malzeme esnek olduğu için, malzemenin parçacıklarının hareketi; hareket bir ses kaynağından çıktıktan sonra komşu partiküllerle bağlantı kurmasıyla oluşur. Bir ses dalgası bu nedenle kaynaktan dışarıya doğru ses hızına eşit bir hızla yayılım yapar ve yayılım yapabilmesi için mutlaka katı, sıvı veya gaz gibi bir ortam olması gereklidir. Sıvı içinde parçacık hareketi yayılım yönüne paralel ve ileri-geri şekilde olur ve bu yüzden ses dalgaları boyuna dalgalardır (Urlick, 1983).

Boyuna dalgalar da enine dalgalar gibi zaman veya uzaklığa göre basınç çizilerek gösterilebilir ve böylece oluşan sinüs dalgasındaki tepeler sıkışma fazını, çukurlar ise seyrelme fazını gösterebilir. Ardışık iki dalga tepesi (veya dalga çukuru) arasındaki uzaklığa “**dalga boyu**” denir ve λ ile gösterilir. Sıkışma ve seyrelmeden oluşan tam bir dalga hareketi bir “**devir**” olarak bilinir. Dalgayı üreten kaynağın birim zamanda ürettiği dalga sayısına “**dalganın frekansı**” denir. Frekans 1/s veya Hz olarak ifade edilir ve **f** ile gösterilir. Ses dalgasının ortalama basınç düzeyinden olan sapması “**genlik**” olarak bilinir ve sesin yüksekliğinin ifadesidir. Bir ses dalgasının dalga boyu (λ) (2.2.1) denklemindeki gibi, sesin frekansı ve yayılma hızı (c) cinsinden ifade edilebilir.

$$\lambda \text{ (m)} = c \text{ (m/s)} / f \text{ (Hz)} \quad (2.2.1)$$

2.2.1. Ses Basıncı

Önceden bahsedildiği gibi; sıvı içinde parçacık hareketi yayılım yönüne paralel ve ileri-geri şekilde olmaktadır ve sıvı sıkıştırılabilir bir yapıda olduğu için, bu ileri-geri hareket basınçta bir değişime neden olur. Basınçtaki bu değişim, basınca duyarlı hidrofönler sayesinde fark edilebilir. Düzlemsel bir ses dalgasının oluşturduğu basınçta (p), anlık yoğunluk sıvı parçacıklarının hareketiyle (u) ve sıvı yoğunluğu (ρ) alakalıdır ve dalganın yayılım hızıyla (c) aralarındaki ilişki (2.2.1.1) numaralı denklemde gösterilmiştir.

$$p = \rho c u \quad (2.2.1.1)$$

“ ρc ” orantı katsayısı; sıvının spesifik akustik direnci olarak adlandırılır, ve deniz suyu için

$$\rho c = 1.5 \times 10^5 \text{ g/(cm}^2\text{)}(s) \quad (2.2.1.2)$$

hava için ise

$$\rho c = 42 \text{ g/(cm}^2\text{)}(s) \quad (2.2.1.3)$$

olarak ifade edilir.

Bazı durumlarda, hız ve basınç arasındaki orantı katsayısı karmaşıktır ve ses dalgalarını içeren ortamın özel akustik empedansı olarak adlandırılır. Bu Akustik Ohm Kanunu'dur; yani tanecik hızı (u), elektrik akımının akustik eşdeğeri ve basınç (p) ise elektrik voltunun eşdeğeri olarak düşünülebilir (Urick, 1983).

2.2.2. Dalga şiddeti

Yayılm yapan bir ses dalgası; tanecik hareketlerindeki kinetik enerji ve esnek maddedeki stresin oluşturduğu potansiyel enerjinin birleşmesinden dolayı, mekanik enerji taşır. Ses dalgası yayılım yaptığı için, saniyede belli miktarda enerji, birim alanda yayılım yönüne doğru akar. Saniyede birim miktardan geçen bu enerji miktarı “**dalga şiddeti**” olarak tanımlanır. Eğer bu alan rasgele bir rotaya alınır, elektromanyetik yayılımdaki hedef vektörüne benzer bir vektörel uzunluk haline gelir. Düzlemsel bir dalgada anlık şiddet, anlık akustik basınçla ilişkilidir ve

$$I = \frac{p^2}{\rho c} \quad (2.2.2.1)$$

denklemlerle ifade edilir. Bir zaman aralığındaki ortalama p^2 hesaplandığı zaman, o zaman aralığındaki ortalama şiddet

$$I = \frac{\overline{p^2}}{\rho c} \quad (2.2.2.2)$$

olarak gösterilir ve burada $(\overline{\quad})$ ortalama zamanı ifade eder. Eğer basınç birimi olarak dyne/cm² ve ρ ile c içinde birim olarak g/cm³ ve cm/s kullanılırsa o zaman I , ergs/cm² biriminde olur. 1 watt 10⁷ ergs/s'ye eşit olduğu için watt/ cm² cinsinden akustik enerji şiddeti

$$I = \frac{\overline{p^2}}{\rho c} \times 10^{-7} \quad (2.2.2.3)$$

olarak ifade edilir (Urick, 1983).

2.2.3. Desibel olarak ses şiddeti

Su altı akustiğinde çok sık kullanılan desibel (dB) birimi iki ses düzeyinin oranının 10 tabanında logaritmik ifadesidir. Ses ölçümünde logaritmik bir ifadenin kullanılması sayesinde çok geniş bir frekans aralığında yayılan ses dalgalarının sayısal aralığı azalmakta ve hesaplamalarda çarpma yerine toplama yapma gibi bazı kolaylıklar sağlanmaktadır. İki ses şiddeti I_1 ve I_2 , I_1/I_2 oranına sahip iseler bu desibel olarak $10 \log (I_1/I_2)$ dB olarak ifade edilir. Bu yüzden kesin şiddetler bir referans şiddet kullanılarak ifade edilir. Şu anda kabul edilen referans şiddet, 10^{-6} pascal ($\equiv \text{N/m}^2$) veya bir mikropascal (μPa)'lık bir rms basınca sahip düzlemsel dalganın şiddetidir. Bu nedenle, 1 μPa referans ses basıncı seviyesi olarak alınırsa, ses şiddetleri arasındaki oran bir milyon olan düzlemsel bir dalganın ses seviyesi $10 \log (10^6) \equiv 60$ dB olur. 1 μPa referans alınarak, ses basınç (P) oranları desibel cinsinden 2.2.3.1 numaralı formüldeki gibi ifade edilir.

$$P \text{ (dB/basınç birimi)} = 20 \log(P_1/P_2) \quad (2.2.3.1)$$

Bir düzlemsel dalganın ortalama ses şiddeti (I), p rms basıncı, ρ ortam yoğunluğu ve ses hızı (c) arasındaki ilişki 2.2.3.2 numaralı formülde gösterilmiştir.

$$I = p^2 / \rho c \quad (2.2.3.2)$$

Deniz suyunda ρc , $1.5 \times 10^6 \text{ kg/(m}^2\text{s)}$ 'dir ve bu yüzden 1 μPa 'lık rms basınca sahip bir düzlemsel dalganın ses şiddeti $0.67 \times 10^{-18} \text{ W/m}^2$ olacaktır (Jensen, v.d., 1994).

2.3. Ses Hızını Etkileyen Parametreler

Ses hızı suyun içinde havadakinin yaklaşık 5 katı hızıyla hareket eder ve çok uzak mesafelere ulaşabilir, bu yüzden su altında bilgi taşımak için ses sinyalleri kullanılır. Normal okyanus şartlarında ses hızı 1450 m/s ile 1550 m/s arasında değişir. Okyanus; yukarıda deniz yüzeyi, aşağıda ise deniz tabanı ile sınırlı olan bir akustik dalga kılavuzudur ve bu bölgede yayılım yapan ses dalgalarının hızının değişiminde rol oynayan dört ana etken vardır; sıcaklık, derinlik, tuzluluk ve basınç. Ses hızı bahse konu bu değerlerdeki yükselmelerle birlikte artar; ancak yükselme hızı oranları farklıdır ve en az rolü tuzluluk artışı oynar. Örneğin 10°C sıcaklık yükselmesi 40 m/s, 1000 m derinlik artışı 16 m/s ve tuzlulukta %1 artış 1.5 m/s hızda artışa sebep olur ve aralarındaki bağlantı basit bir şekilde (2.3.1) numaralı denklemde gösterilmiştir.

$$C = 1449.2 + 4.6T - 0.055T^2 + 0.00029T^3 + (1.34 - 0.01T)(S - 35) + 0.0160Z \quad (2.3.1)$$

burada C hız m/s, T sıcaklık Celsius, S tuzluluk ve Z derinlik m olarak alınır (Clay ve Medwin, 1977). Çoğu durum için bu formül geçerli olurken, farklı koşullar için farklı formüller de kullanılmaktadır. Basınç; yani derinlik değerlerinde gözlenen artış ise, akustik yayılım hızının artmasına neden olur ve basıncın tek başına oluşturacağı ses hızı değişimi su yüzeyi ile 3000 metre arasında yaklaşık 50 m/s kadardır (Alpar ve Doğan, 1994). Sudaki ses hızını etkileyen parametreler aşağıda anlatılmıştır.

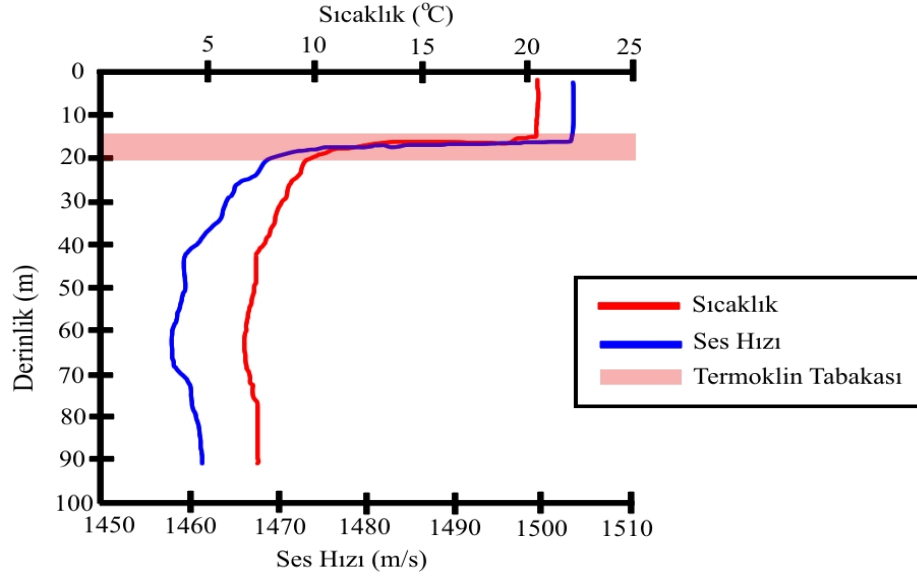
2.3.1. Sıcaklık

Sıcaklıktaki değişim, ses hızını diğer faktörlere göre 5 kat daha fazla etkilediği için, ses hızı değişiminde bahsedilmesi gereken en önemli etkidir. Sıcaklık, moleküllerin sahip olduğu kinetik enerjinin bir ölçüsüdür. Deniz suyu sıcaklık ölçümlerinde, sıvıların sıkışması ve genleşmesiyle oluşan potansiyel enerjinin hesaba katılması gerekir (Urlick, 1983).

Isı; suda, toprakta olduğundan daha derinlere inebilir çünkü suyun özgül ısısı toprağinkinden çok fazladır, bu yüzden denizler, ısının dengelenmesinde önemli rol oynarlar. Güneşten gelen enerjinin büyük kısmı ilk 10 metre içerisinde emilmektedir, bu oran berrak okyanus sularında %83 iken, bulanık sularda %99'u bulmaktadır. Bu sebeple, diğer çevre faktörleri dışlanırsa, ısınma olayı ilk 10 metre içerisinde gerçekleşir. Bazı özel durumlar dışında, deniz suyu sıcaklığı derinlikle azalır. Sıcak yüzey suları ile dipteki soğuk su arasındaki ısı alışverişi, rüzgarın yüzey sularını karıştırması ve akıntılar sonucunda meydana gelir.

Deniz suyunun ısınmasında rol oynayan diğer etkenler ise, güneş radyasyonları, yer iç ısısının okyanus tabanından konveksiyonla alınması, kimyasal ve biyolojik olaylar sonucu oluşan ısı, kinetik enerjinin ısı enerjisine dönüşümü ve suyun buharının yoğunlaşmasından oluşan ısı olarak sıralanabilir. Buharlaşma ve atmosfere bağlı ısı konveksiyonları ile deniz yüzeyinden yansıma gibi etkenler ise, deniz suyunda ısı kaybına yol açan faktörlerdir.

Ses hızını en çok etkileyen etken olan sıcaklıktan bahsederken, termoklin tanımını anlamak gerekir. Termoklin; su kolonunda ani sıcaklık değişiminin meydana geldiği seviyedir ve bu seviyedeki değişim yüzünden ses hızında da buna bağlı olarak ani değişiklikler meydana gelir. Şekil 3'de tuzluluk oranındaki değişikliğin fazla olmadığı bir bölgede, ses hızının sıcaklığa bağlı olarak değişimi ve termoklin tabakası görülmektedir.



Şekil 3. İstanbul Boğazı, Karadeniz çıkışında yaz mevsimini temsil eden termoklin tabakası ve sıcaklığa bağlı olarak ses hızı değişimi.

2.3.2. Tuzluluk

Deniz suyunun önemli özelliklerinden biri de tuzluluktur. Derin sularda derinlikle çok az değişir ve yatay değişimleri de ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Fakat kıyısız bölgelerde, özellikle fiyort ve buz sahalarında, tuzluluk etkisi önemlidir.

Deniz suyunun birçok fiziksel özelliği tuzluluğa bağlı olarak değişir. Deniz suyu yoğunluğu, elektrik iletkenliği, viskozitesi, genleşme katsayısı, osmotik basıncı ve sesin yayılma hızı, tuzluluğun artmasıyla birlikte artarken, spesifik (özgül) ısısı, buhar basıncı, ısı iletkenliği ve genleşme katsayısı gibi özellikler azalır.

Tuzluluğu azaltan ve arttıran bazı faktörler vardır ve bu faktörlerden en önemlileri buharlaşma ve yağıştır. Buharlaşma tuzluluğu artırırken, yağışla birlikte tuzluluk düşer ve bu iki zıt etkenin tuzlulukla olan ilişkisi için (2.3.2.1) numaralı denklem kullanılır. Bu

denklemdede; E, buharlaşma ve P ise yağış yüksekliklerini mm cinsinden göstermektedir (Urlick, 1983).

$$S \text{ (binde olarak)} = 34.6 + 0.0175 (E-P) \quad (2.3.2.1)$$

2.3.3. Basınç

Sıcaklık ve tuzlulukla birlikte, denizdeki ses hızına etki eden etkenlerden biri de basınçtır. Sıvılarda moleküllerin ağırlığı nedeniyle, yüzeye dik olarak etki eden bir basınç oluşur ve bu basınca “Hidrostatik Basınç” adı verilir ve denizlerde derinliğe bağlı olarak 1 metrede yaklaşık olarak 1 desibar kadar artmaktadır. Desibar (0.1 bar); basıncı ifade eden en pratik birim olup, bir metre yüksekliğindeki deniz suyunun cm²lik bir yüzeye yaptığı basınca eşdeğerdir.

2.3.4. Yoğunluk

Yoğunluk (özgül kütle); bir cismin kütlesinin birim hacmine oranı olarak tanımlanmıştır. Deniz suyunun yoğunluğu genelde, yaklaşık 1.026 gr/cm³ olarak alınır ve sıcaklığın azalması veya tuzluluk ve derinliğin artmasıyla yükselir. Bu ifadeden de anlaşılacağı gibi yoğunluk dağılımına etki eden faktörler, bu 3 etkende değişikliğe sebep olan özelliklerdir. Sıcaklık ses hızında olduğu gibi, yoğunluk üzerinde de en çok etkisi olan parametredir. Ayrıca yoğunluk, deniz suyunun kimyasal yapısıyla da alakalıdır.

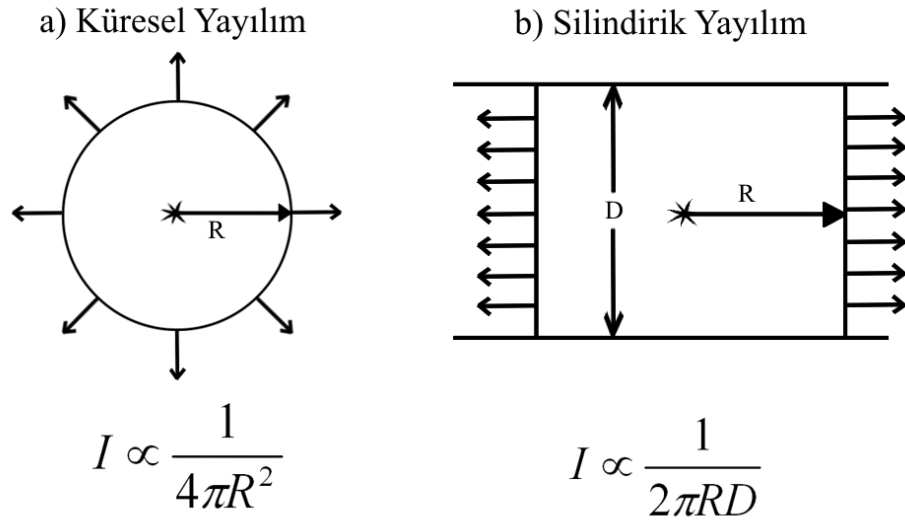
2.4. Transmisyon (İletim) Kayıpları

Okyanusta ilerleyen bir akustik sinyal, ışın yollarının değişik yolları izlemesi nedeniyle bozulmaya uğrar ve çeşitli kayıp mekanizmaları yüzünden zayıflar. Sinyal gücündeki bu değişim, su altı akustiğinde iletim kaybı (transmission loss) olarak ifade edilir. İletim kaybı

(TL), 2.4.1 numaralı formülde görüldüğü gibi herhangi bir ölçüm noktasındaki akustik enerji şiddetinin ($I(r,z)$), kaynaktan 1m uzaklıktaki akustik enerji şiddetine (I_0) desibel cinsinden olan oranıdır.

$$TL = -10 \log \frac{I(r,z)}{I_0} = -20 \log \frac{|p(r,z)|}{|p_0|} \quad (\text{dB re 1m}) \quad (2.4.1)$$

İletim kaybı, geometrik yayılmadan dolayı meydana gelen kaybın ve zayıflama yüzünden olan kaybın toplamı olarak ifade edilebilir. Yayılımdan meydana gelen kayıp basit bir şekilde, sinyalin kaynaktan uzağa doğru yayılım yaptığı sırada ölçülen kayıp olarak tanımlanabilir ve Şekil 4’de iki farklı geometride yayılım kuralları gösterilmiştir.



Şekil 4. Geometrik Yayılım Kanunları (Jensen, v.d., 1994)

Burada Şekil 4.a’da sınırsız homojen bir ortamda nokta kaynaklı bir yayılım gösterilmektedir. Bu basit durumda, kaynaktan yayılan güç, kaynağı çevreleyen bir kürenin yüzeyine eşit şekilde dağıtılır. Eğer ortamı kayıpsız bir ortam olarak farz edersek, akustik ses şiddeti kürenin yüzeyine ters orantılı olacaktır.

$$I \propto 1/(4\pi R^2) \quad (2.4.2)$$

2.4.1 numaralı formülden küresel yayılım için iletim kaybını

$$TL = 20 \log r \quad (\text{dB re 1m}) \quad (2.4.3)$$

olarak buluruz ve burada r metre cinsinden yatay uzaklıktır.

Eğer sinyalin yayıldığı ortam, Şekil 4.b'de gösterildiği gibi düzlemsel tepe ve alt sınırlarına sahip ise bu durumda; yatay uzaklıkta akustik ses şiddetindeki değişim, R yarıçaplı ve D derinlikli bir silindirin yüzeyiyle ters orantılı olacaktır.

$$I \propto 1/(2\pi RD) \quad (2.4.4)$$

Böylece silindirik yayılımda iletim kaybını 2.4.5 numaralı formülle gösterebiliriz.

$$TL = 10 \log r \quad (\text{dB re 1m}) \quad (2.4.5)$$

100 km uzunluktaki bir dalga kılavuzunda, küresel yayılım yapan bir sinyali örnek olarak ele alırsak; toplam iletim kaybı (zayıflama hesaba katılmadan) $60\text{dB}+20\text{dB}=80\text{dB}$ olacaktır. Bu 100km'de meydana gelmesi beklenen minimum kayıp miktarıdır. Ses dalgalarının deniz suyunda yayılım yaparken zayıflaması, meydana gelecek olan yansıma ve saçılım etkileri yüzünden, toplam iletim kaybı pratikte daha fazla olacaktır (Jensen, v.d., 1994).

Ses yayılımını modellemek için akustik kayıp mekanizmalarının iyi anlaşılması gerekmektedir.

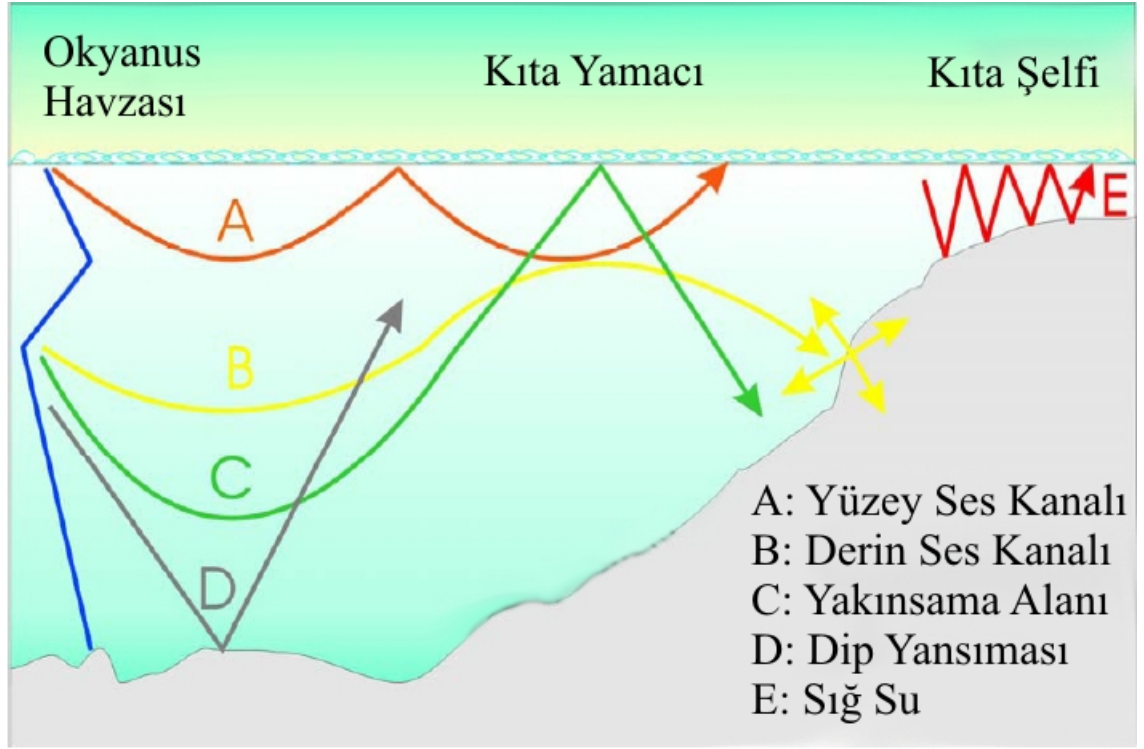
2.5. Su Altı Akustiğinde Kullanılan Kaynaklar ve Alıcılar

Akustik dalgaların su içinde yayımlanıp algılanması ancak yardımcı bir cihazla mümkün olur. Bir transdüser herhangi bir enerjiyi ses enerjisine (kaynak veya projektör), ya da ses enerjisini çoğunlukla elektrik olmak üzere herhangi bir enerjiye çevirir (alıcı) (Jensen, v.d., 1994).

Enerjinin iki formunu birbirine dönüştürme performansı; malzemenin piezoelektriklik ve magnetostriksiyon diye adlandırılan özellikleriyle ilgilidir. Basınç altında yüzeyleri arasında elektrik yükü kazanan; kuvars, amonyum, dihidrojen, fosfat-ADP, rochelle tuzu gibi bazı kristaller, voltaj verildiğinde gerilime uğrarlar. Bu tip malzemeler piezoelektriktir. Elektrostriktif malzemeler de aynı karakterdedirler, fakat bunlar polikristalleşmiş seramiklerdir ve yüksek bir elektrostatik alanda en uygun şekilde polarize edilmeleri gerekir. Bunlara örnek olarak ise; baryum titanat ve zirkonat titanat verilebilir. Magnetostriktif bir malzeme gerilime uğradığında çevresindeki manyetik alanı değiştirir ve polarize edildiklerinde frekans ikileşmesi olayı ortadan kalkacağından dolayı performansları artar.

2.6. Okyanusta Ses Yayılımı

Ses hızı profilleri sonucunda ortaya çıkan, okyanustaki temel ses yayılımları şekil 5’de gösterilmiştir. Bu yollar ortamdaki ses hızları ve ışının iniş açılarıyla ilgili olan Snell Yasası’ndan anlaşılmaktadır ($\cos \theta / c = \text{sabit}$). Ses hızının derinlikle değişmesi nedeniyle ses hızının yavaş olduğu bölgelere doğru ışınlar bükülür (Şekil 5).



Şekil 5. Okyanustaki temel ses yayılım yolları (Jensen, v.d., 1994)

Bu yayılım yollarının açıklaması şöyledir: en kolay şekilde A ve B açıklanabilir. A; minimum ses hızının deniz yüzeyinde olduğu bir ortamda, yüzey kanal yayılımı yapan bir yayılım yolunu göstermektedir. B ise; daha derin bir kaynaktan, yataya yakın bir açıyla yola çıkan ve derin ses kanalına giren bir ışın yayılımının izlediği yolu göstermektedir. Derin ses kanalında seyahat eden ışınların bir engelle karşılaşmadan çok uzaklara gittiği ve özellikle bu kanaldaki alçak frekans yayılımında binlerce kilometrelik yayılımlar olduğu bilinmektedir. B'ye göre daha geniş bir açıyla kaynaktan çıkan C ışını ise; yakınsama alanı yayılımı yapmaktadır. Diğer bir deyişle; bu yayılım mekan boyutunda periyodik (örneğin, ~ 35-70km) toplanma (focus) bölgeleri oluşturmaktadır. Dip yansıması yaparak ilerleyen D'de benzer şekilde mesafeye bağlı olarak periyodik özellikler göstermektedir. C ışınından farkı; daha kısa devir mesafesine ve daha kısa yayılım mesafesine sahip olmasıdır. Bunun nedeni de; deniz tabanında meydana gelen yansımalar yüzünden olan kayıplardır. Son olarak E ışın yolunda ise sığ suda ses yayılımı örneği görülmektedir. Ses kanalı; üstte deniz yüzeyi, altta ise deniz tabanı ile sınırlı bir dalga kılavuzu ile sınırlandırılmıştır.

Su altı akustik yayılımının modellenmesi karmaşık bir işlemdir. Çünkü akustik çevre uzaklıkla birlikte değişmektedir, yani mesafeye bağlıdır ve ses yayılımına etki eden çevresel faktörler karmaşık bir şekilde akustik frekansa bağlıdır. Bunun sonucu olarak Şekil 5'deki ışın yolları gösterildiği kadar basit değildirler. Bu durum alçak frekanslarda daha belirgindir. Bu yüzden hem sığ hem de derin sularda seçtiğimiz çevresel koşullarda ses yayılımlarının karakteristik özelliklerini ayrıntılı olarak ele almak gerekmektedir..

2.7. Akustik Yayılım Modelleri

Su altında akustik yayılım, matematiksel olarak parametreleri ve sınırları okyanus ortamını tanımlayan dalga denklemleriyle tanımlanmıştır. Akustik dalgaların su altındaki yayılımını ifade eden 5 farklı modelleme tekniği bilinmektedir.

- a. Işın Teorisi (Ray Tracing)
- b. Normal Mod (NM)
- c. Spektral Program (FFP: Fast Field Program)
- d. Parabolik Eşitlik (PE)
- e. Sınırlı Eleman Çözümü (FD: Direct Finite / FE: Finite Element)

Bu modellerden uygulamada en fazla kullanım sahası olanlar; ışın teorisi, normal mod ve parabolik eşitlik yaklaşımlarıdır. Bu tez çalışmasında bu üç model ele alınarak iki farklı uygulama sahasında değişik hidrografik ve oşinografik şartlar için kullanılacaktır.

2.7.1. Işın teorisi modelleri

Işın teorisi modelleri, akustik ışınların su altındaki yayılım şekillerini değerlendirerek yayılım kayıplarını hesaplayan en eski modellerdir ve günümüzde de yaygın olarak kullanılır. Bu teknikte dalga eşitliği, bir ışının (x,y,z) koordinatlarında zamana bağlı olarak aldığı mesafe ve akustik basınç fonksiyonlarına bağlı olarak çözümlendirilir. Genel olarak derin sulardaki yayılımları modellemek amacıyla kullanılırlar. Çok az sayıdaki akustik ışının alıcıya, doğrudan veya dipten ve yüzeyden yansiyarak ulaştığı durumları modellerdir. İki boyutlu ve mesafeye bağlı ışın teorisi modelleme teknikleri ortam şartlarının sabit kaldığı veya mesafenin bir fonksiyonu olarak değiştiği durumlarda kullanılabilir.

Işın teorisi modellerini kullanan programlara örnek vermek gerekirse, bunları iki ayrı sınıfta inceleyebiliriz. Mesafeden bağımsız ışın teorisi modellerini kullanan programlar CAPARAY, FACT, FLIRT, GAMARAY, ICERAY, INSIGHT ve RINGER, mesafeye bağlı ışın teorisi modellerini kullanan programlar ise ACCURAY, ALMOST, BELLHOP, FACTEX, GRASS, HARPO, LYBIN, MEDUSA, MOCASSIN, MPC, MPP, RAYWAVE ve SHALFACT olarak sayılabilir.

2.7.2 Normal mod modelleri

Normal mod çözümleri, dalga eşitliğinin integrasyonundan ortaya çıkartılmıştır. Normal mod modellemelerinde, ortam şartlarının mesafeden bağımsız olarak sadece derinlik ile değişen bir fonksiyon olduğu varsayılmaktadır. Işın teorisi modelleriyle karşılaştırıldığı zaman, verilen frekans ve kaynak derinliği kullanılarak istenen alıcı konumundaki yayılım kayıplarının kolaylıkla hesaplanabilmesi sayesinde normal mod modelleri üstünlük sağlar. Fakat normal mod modellerinin büyük bir dezavantajı vardır. Bu dezavantaj modelin deniz dibi ile ilgili olarak daha fazla bilgiye ihtiyaç duymasındır ve bu yüzden normal mod modellerinden verimli sonuçlar alabilmek için değişik dip tabiatlarının, yoğunluğunun ve ses hızı profillerinin bilinmesi gerekmektedir.

Normal mod yaklaşımına göre geliştirilmiş modelleme programlarını, ışın teorisi modellerinde olduğu gibi, mesafeden bağımsız ve mesafeye bağımlı olarak iki sınıfa ayırabiliriz. Mesafeden bağımsız model programlar AP-2/5, COMODE, DODGE, FNMSS, NEMESIS, NLNM, NORMOD3 ve PROTEUS, mesafeye bağımlı model programlar ise ADIAB, ASERT, ASTRAL, CENTRO, COUPLE, KRAKEN, PROLOS, SNAP, WEDGE ve WRAP olarak sayılabilir.

2.7.3 Parabolik eşitlik modelleri

Başlangıç noktası parabolik eşitlik olan bir yaklaşımdır ve fazla sayıda sayısal işlem yaparak sonuç veren su altı akustik yayılım modellerine bir alternatiftir. Plazma fiziği, sismik, mikrodalga ve lazer ışını yayılımı konularında başarıyla uygulanan bir yöntemdir ve 1973 yılından beri su altı akustik problemlerinde kullanılmaktadır. Akustik ışınların yatay yayılımını modellemeye gerek olmayacak şekilde küçük açisal yayılımlarda geçerli olacak şekilde kısaltılmıştır. Bu yüzden genellikle okyanus uygulamalarında kullanılan bir yöntemdir. Parabolik eşitlik modellerinde, deniz alanları mesafeye bağımlı olarak rahatlıkla modellenebilmektedir. Bu modelin iyi netice veremediği durumlar; saçılan akustik dalgaların fazla olması veya açisal yayılımların yüksek olması durumlarıdır.

Mesafeye bağımlı parabolik yaklaşım model programlarından bazıları; 3DPE, DREP, FEPE, FEPES, HAPE, HYPER, LOGPE, MACH1 PAREQ, RAM, TDPE, ULETA ve UNIMOD olarak sıralanabilir.

2.7.4. Akustik yayılım modellerinin karşılaştırılması

Işın teorisi, normal mod ve parabolik yaklaşım modellerinin birbirine göre farklı avantajları ve dezavantajları vardır. Bu yüzden bir modelleme uygulaması için hangi modeli kullanmamız gerektiğine karar verirken bazı karşılaştırmalar yaparak, çalışma bölgesinin özelliklerine göre uygun modeli seçmeliyiz.

Öncelikle çalışma bölgesinin bir sığ su ortamı oluşturduğunu varsayarsak, mesafe bağımlı durumlar için parabolik yaklaşım modellerini, mesafeden bağımsız durumlar için ise normal mod modellerini tercih etmeliyiz. Işın teorisi modellerinin sığ suda ve alçak frekans için uygulanabilir olmadığını söyleyebiliriz. Fakat yüksek frekans için ise, ışın teorisi modellerini mesafe bağımlı durumlarda rahatlıkla kullanabiliriz. Eğer mesafeden bağımsız ise yüksek frekansta normal mod modellerini kullanmak daha uygun olur. Parabolik yaklaşım modelleri ise, sığ su ve yüksek frekansta başarılı biçimde uygulanamaz.

Çalışma bölgesinin derin su ortamı olduğu koşullarda alçak frekans için ve mesafeden bağımsız durumlarda en başarılı sonuçları normal mod modellerinden alabiliriz. Aynı ortamda alçak frekans ve mesafe bağımlı bir durum söz konusuysa verimli bir sonuç almak için parabolik yaklaşım modellerini seçmeliyiz. Yine derin suda ve yüksek frekansta hem mesafeden bağımsız hem de mesafe bağımlı durumlarda en verimli sonuç ışın teorisi modelleriyle alınacaktır.

III. MATERYAL VE METOT

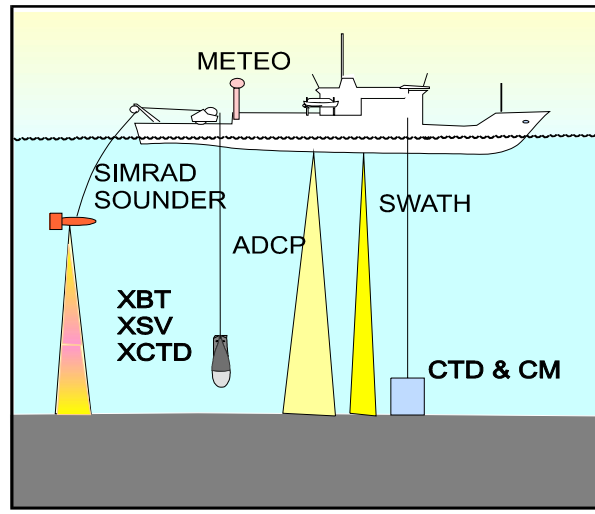
Arazide ölçülen transmisyon kayıplarının, modellerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmasına kadar atılması gereken birçok adım vardır. Bunlar; su altı akustik yayılım verilerinin elde edilmesi, çalışma sırasında kullanılacak modellerin anlaşılması, bu modeller için gerekli olan program girdilerinin hazırlanması ve modellerin çalıştırılarak oluşabilecek iletim (transmisyon) kayıplarının hesaplanması olarak sıralanabilir.

3.1. Verilerin Elde Edilmesi

İtalya'nın La Spezia şehrinde bulunan NATO Su Altı Araştırma Merkezi (NATO Undersea Research Centre, NURC) Antalya Körfezi açıklarında ve İstanbul Boğazı çıkışında, bu bölgelerin akustik ve oşinografik özellikleri hakkında bilgi edinmek amacıyla, Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi'yle ortak projeler düzenlemiştir. Bu projelerin veri toplama kısımları için, Antalya Körfezi açıklarında 16-26 Şubat 1997 tarihleri arasında, İstanbul Boğazı çıkışında ise 12 Haziran – 12 Temmuz 1996 tarihleri arasında saha çalışmaları yapılmıştır.

Bu çalışmalar sırasında ışın tekrarlama (reverbration), ortam gürültüsü (ambient noise) ve mesafeye bağlı transmisyon kaybı ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümleri desteklemek amacıyla, dip numuneleri alınmak suretiyle dip tabiatı incelenmiş ve bunun yanında oşinografik ölçümler de yapılmıştır.

Bu tez çalışmasını ilgilendiren verilerde bu çalışmalar sırasında ölçülen bazı değerlerdir. Model girdileri için gereken tuzluluk, sıcaklık ve derinlik bilgileri; her iki bölge için de, çalışmalarda kullanılan XBT (expendable bathythermograph), CTD (conductivity-temperature-depth) ve XCTD (expendable CTD) aygıtlarıyla ölçülmüştür (Şekil 6). Bu iki proje sırasında yapılan diğer ölçümler için gerekli farklı cihazlarda bu şekilde görülmektedir, fakat tez çalışması sırasında kullanılan veriler XBT, CTD ve XCTD cihazları tarafından ölçülen değerler olduğundan diğer cihazlardan burada bahsedilmeyecektir.



Şekil 6. Gerekli oşinografik parametrelerin ölçümlerini yapan XBT, CTD ve XCTD cihazlarının, çalışma sırasında kullanılan diğer aletlerle birlikte gösterildiği çizim.

XBT; derinliğe bağlı olarak sıcaklık ölçümü yapan ve bunu gemiye ileten tek kullanımlık bir aygıttır. CTD; derinliğe bağlı olarak deniz suyunun iletkenlik ve sıcaklık parametrelerini ölçen, bunları kullanarak ses hızı profilini çıkararak ve topladığı verileri kaydeden bir sistemdir. XCTD; CTD ile aynı olan bu aygıtın farkı XBT gibi tek kullanımlık olmasıdır. Yani gemi giderken denize atılarak bağlı bulunduğu ince tel kopana kadar gemiye ölçtüğü değerleri ileten bir aygıttır. Şekil 7’de örnek olarak Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi tarafından kullanılan bir CTD cihazı verilmiştir.



Şekil 7. Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi tarafından kullanılan Rosette örnekleycisi ve CTD cihazı*

Bu tez çalışmasında kullanılan bütün veriler bu iki proje sırasında da proje lideri görevinde olan Dr. Tuncay Akal'dan alınmıştır. Bir kısım Karadeniz verileri ayrıca Di Iorio ve Yüce (1999) tarafından yayınlanmıştır. Hem Karadeniz hem de Akdeniz'de yapılan bu çalışmalar sırasında akustik ve ortam verilerinin nasıl ölçüldüğü ve transmisyon kaybı hesaplamalarının nasıl yapıldığı aşağıda anlatılmaktadır.

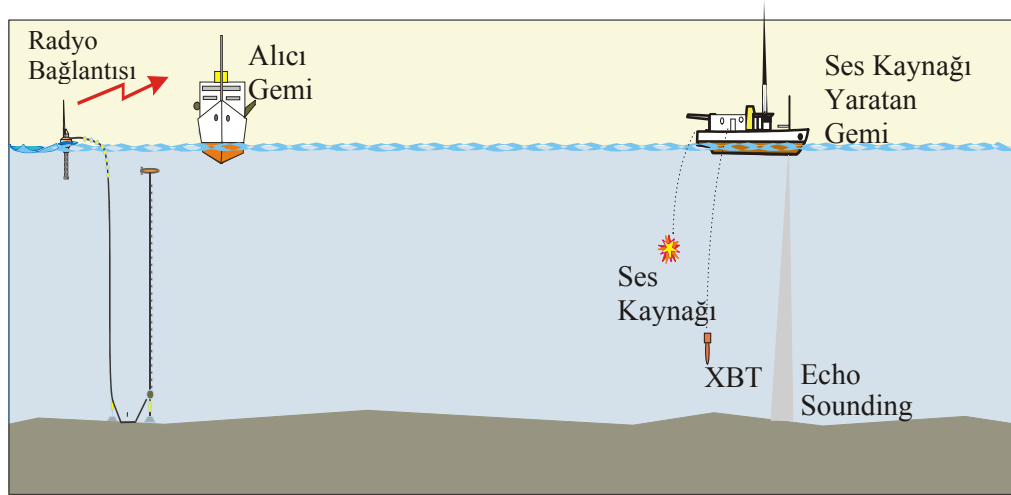
3.2. Akustik ve Ortam Verilerinin Ölçülmesi

Su kolonunun ses hızı yapısı, akustik yayılımda kontrol edici temel faktördür. Su kolonunda yayılım yapan akustik enerji deniz tabanı ile etkileşime girer ve değişik tipte akustik ve sismik dalgalara dönüşür. Bu dalgaların yayılımının ve zayıflamasının, deniz tabanının fiziksel özelliklerine büyük ölçüde bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Akustik yayılım yolundaki enerji kaybı miktarını temsil eden iletim (transmisyon) kaybı, dalganın yayılım yaptığı ortama ait bilgiyi taşır.

Rapor edilen bütün iletim kaybı verilerinde, patlayıcı yükler ve elektromekanik dönüştürücüler (transducer) ses kaynakları olarak kullanılmıştır. Üzerinde tüm yönlü (omnidirectional) hidrofönler bulunan dikey bir alıcı dizisi ise gönderilen akustik sinyalleri kaydetmek amacıyla kullanılmıştır.

* <http://www.shoddb.gov.tr/osinografi/ctd.htm>

Bu çalışmada su altı akustik yayılım modellerinden elde edeceğimiz sonuçların karşılaştırılacağı iletim kaybı verilerinin elde edilmesinde kullanılan metot Şekil 8’de gösterilmektedir ve şöyledir; alıcı ve ses kaynağı yaratan gemi olmak üzere iki adet gemi vardır, alıcı gemi uzun boru şeklinde ve altında ağırlık bulunan bir şamandıraya bağlı olarak duran dikey bir hidrofondur. Üzerinde dijital bir radyo vericisi bulunan bu şamandıranın avantajı; boyunun, denizdeki dalgaların boyuna göre ayarlanabilmesi ve bu sayede deniz yüzeyinde dalgadan etkilenmeyecek şekilde durabilmesidir. Denize bırakılan hidrofondun serisi su kolonunun büyük bir kısmını kaplayacak şekilde yerleştirilir ve hidrofondun sayısı derinliğe bağlı olarak değişir.



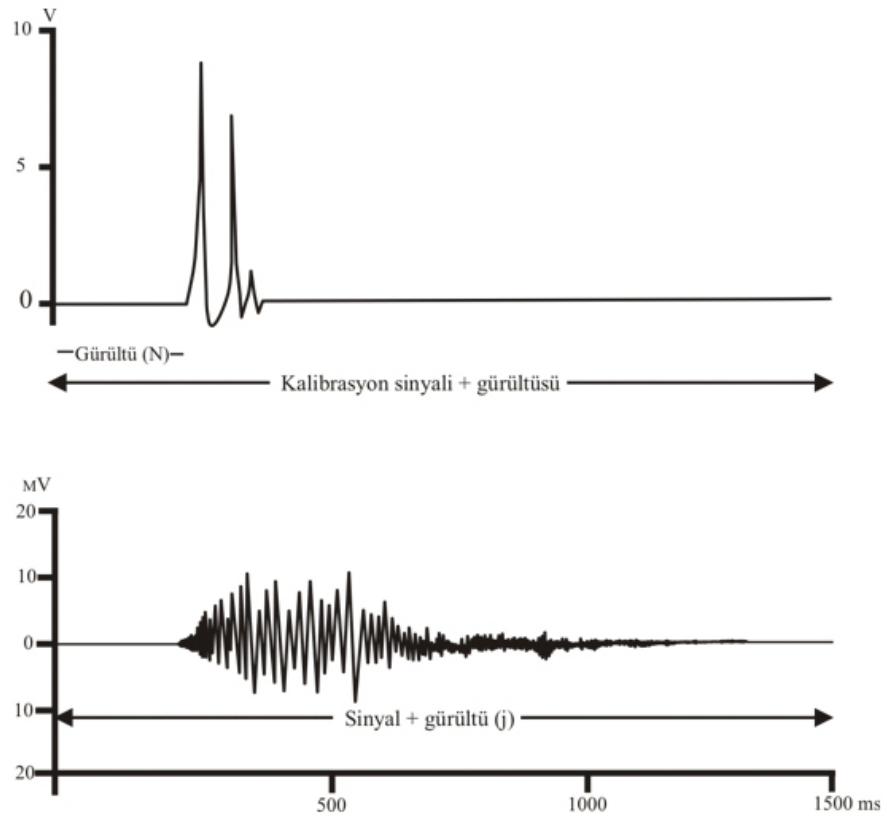
Şekil 8. Çalışma sırasında kullanılan metot

Denize yerleştirilen bu hidrofondun dizilimi, gemi kaynaklı ve yüzey dalgaları yüzünden oluşan gürültülerden en az şekilde etkilenmesi amacıyla yeterince uzağa götürülür. Ses kaynağı yaratan gemi daha önceden belirlenmiş bir rota üzerinde, şamandıradan uzaklaşan bir hat üzerinde hareket ederken aynı zamanda patlayıcı ses kaynaklarını suya bırakır. Patlayıcı ses kaynaklarına alternatif olan başka bir yöntem ise, değişik derinliklere göre ayarlanabilen ve belli aralıklarla CW/FM kaynak gönderen bir transdüser çekmektir. Ses kaynağı yaratan gemi rotasında ilerlerken batimetrik profil ve ses hızı ölçümü yapmak amacıyla, akustik

iskandille (echo-sounder) ölçüm yapılırken aynı zamanda suya oşinografik verileri ölçmek için belli aralıklarla XBT'ler bırakılır (Akal, 1980).

3.3. İletim Kaybı Hesaplamaları

Rapor edilen iletim kayıpları, kaynaktan 1 metre uzaklıktaki enerji kaybını referans olarak dB cinsinden verilmiştir. Şekil 9'da görüldüğü gibi, alıcıya ulaşan ses sinyalleri içinde ortam gürültüleri de bulunmaktadır. Düzeltilecek verinin zaman aralığına ait ölçülen ortam gürültüsü çıkarılarak gerçek değer elde edilir. Bazı durumlarda sinyal/ortam gürültüsü oranı 1'den büyük veya 1'e eşit olur, bu gibi durumlarda o veri kullanılamaz.



Şekil 9. Alıcıya ulaşan ses sinyalleri içindeki ortam gürültüleri (Akal, 1980'den değiştirilerek alınmıştır)

İletim kaybı (transmission loss), frekans ve uzaklığın bir fonksiyonu olduğu için, frekans-uzaklık düzleminde çizilecek eş-kayıp (isobath) konturları o ortamdaki iletim kayıpları hakkında bilgi edinmek için en basit yöntemdir. Küçük ölçülü dalgalanmaları elimine etmek için iki boyutlu bir düzgünleştirme işlemi uygulanır.

Akustik verinin yorumunu desteklemek amacıyla, ölçüm yapılan ortama ait akustik yayılımı etkileyebilecek çevresel koşullarda toplanır. Daha önce bahsedildiği gibi, XBT'lerden ayrı olarak alıcı gemi genellikle sıcaklık, derinlik ve tuzluluk değerlerini ölçer. Bunun yanında kor ve dip örnekleri yardımıyla deniz tabanı karakteristiklerini belirler, meteorolojik ve oşinografik değerleri ölçer, stereo fotoğraflar, dar açılı yüksek çözünürlüklü iskandil, yandan taramalı sonar kayıtları ve sismik profiller yardımıyla deniz tabanı fiziksel özellikleri hakkında bilgi toplar (Akal, 1980).

3.4. Çalışma Sırasında Kullanılacak Modellerin Anlaşılması

Su altı akustik yayılım modelleri, ses bir kaynaktan uzaktaki bir alıcıya giderken meydana gelen sinyal deformasyonunu hesaplar. Bir sonar dalgacığının genliğinde, geometrik yayılım, hacim soğurulması ve yansıma kayıpları yüzünden, bozulmalar meydana gelir ve dalga kılavuzundaki çok yollu varışlar (şekil 5) yüzünden dağılım ve girişmeler oluşur. Yüksek doğruluklu transmisyon modelleri, karmaşık deniz ortamları yüzünden meydana gelen bütün yayılım ve zayıflama efektlerini ele alarak sonar performans tahmin sistemlerinin temel taşı oluştururlar.

Bilgisayar tabanlı bu modeller, farklı akustik yayılım modellerinin prensipleri üzerine geliştirilmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılacak olan su altı akustik yayılım modelleri Bellhop, Kraken ve RAM modelleridir. Bu modellerden Bellhop ışın teorisi, Kraken normal mod, RAM ise parabolik eşitlik modellerinden birer örnektir. Bellhop ve Kraken modelleri

internette kullanıcılara sunulmuş olan “Acoustic Toolbox” adlı programın içerisinde bulunmaktadır. “Acoustic Toolbox” programı Avustralya’da bulunan Curtin Teknoloji Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknoloji Merkezi’nden Alec Duncan tarafından bu modellerin kullanımını kolaylaştırmak amacıyla yazılan Matlab tabanlı bir programdır*. RAM modeli de yine internette kullanıcılara ücretsiz sunulan bir programdır** ve diğerleri gibi Matlab üzerinden çalışmaktadır. Modellerin ana modüllerine ait kaynak kodları Ek 1-3 de verilmektedir. Uzunluğu nedeniyle alt program ve fonksiyon programlar gösterilmemiştir.

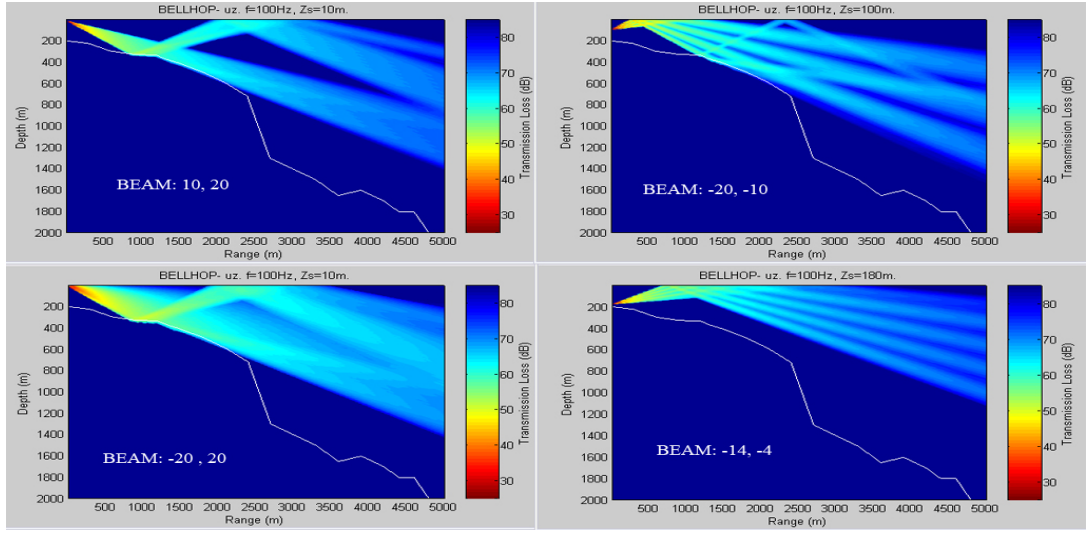
3.4.1 Bellhop modeli

Geometrik ışın izleme metotunda kullanılan Gauss ışın izleme teorisinin güçlü bir varyantıdır. Sinyal genişliği ve eğim açısı ek diferansiyel denklem çifti tarafından yönetilmektedir. Bu denklemler, sinyallerin ortasından geçen merkez ışının yaklaşık olarak birim alanını hesaplayan geleneksel ışın denklemleri ile entegredir (Porter, 1991; Porter ve Bucker, 1997; Akal ve Köprülü, 2005).

Bellhop modeli programının çalışmak için ihtiyaç duyduğu çevresel girdiler; derinliğe bağlı olarak ses hızı profilleri, dip yansıması kayıpları, ortam soğrulması değerleri, sesin deniz yüzeyinden yansıması sırasında dalgalı durumlarda meydana gelen kayıplarla ilgili parametrelerdir (Ek 1). Bu girdiler deniz suyu ve buna ek olarak deniz tabanında bir veya birkaç katman için ayrı ayrı verilebilmektedir. Program çıktı olarak ise; ses hızı profillerini, belli bir derinlikte veya ortamın batimetrisiyle birlikte derinlik ve uzaklık grafiğinde gösterebilmektedir. Ayrıca Bellhop çalıştırılmadan önce ışın yollarını hesaplaması istenebilir ve bu da batimetriyle birlikte grafik olarak görülebilmektedir. Ayrıca Bellhop modeliyle transmisyon kayıpları hesaplanırken, kaynak ve alıcı derinlikleri ve kaynaktan çıkış için farklı yayılım açıları ve değişik ışın sayıları seçilebilir (Şekil 10 ve 11).

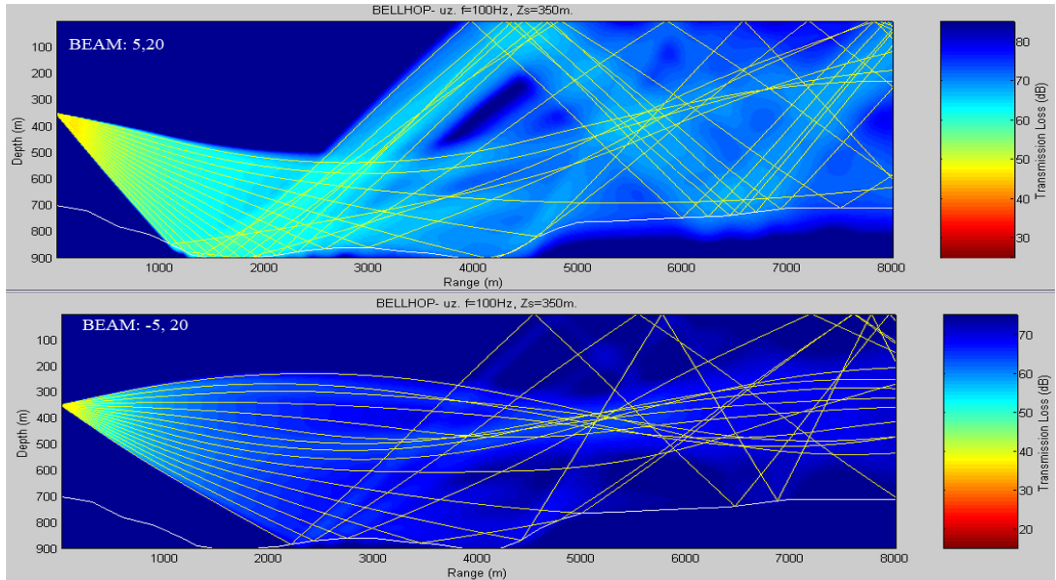
*<http://cmst.curtin.edu.au/products/actoolbox/>

**<http://www.hlsresearch.com/oalib/PE/index.html>



Şekil 10. Bellhop modelinde farklı yayılım parametreleri kullanılarak yapılan benzetimler.

İki boyutlu çözüm ile alçak frekans ve sığ sularda daha az doğrulukta sonuçlar vermesi programın dezavantajları olarak görülebilir. Sonuç olarak Bellhop modeli; normal mod ve parabolik eşitlik modellerinin kullanımının pratik olmadığı yüksek frekans ve derin deniz ortamlarında iyi sonuçlar vermektedir ve özellikle bu ortamlarda kullanım açısından daha çekicidir (Akal ve Köprülü, 2005).

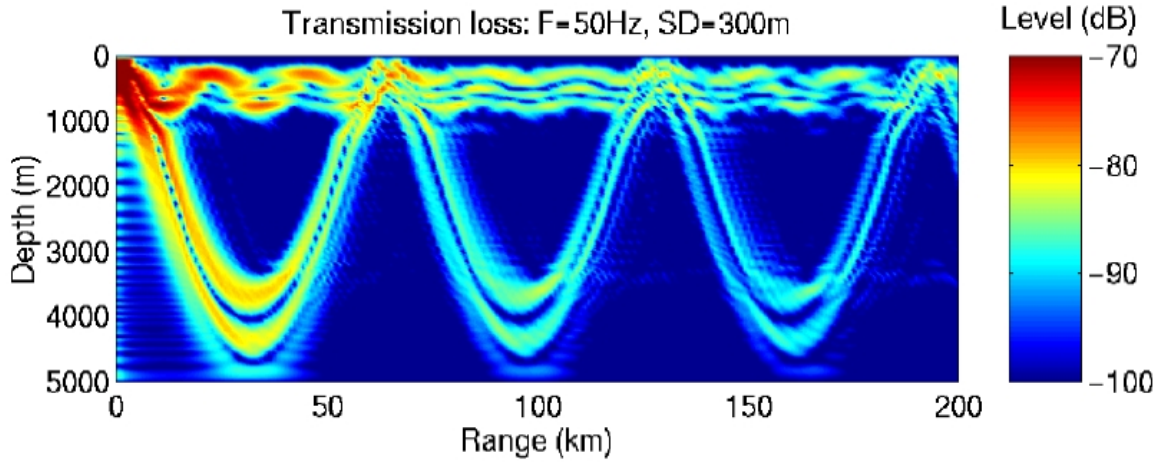


Şekil 11. Bellhop modeli ile su sıcaklığının orta katmanda üst ve alta göre daha soğuk olduğu bir ortam için transmisyon kaybı ve ışın yollarını gösteren grafik.

3.4.2. Kraken modeli

Kraken normal mod ile çalışan programlardandır. Dalga teorisi üzerine kurulmuştur ve dalga denklemi çözümünün normal moda genişletilmesi mantığına dayanır. Mesafeye bağımlı ortamlarda, elastik dip ve 3 boyutlu geometri dahil, ses yayılımı için kullanılabilir. Üç boyutlu ortamlarda yatay yansıma Gauss ışınlarıyla modellenir. Alternatif transmisyon modelleri C-SNAP, PAREQ, PROSIM ve SNAP-RD olarak sıralanabilir, fakat üç boyutlu yayılım etkileri için henüz bir alternatifi yoktur.

Kraken modelinin çalışmak için ihtiyaç duyduğu çevresel girdiler ana modül içindedir (Ek 2). Katmanlar tanımlanırken yarı-uzay şeklinde tanımlanır ve üstteki yarı-uzay yani su kolonu için derinliğe bağlı olarak ses hızı profilleri ve yoğunluk değerleri, alt yarı-uzay için ise yoğunluk, soğrulma ile ses hızı parametreleri girilir. Model çıktı olarak, ses hızı profillerini mesafeye bağlı olarak veya seçilen belli derinlik için grafikte gösterebilir (şekil 12). Bunun yanında normal mod fonksiyonları – derinlik grafiğini de çıktı olarak sağlar. Kraken sadece farklı normal mod setlerini içerir, bu yüzden kısa mesafelerdeki dik yayılım açılarını hesaba katmaz. Modelin diğer bir modu olan adiyabatik tahminde çevresel parametrelerde sadece küçük değişimlere izin verilmektedir. Normal modların sayısı frekans ve derinlikle orantılıdır bu yüzden, derin sularda yüksek frekans (kHz) için çok büyük sayılarda modlara ihtiyaç duyar, bu da yüksek veri depolama alanı ve uzun hesaplama zamanı demektir. (Porter, 1990; 1991; Porter ve Bucker, 1987; Akal ve Köprülü, 2005).



Şekil 12. Derin su ortamında Kraken modeliyle yapılan bir benzetim örneği.

3.4.3. RAM Modeli

RAM modeli parabolik eşitlik teorisi üzerine kurulmuştur ve okyanus ortamında mesafeye bağımlı olarak alçak frekans için bu teori üzerine kurulan en etkili teknik olarak bilinir. RAM diğer mod modellerine göre çok daha kesin ve doğru sonuçlar üretir. Bunun nedeni diğer spektral bileşenler arasında tam kavrama sağlaması ve kayıpların doğru bir şekilde ele alınmasıdır.

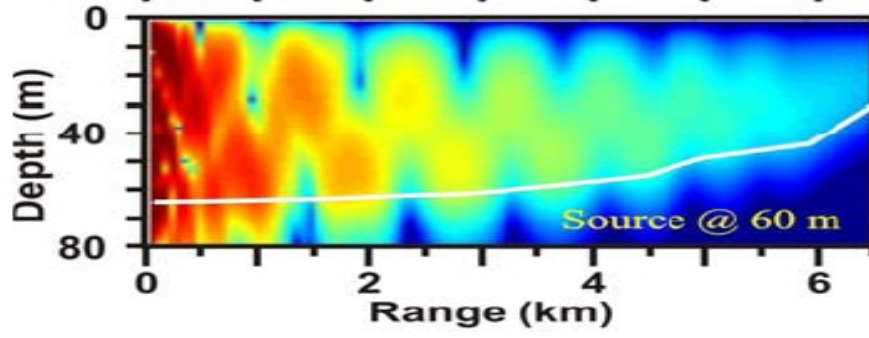
RAM programının girdileri (Ek-3) aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Su ve çökeldeki ses hızı profilleri
- Çökeldeki ses hızı, yoğunluk ve soğrulma değerleri
- Alt taban ses hızı, yoğunluk ve soğrulma değerleri

Program çıktıları ise aşağıdaki gibidir;

- Ses hızı profilleri, mesafeye göre transmisyon kaybı grafikleri
- Derinliğe bağlı olarak transmisyon kaybı (şekil 13)
- Derinlik ve mesafeye bağlı olarak transmisyon kaybı konturları
- Derinliğe bağlı olarak mod fonksiyonları
- Frekans ve mesafeye bağlı olarak transmisyon kaybı konturları

Model frekans ve derinliğe bağlı olduğu için yüksek frekans ve derin deniz ortamında hesaplama uzun sürer ve yüksek veri depolama alanı gerekir (Brock, 1978; Collins, 1993; 1994; Collins, v.d., 1996).



Şekil 13. RAM modeli ile hesaplanan transmisyon kayıplarının derinlik ve mesafeye bağlı olarak gösterimi.

3.5. Modeller İçin Gerekli Olan Verilerin Hazırlanması

Tez çalışması sırasında kullanılacak olan modeller anlaşıldıktan sonra bu programların bilgisayarda çalışması için Matlab programı yardımıyla modellerde ufak düzenlemeler yapılarak modeller çalışır hale getirilmiştir. Daha sonra arazi çalışmaları sırasında XBT, CTD ve XCTD cihazlarıyla ölçülen parametrelerden kullanılacak hatlara yakın olanlar koordinatlarından bulunarak, bu noktalara ait olan tuzluluk, derinlik ve sıcaklık değerleri alınarak, her hatta ait bir tablo oluşturulmuştur. UNESCO Uluslararası Deniz Suyu Denklemi Hesap Cetveli* (Fofonoff, 1985) yardımıyla ses hızı ve yoğunluk değerleri bulunmuştur.

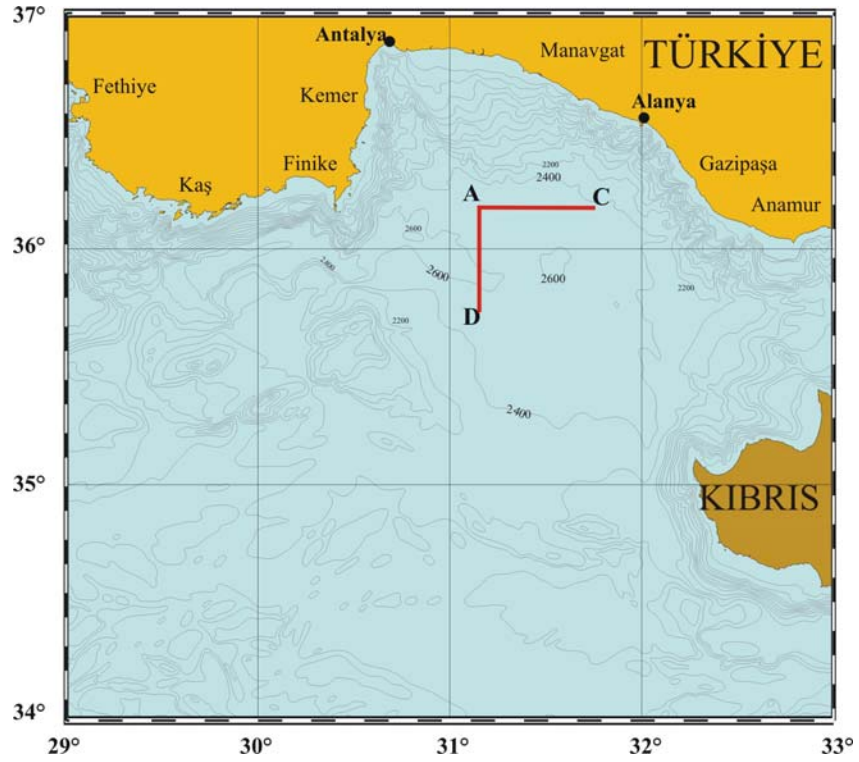
*<http://fermi.jhuapl.edu/denscalc.html>

IV. BULGULAR

İki pilot sahada uygulamalar yapılmıştır. Her iki sahada da model sonuçları ölçümlerle karşılaştırılarak yorumlanacaktır.

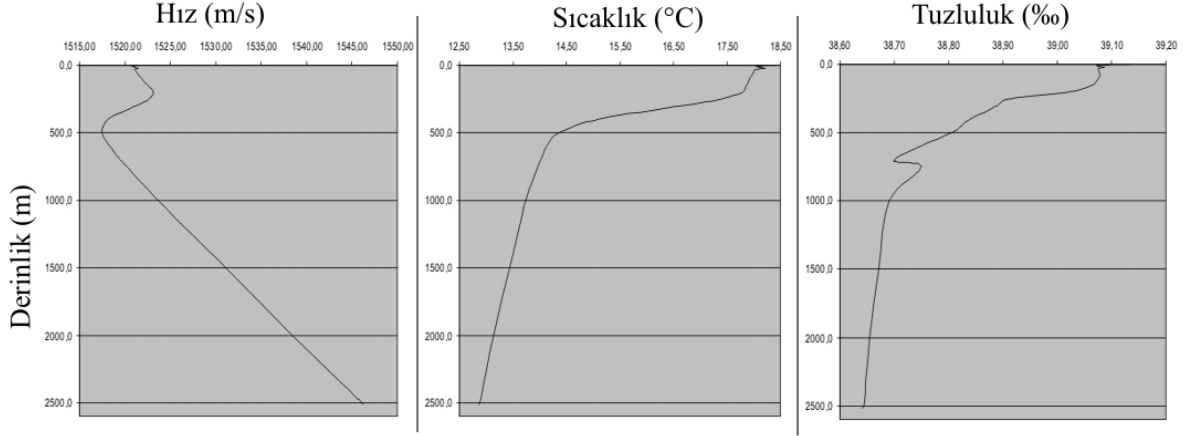
4.1. Akdeniz Uygulaması

Akdeniz için pilot bölge olarak seçilen Antalya Körfezi'nde transmisyon kayıpları, A-C hattı (Şekil 14) üzerinde Bellhop ve Kraken modelleri kullanılarak hesaplanmıştır.



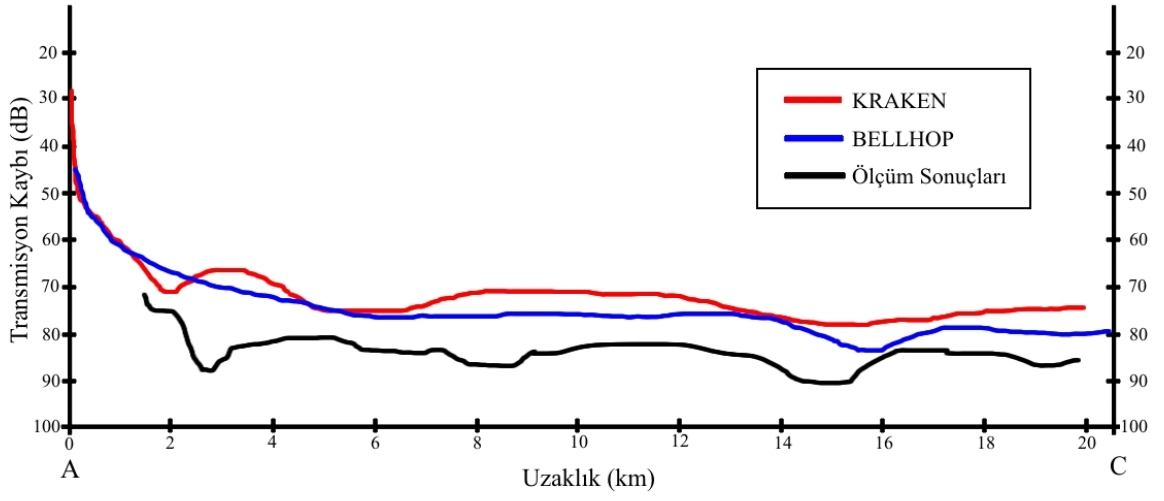
Şekil 14. Akdeniz için seçilen pilot bölge ve uygulamaların yapıldığı A-C ve A-D hatları

İletim kaybı hesaplamalarında değişken parametreler olarak 400, 900 ve 3500 Hz çalışma frekansları alınmıştır. Ölçülerle mukayese yapabilmek için arazi ölçümlerinde kullanılan kaynak ve alıcı derinlikleri ve frekans değerleri kullanılmıştır. Bu derinlikler kaynak için 90, alıcı için ise 80 metredir. A-C hattına ait hız, sıcaklık ve tuzluluk değerleri Şekil 15'te gösterilmiştir.

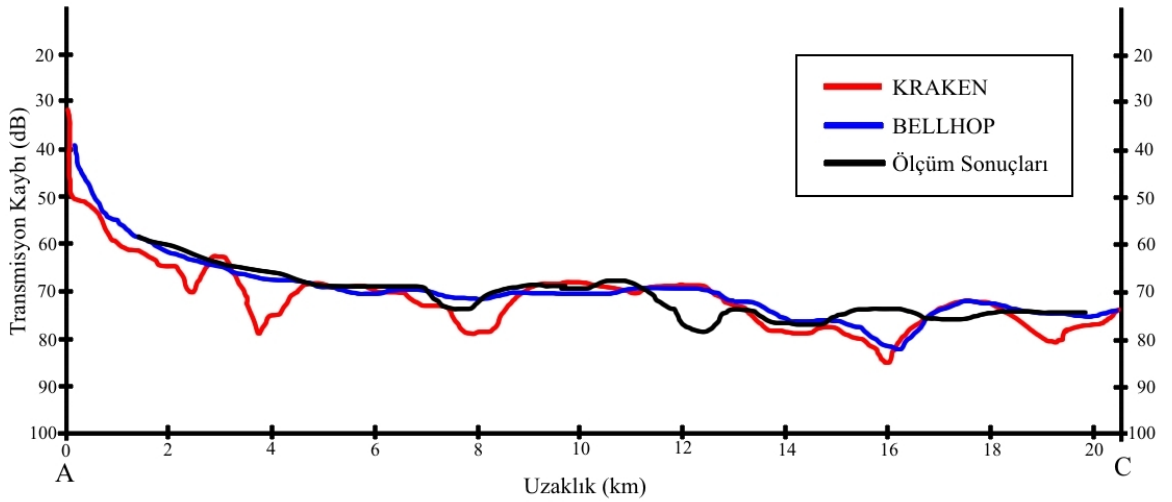


Şekil 15. A-C hattına ait ölçülen hız, sıcaklık ve tuzluluk değerleri

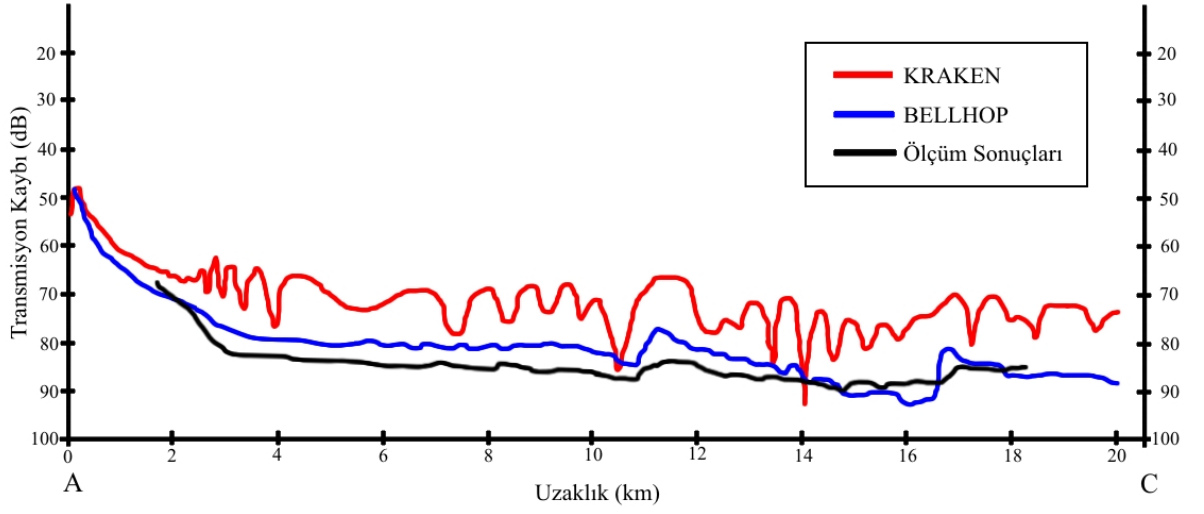
Kraken ve Bellhop modelleri ile hesaplanan transmisyon kayıpları, NATO Undersea Research Centre (NURC)'ın 16-26 Şubat 1997 tarihleri arasında Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi (SHOD) ile yaptığı ortak çalışmada alınan transmisyon kaybı ölçümleriyle karşılaştırılmıştır (Şekil 16, 17 ve 18). Çıkan sonuçlardan bu bölge için genel olarak Bellhop modeliyle hesaplanan transmisyon kayıplarının, Kraken ile hesaplanana göre ölçüm sonuçlarına daha yakın olduğu gözükmemektedir. Görüldüğü gibi 900 ve 3500 Hz frekanslarında modeller daha başarılı sonuçlar vermiştir.



Şekil 16. A-C hattında, 400 Hz frekansı için Kraken ve Bellhop modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.

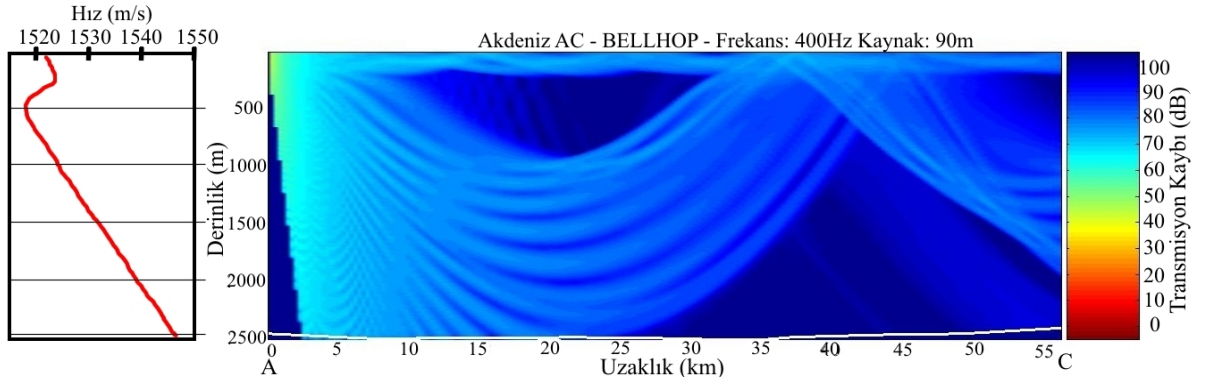


Şekil 17. A-C hattında, 900 Hz frekansı için Kraken ve Bellhop modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.

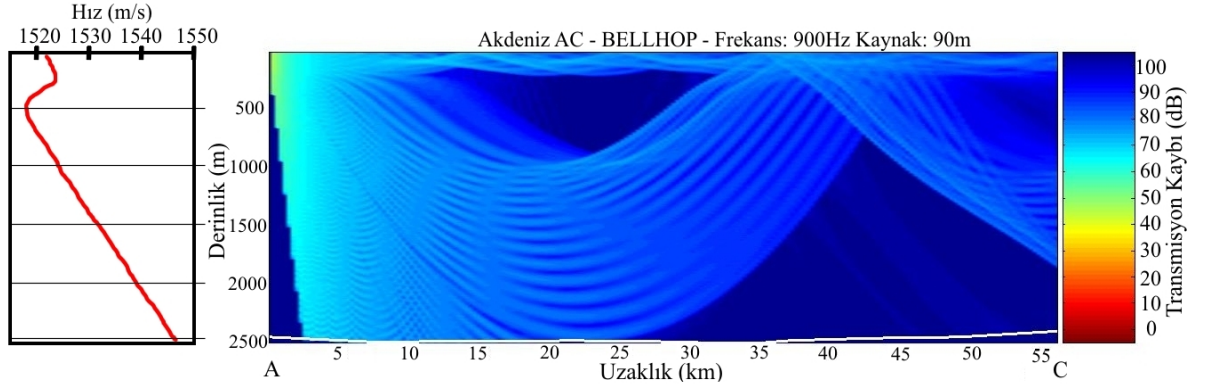


Şekil 18. A-C hattında, 3500 Hz frekansı için Kraken ve Bellhop modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.

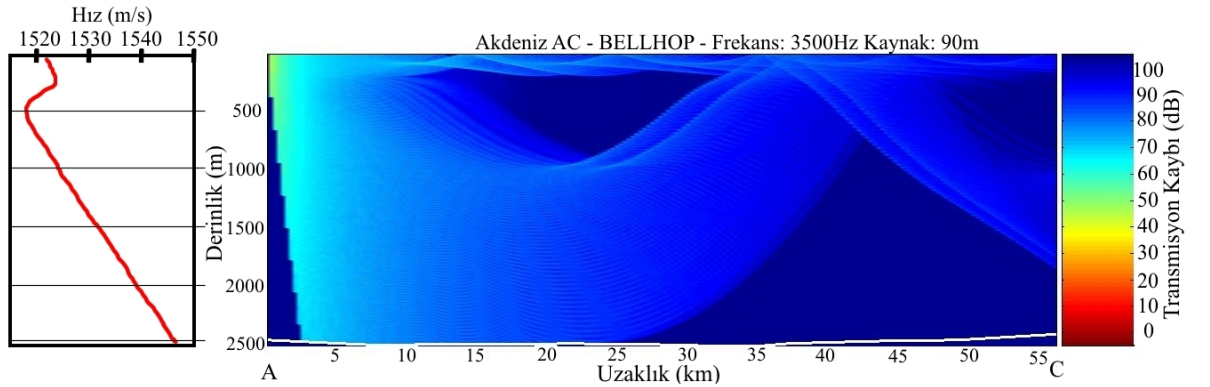
Akdeniz A-C hattında yapılan karşılaştırmalar sonucunda Bellhop modelinin bu bölgede daha uygun olduğu görülmüş ve bu hat üzerindeki transmisyon kayıplarını görmek amacıyla, 400, 900, 3500 ve 7500 Hz çalışma frekanslarında model çalıştırılmıştır. Transmisyon kaybı – uzaklık grafiklerinde (şekil 16-18), sadece seçilen bir alıcı derinliğindeki kayıplar görülmekte iken, benzetim grafiklerinde derinlik ve uzaklığa göre ses kayıpları görülebilmektedir (Şekil 19, 20, 21 ve 22). Bu şekillerde sol tarafta hatta ait hız – derinlik grafikleri, sağ tarafta ise transmisyon kaybı ölçeği görülmektedir. Burada ses kayıpları dB cinsinden verilmiş olup, transmisyon kaybı ölçeği 0 ile 100 dB arası kaynak derinliği ise 90 metredir. Derinlik metre ve uzaklık ise kilometre cinsinden verilmiştir. Deniz tabanı profili beyaz çizgi ile gösterilmiştir. Akdeniz'deki çalışma sahasının dip yapısı killidir ve modelde bu şekilde değerlendirilmiştir. Bu amaçla ses hızı için 1525 m/s, yoğunluk için 1.5 g/cm³, akustik soğrulma için ise 0.1 dB/m/kHz değerleri kullanılmıştır. A-C hattında yapılan bu uygulama sonunda çıkan aşağıdaki grafiklerde; frekans yükseldikçe transmisyon kayıplarının da arttığı ve daha alçak frekansta sesin daha uzaklara seyahat edebildiği görülmektedir ki, bu da olması gereken durumdur.



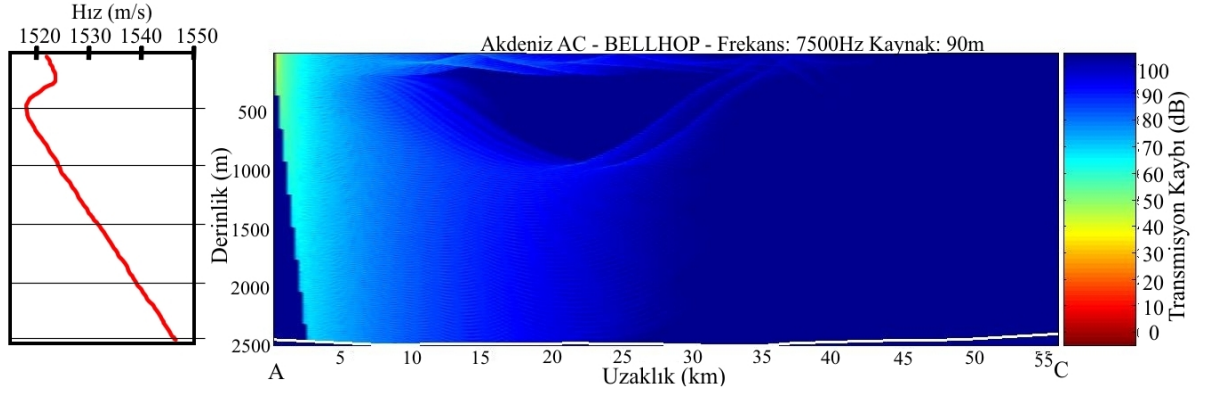
Şekil 19. A-C hattında 400Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop modeliyle benzetimi ve A-C hattının hız - derinlik grafiği.



Şekil 20. A-C hattında 900Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop modeliyle benzetimi ve A-C hattının hız - derinlik grafiği.

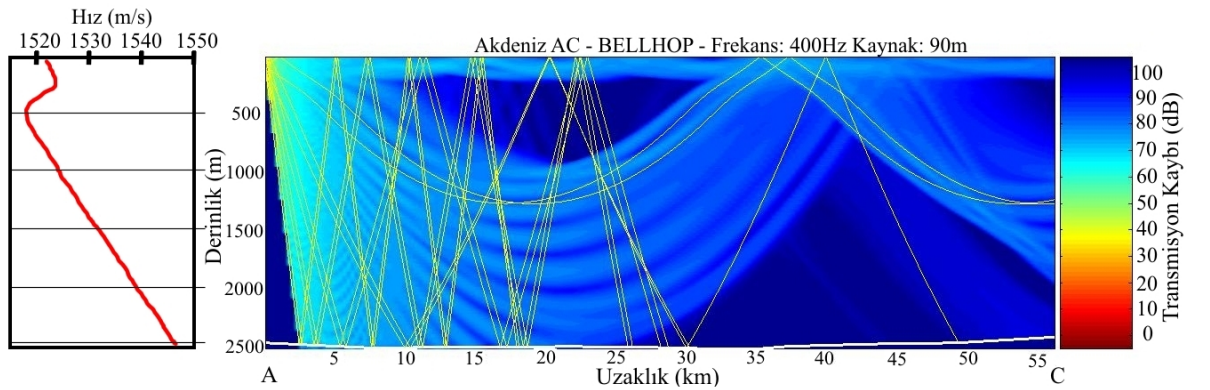


Şekil 21. A-C hattında 3500Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop modeliyle benzetimi ve A-C hattının hız - derinlik grafiği.

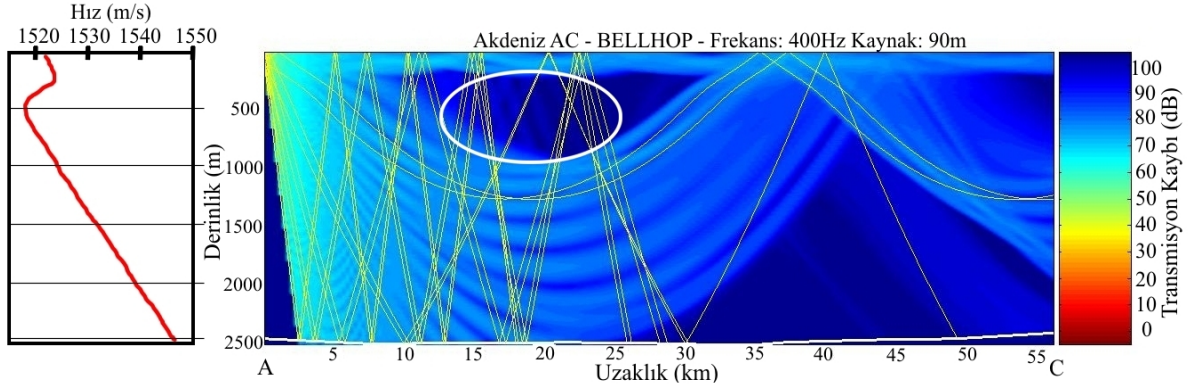


Şekil 22. A-C hattında 7500Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop modeliyle benzetimi ve A-C hattının hız - derinlik grafiği.

Bellhop modeli anlatılırken bahsedildiği gibi, bu modelle istenirse ışın yayılım yolları da hesaplanabilmekte ve uzaklık, derinlik grafiğine eklenebilmektedir. Bellhop modelinde A-C hattı için ışın yolları hesaplanarak, örnek olarak seçilen 400Hz frekanstaki transmisyon kaybı – uzaklık, derinlik grafiğinin üzerine yerleştirilmiş ve ışın yolları sarı ile gösterilmiştir (Şekil 23). Bu şekilde görüldüğü gibi ses kaybının az olduğu bölgeler ışın yollarının üzerinde bulunmaktadır. Yine Şekil 24’da görülen ve elips içine alınan bölge ışın yollarının üzerinde olduğu halde burada transmisyon kaybının fazla olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak buradan geçen ışınların grafikte görüldüğü gibi dipten yansıyarak gelen ışınlar olması ve dip yansıması sırasında bu ışınların büyük kayba uğramalarıdır.

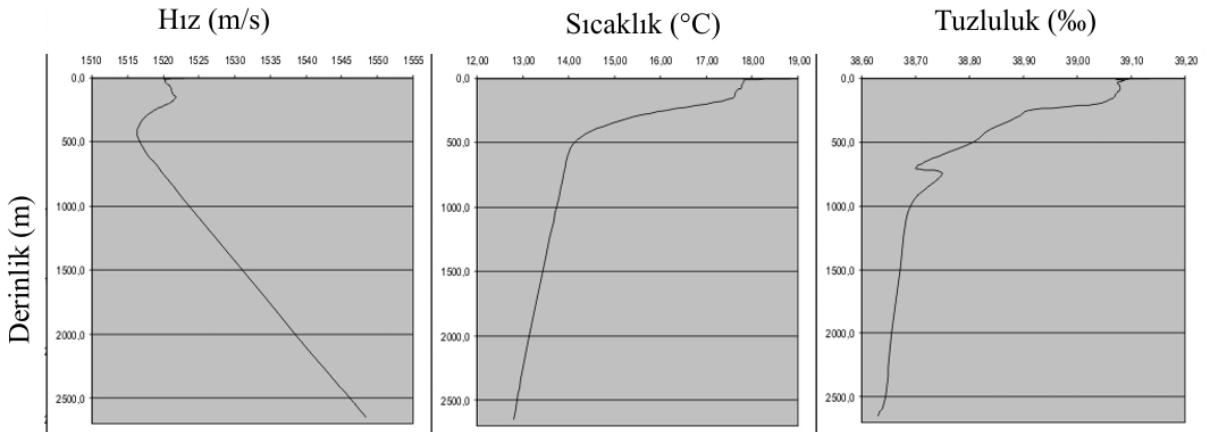


Şekil 23. Akdeniz A-C hattında Bellhop modeliyle hesaplanan ışın yolları.



Şekil 24. A-C hattında ses kaybının yüksek olduğu gölge bölge (shadow zone).

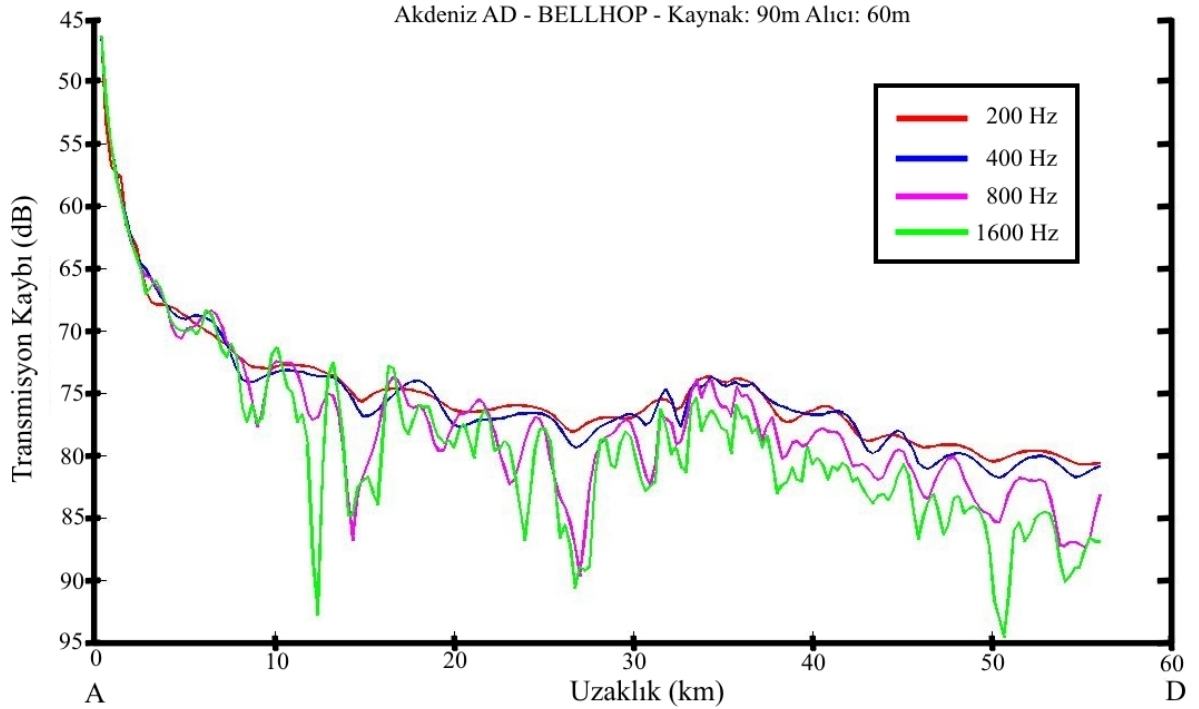
A-C hattında yapılan bu uygulama sonucunda Bellhop modelinin bölge için daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bunun üzerine Şekil 15'deki haritada görülen A-D hattı için Bellhop modeliyle 200, 400, 800 ve 1600 Hz çalışma frekansları için transmisyon kayıpları hesaplanmıştır. Bu frekansların seçilme nedeni, NURC ve SHOD ortak projesinde uygulanan frekanslar olmalarıdır. A-D hattına ait hız, sıcaklık ve tuzluluk değerleri Şekil 25'te gösterilmiştir. Yine bu çalışmada kullanılan 90 m kaynak derinliği ve 60 m alıcı derinliği için transmisyon kayıpları Şekil 26'daki grafikte görülmektedir.



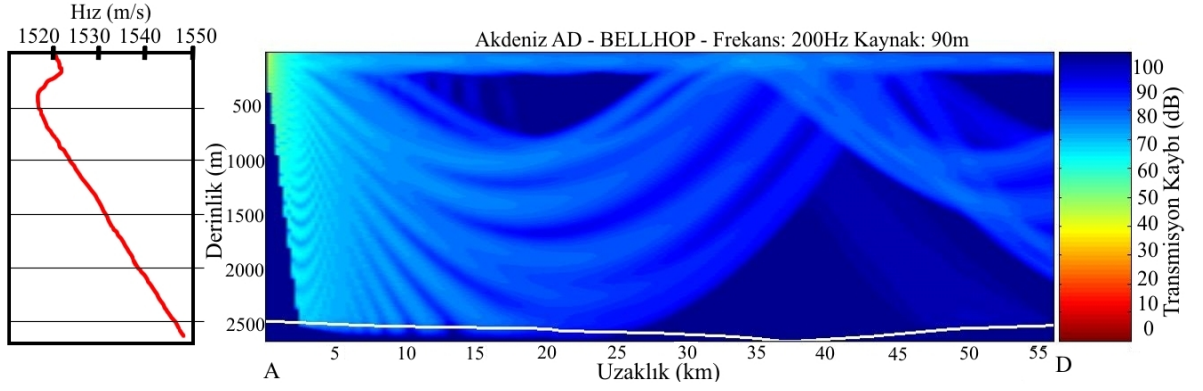
Şekil 25. A-D hattına ait ölçülen hız, sıcaklık ve tuzluluk değerleri.

Beklendiği gibi, frekans yükseldikçe kayıplarda artmaktadır. Bununla birlikte, hesaplanan transmisyon kayıpları uzaklık ve derinliğe bağlı olarak Şekil 27, 28, 29 ve 30'da gösterilmiştir. Şekillerde deniz tabanı profili beyaz çizgi ile gösterilmiştir. A-C hattında olduğu gibi bu grafiklerde de sol tarafta hız-derinlik, sağda ise yine 0 dB – 100 dB aralığında transmisyon kaybı ölçeği yer almaktadır. Burada da kaynak derinliği AC hatında olduğu gibi 90 metredir.

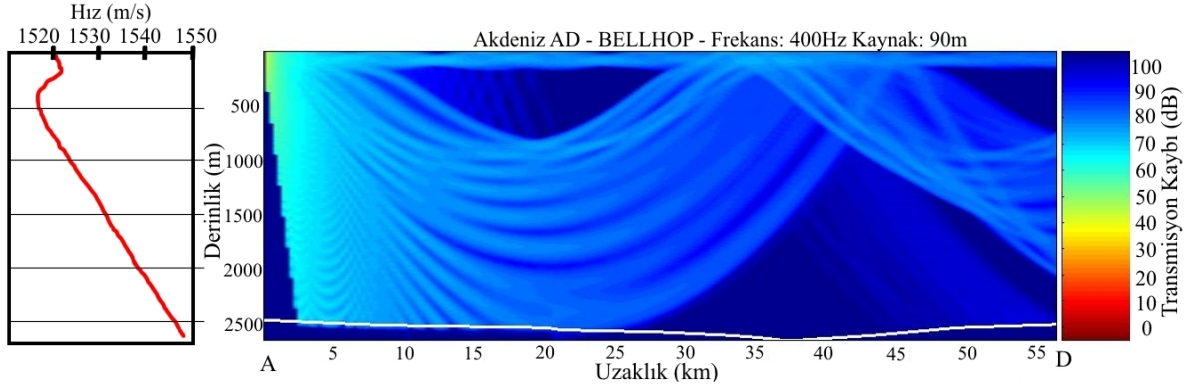
Şekil 31'de ise A-D hattı için ışın yolları hesaplanmış ve sarıyla gösterilmiştir. Örnek olarak seçilen 800Hz frekanstaki transmisyon kaybı – uzaklık, derinlik grafiği üzerine yerleştirilmiştir. Birbirlerine yakın bölgelerde olan A-C ve A-D hatlarının tuzluluk, sıcaklık ve yoğunluk değerleri birbirinden çok farklı olmadığı ve iki hattın batimetrileri de benzer olduğu için, ışın yolları ve aynı frekanslardaki ses kayıpları benzerlik göstermektedir. Bu durum grafiklerden gözükmemektedir.



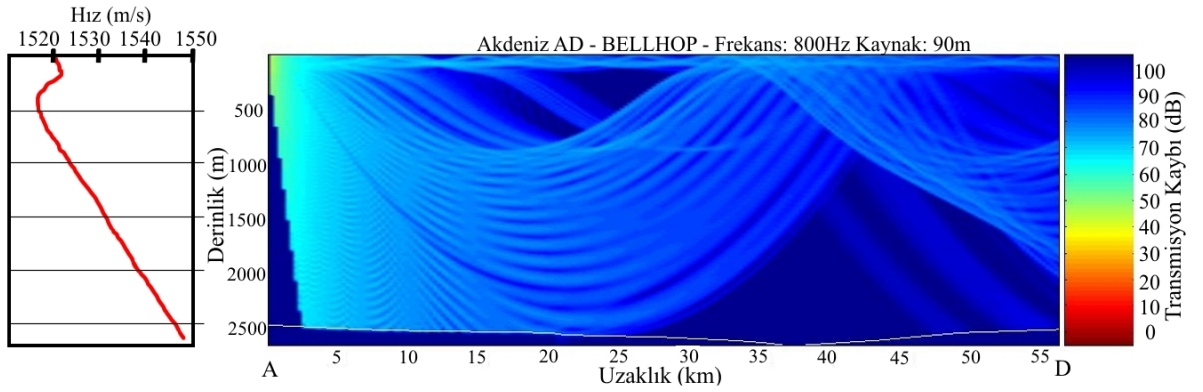
Şekil 26. A-D hattı için Bellhop modeliyle değişik frekanslarda hesaplanan transmisyon kayıplarının karşılaştırması



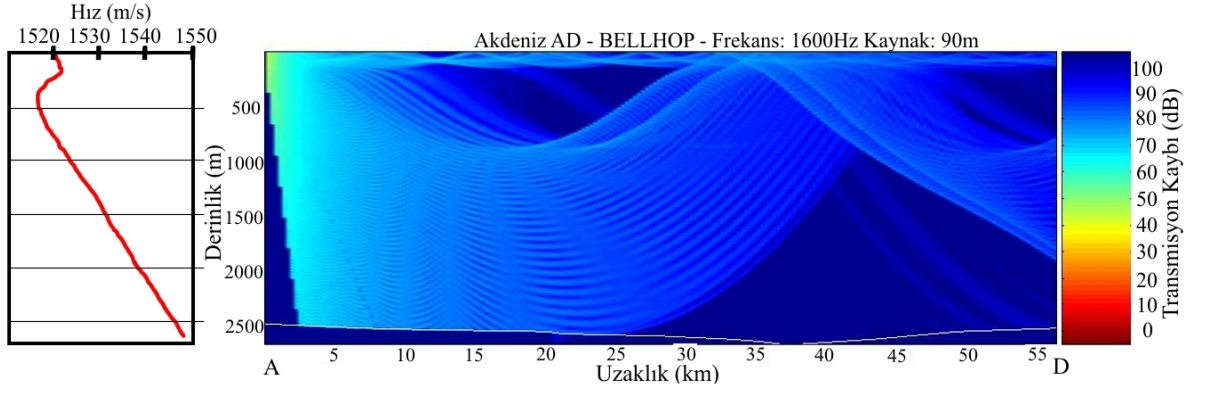
Şekil 27. A-D hattında 200Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop modeliyle benzetimi ve A-D hattının hız - derinlik grafiği.



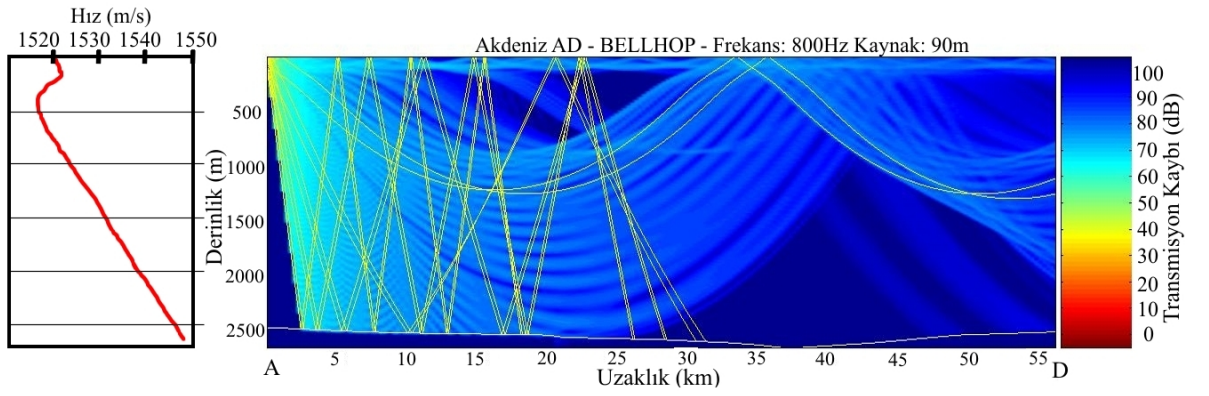
Şekil 28. A-D hattında 400Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop modeliyle benzetimi ve A-D hattının hız - derinlik grafiği.



Şekil 29. A-D hattında 800Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop modeliyle benzetimi ve A-D hattının hız - derinlik grafiği.



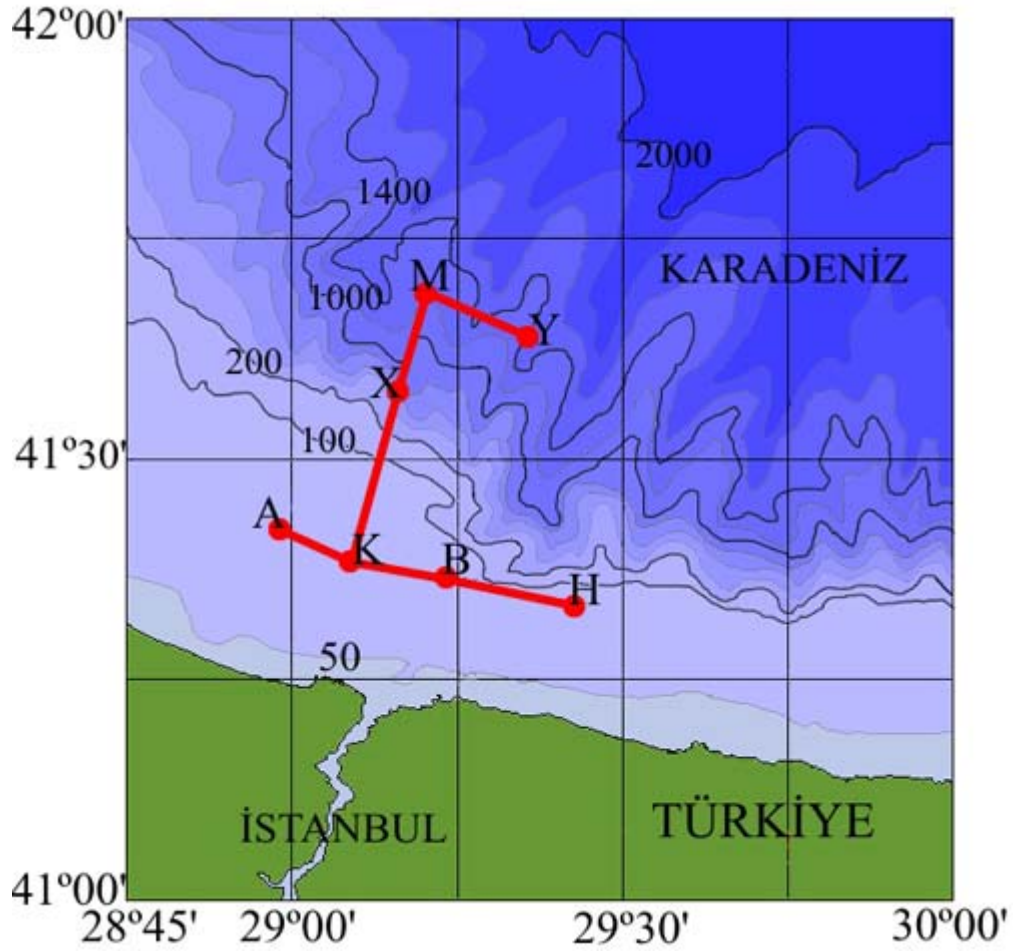
Şekil 30. A-D hattında 1600Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop modeliyle benzetimi ve A-D hattının hız - derinlik grafiği.



Şekil 31. Akdeniz A-D hattında Bellhop modeliyle hesaplanan ışın yolları.

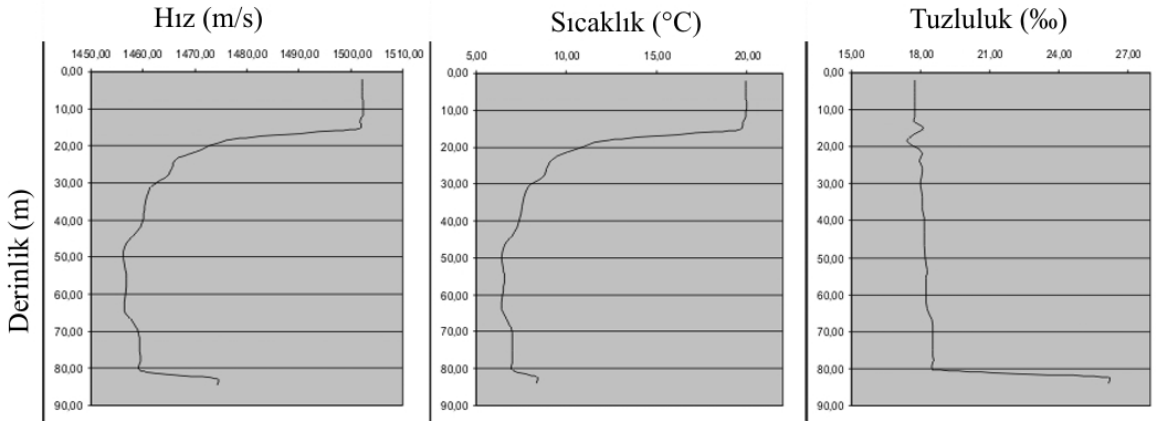
4.2 Karadeniz Uygulaması

NURC ve SHOD'un Karadeniz'de düzenlediği ortak projesi sırasında Şekil 32'de görülen K-A, K-H, K-M ve M-Y bölgelerinde transmisyon kayıpları ölçülmüştür. Bu tez çalışması için M-Y hattı hariç diğer üç hat seçilmiştir.

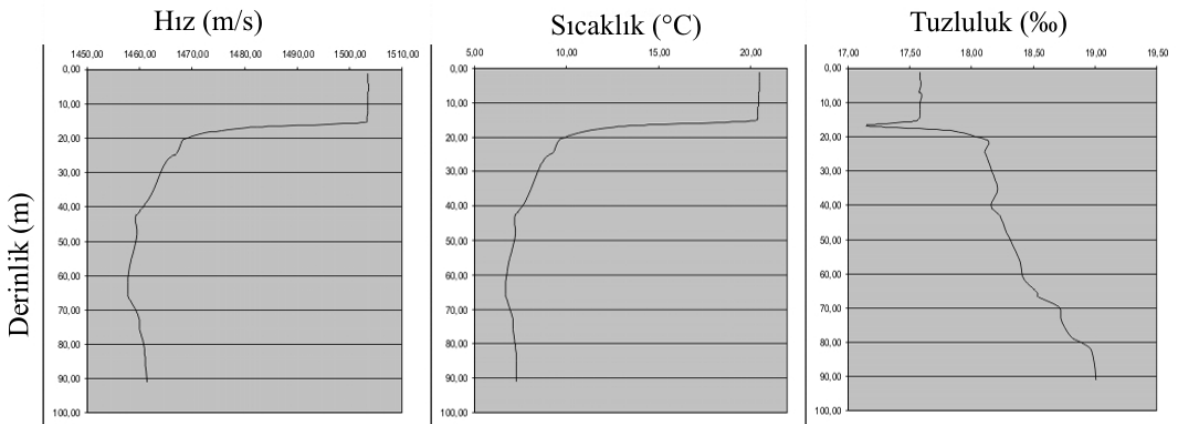


Şekil 32. Karadeniz için seçilen pilot bölge ve uygulamaların yapıldığı K-A, K-H ve K-M hatları.

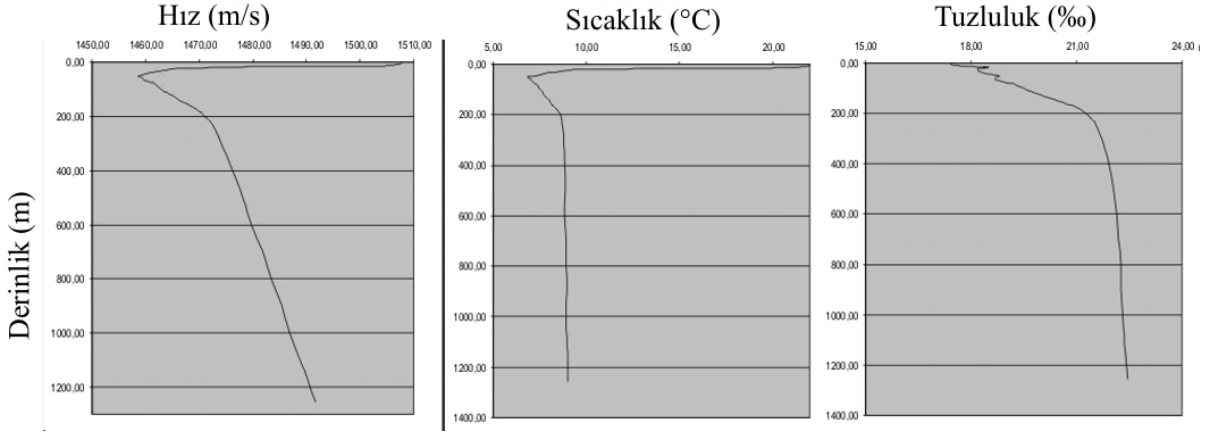
İkinci pilot bölge olarak seçilen İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışında transmisyon kayıpları, K-A, K-H, K-M hatları üzerinde Bellhop, Kraken ve RAM modelleri kullanılarak hesaplanmıştır. K-A, K-H ve K-M hatlarına ait hız, tuzluluk ve sıcaklık değerleri Şekil 33-35 de verilmiştir. Sadece K-A hattında Akdeniz suyuna tam olarak ve 80 metrede girilmiştir. Hesaplamalar yapılırken çıkan sonuçları NURC ve SHOD'un 12 Haziran – 12 Temmuz 1996 tarihleri arasında yaptıkları çalışma sırasında ölçülen değerlerle karşılaştırabilmek için, arazi ölçümlerinde kullanılan frekans, kaynak derinliği ve alıcı derinliği değerleri kullanılmıştır (Şekil 36 – 52). Bu değerler; Akdeniz örneğinden farklı olarak kaynak derinliği için 18, alıcı derinliği için ise 75 metredir. Frekans değerleri ise; 50, 200, 400, 1000, 1600 ve 2000Hz olarak alınmıştır. Karadeniz'deki çalışma sahasının dip yapısı Akdeniz'dekinin tersine kumludur ve uygulanan modellerde ses hızı için 1700 m/s, yoğunluk için 2.0 g/cm³, akustik soğrulma için ise 0.5 dB/m/kHz değerleri kullanılmıştır.



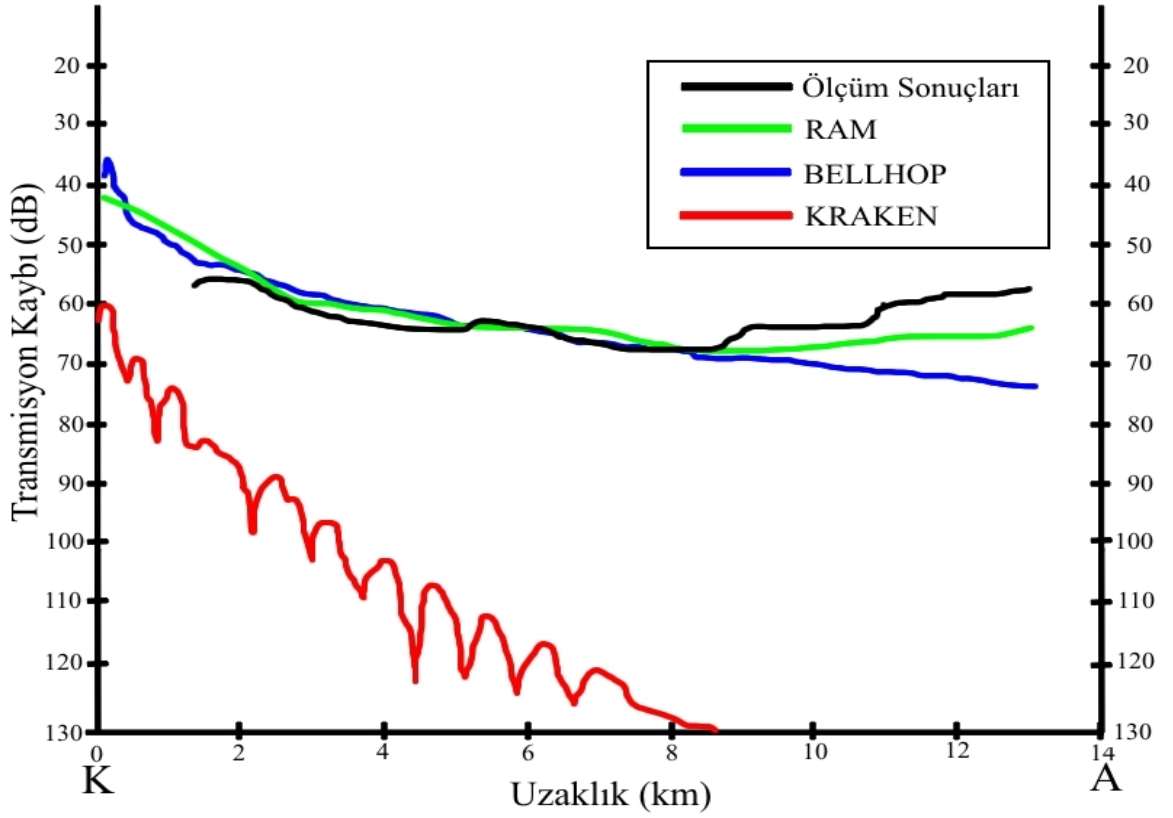
Şekil 33. K-A hattına ait ölçülen hız, sıcaklık ve tuzluluk değerleri



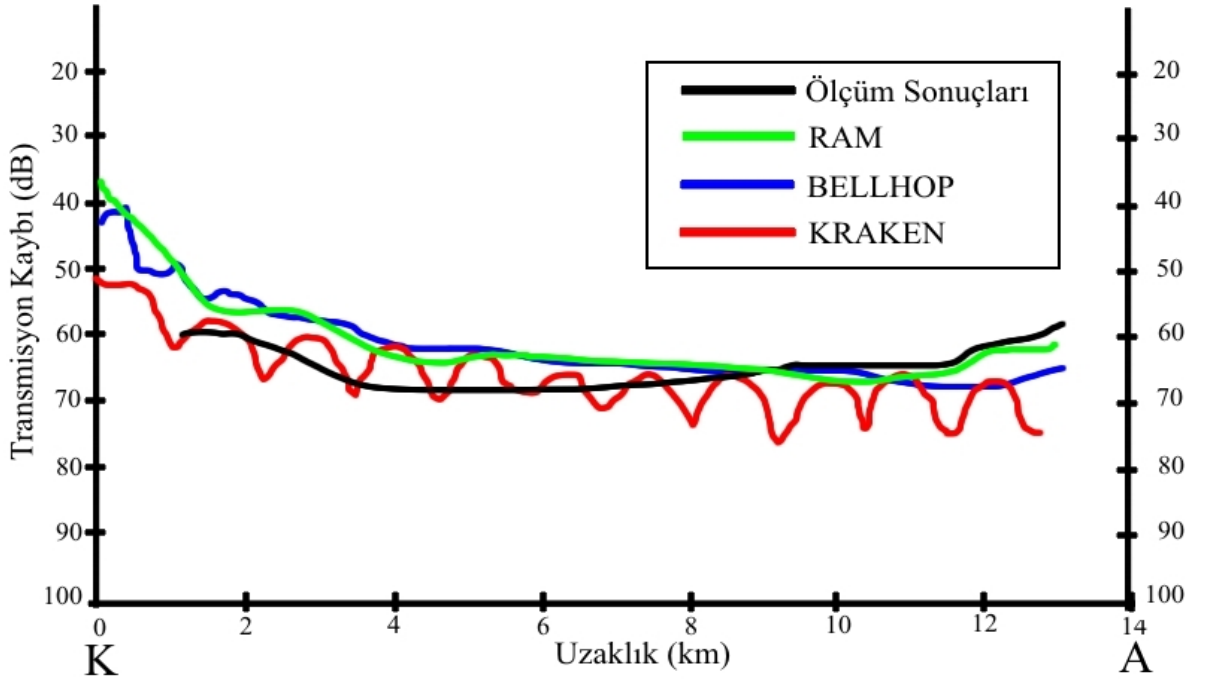
Şekil 34. K-H hattına ait ölçülen hız, sıcaklık ve tuzluluk değerleri



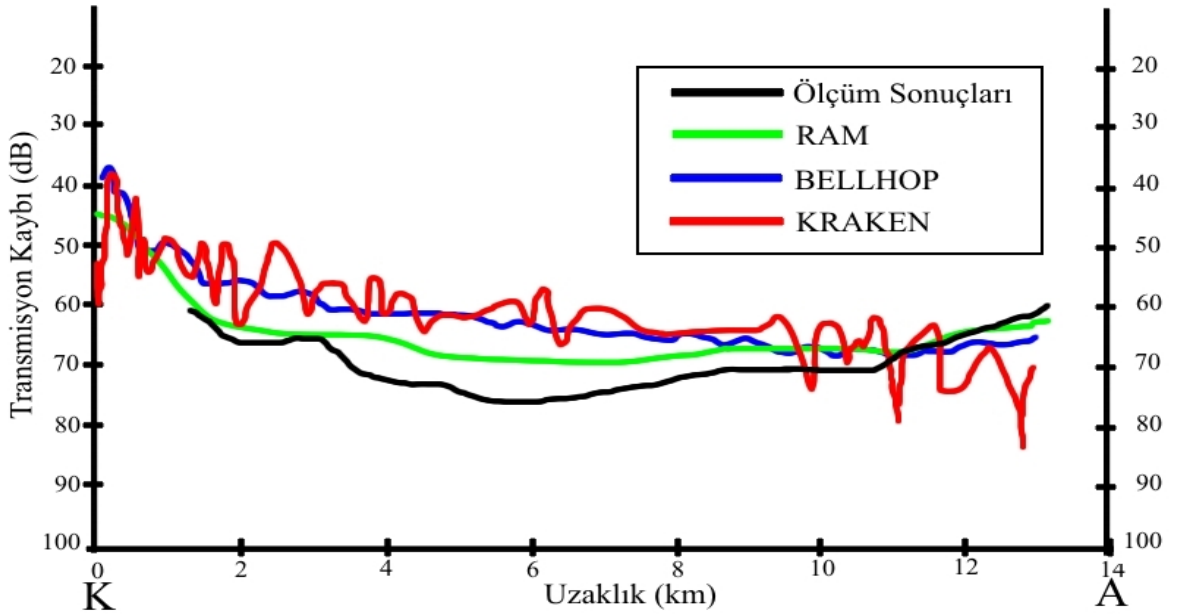
Şekil 35. K-M hattına ait ölçülen hız, sıcaklık ve tuzluluk değerleri



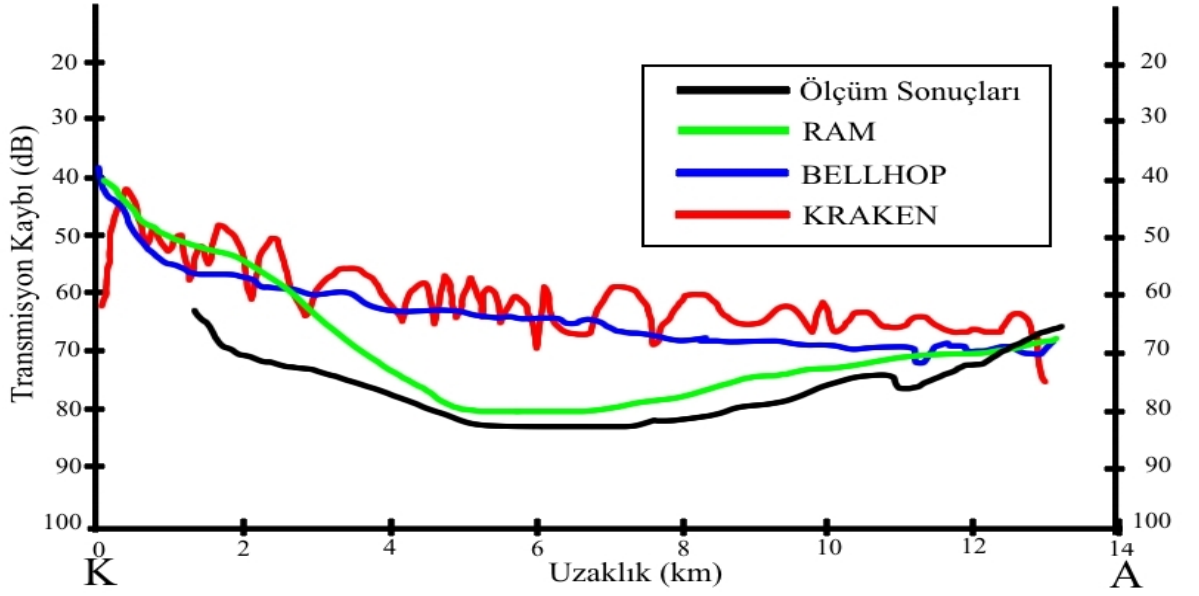
Şekil 36. K-A hattında, 50 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.



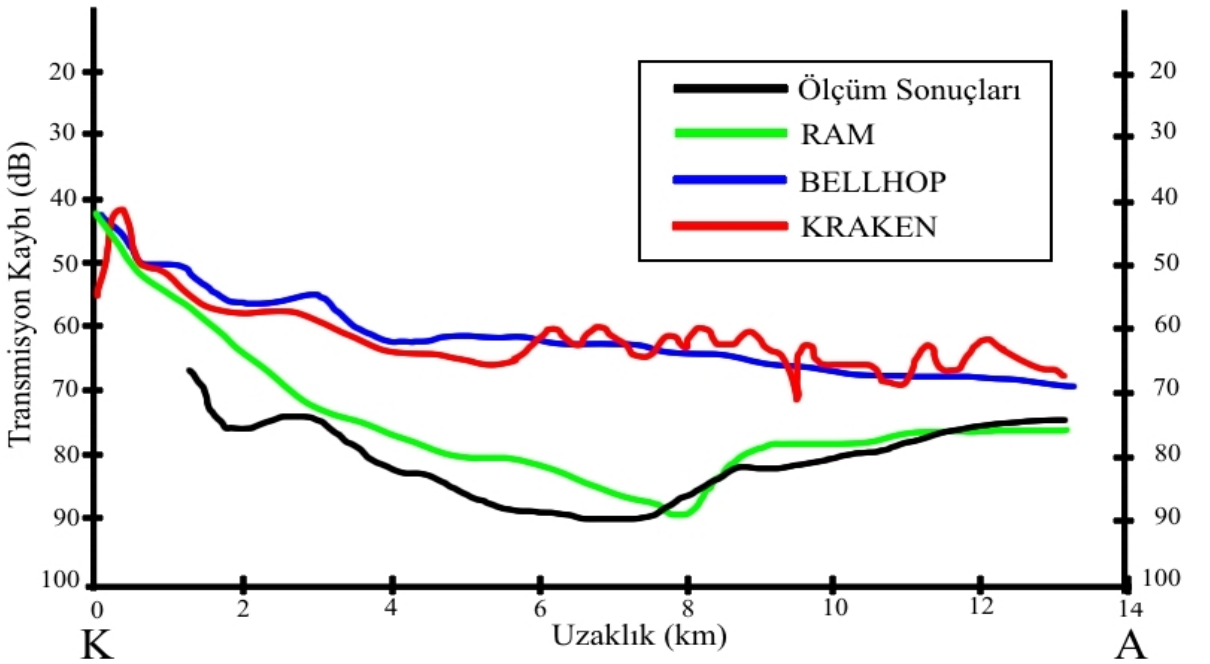
Şekil 37. K-A hattında, 200 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.



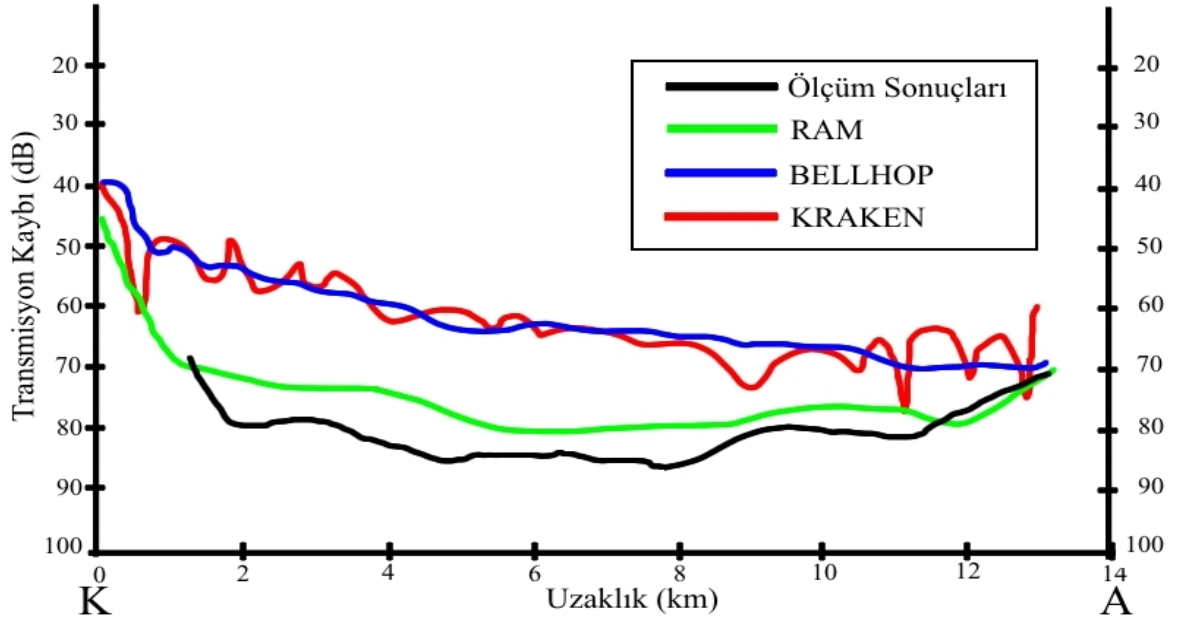
Şekil 38. K-A hattında, 400 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.



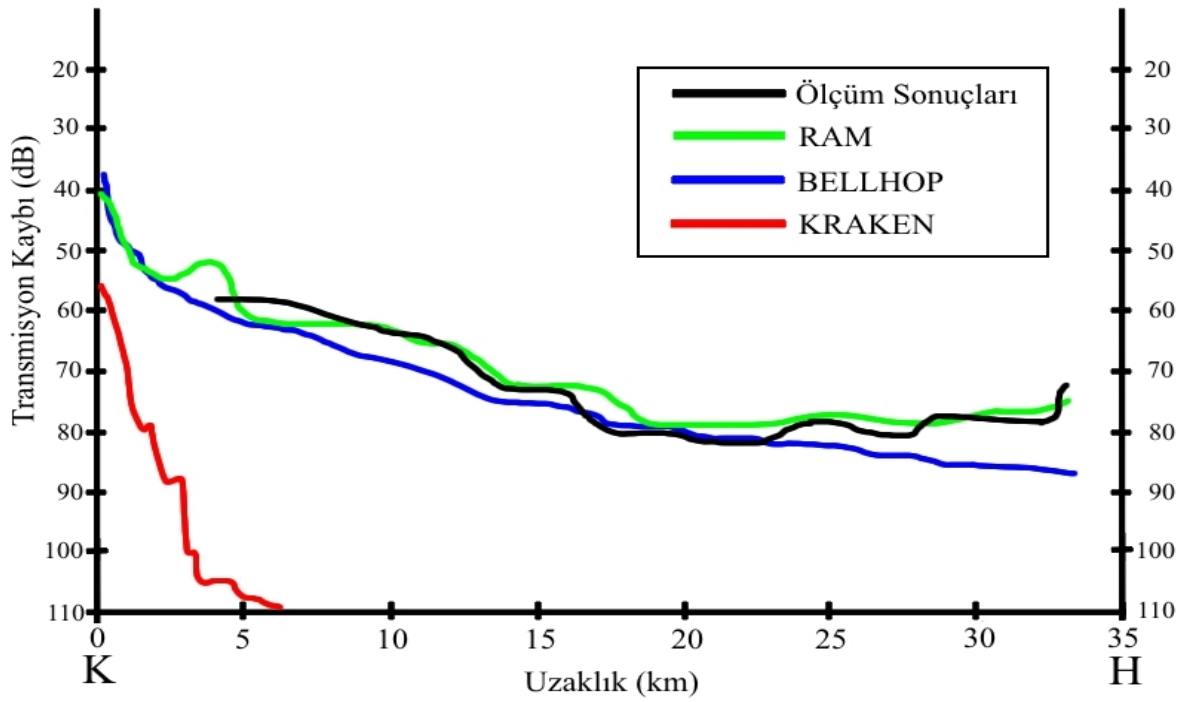
Şekil 39. K-A hattında, 1000 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.



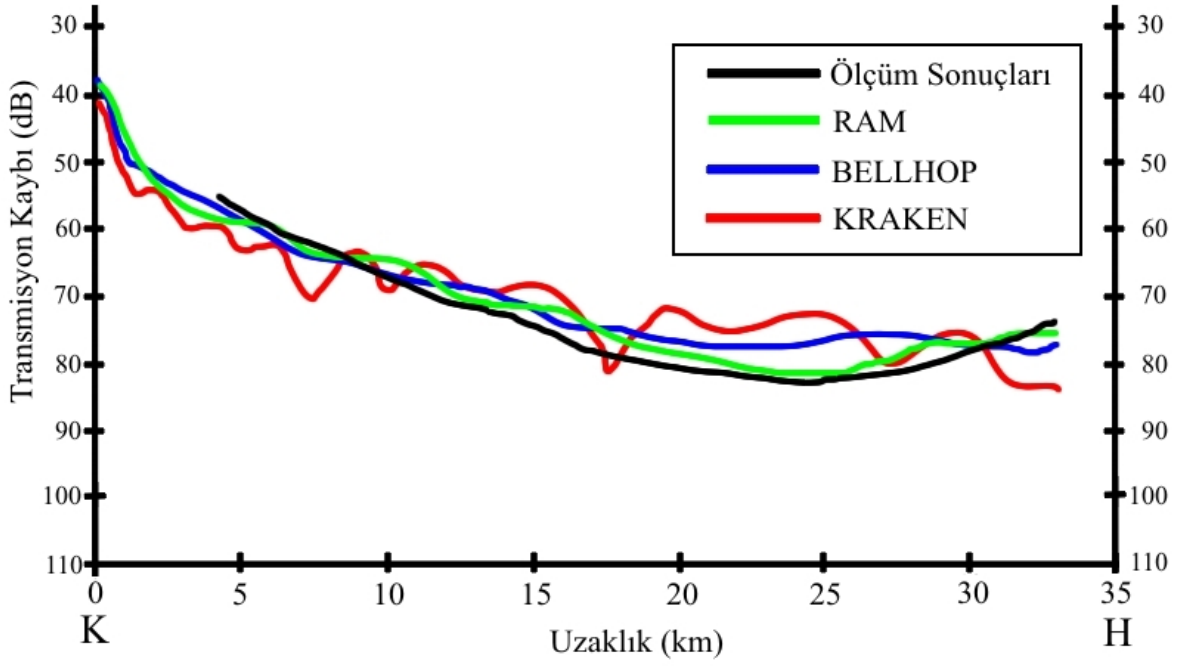
Şekil 40. K-A hattında, 1600 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.



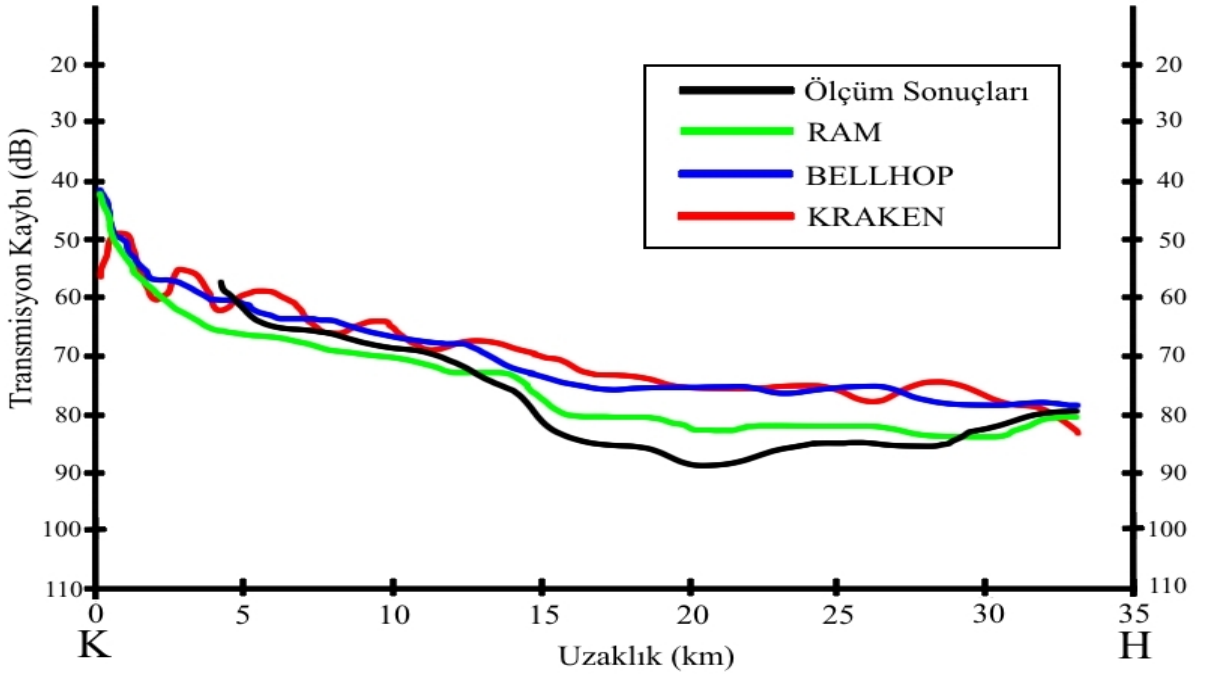
Şekil 41. K-A hattında, 2000 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.



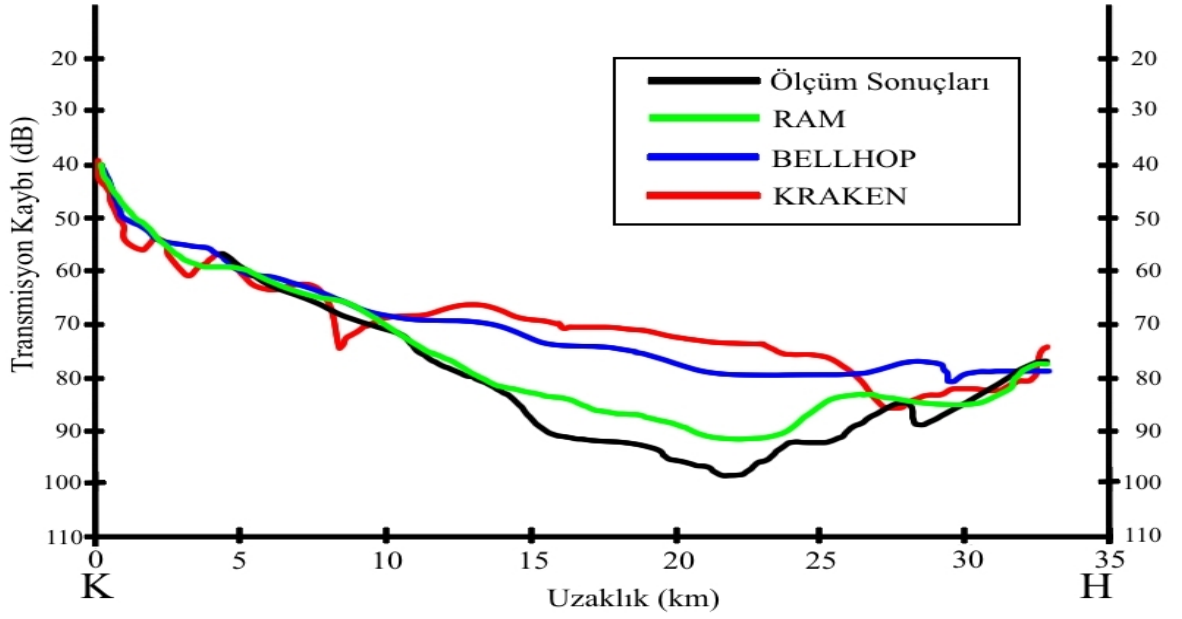
Şekil 42. K-H hattında, 50 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.



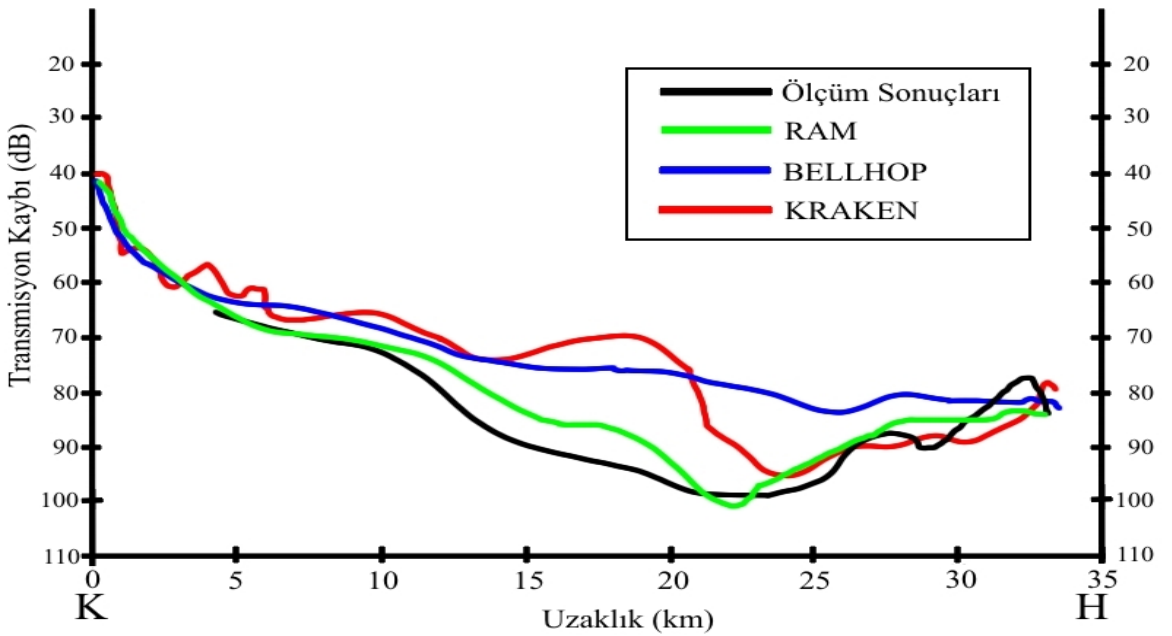
Şekil 43. K-H hattında, 200 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.



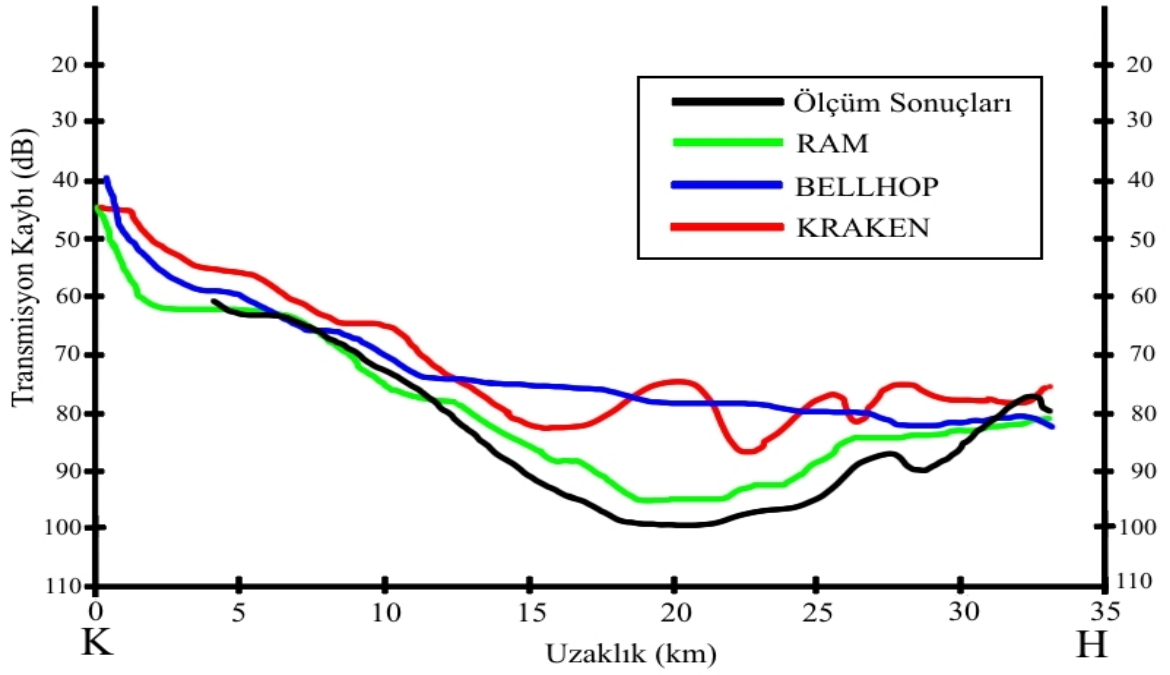
Şekil 44. K-H hattında, 400 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.



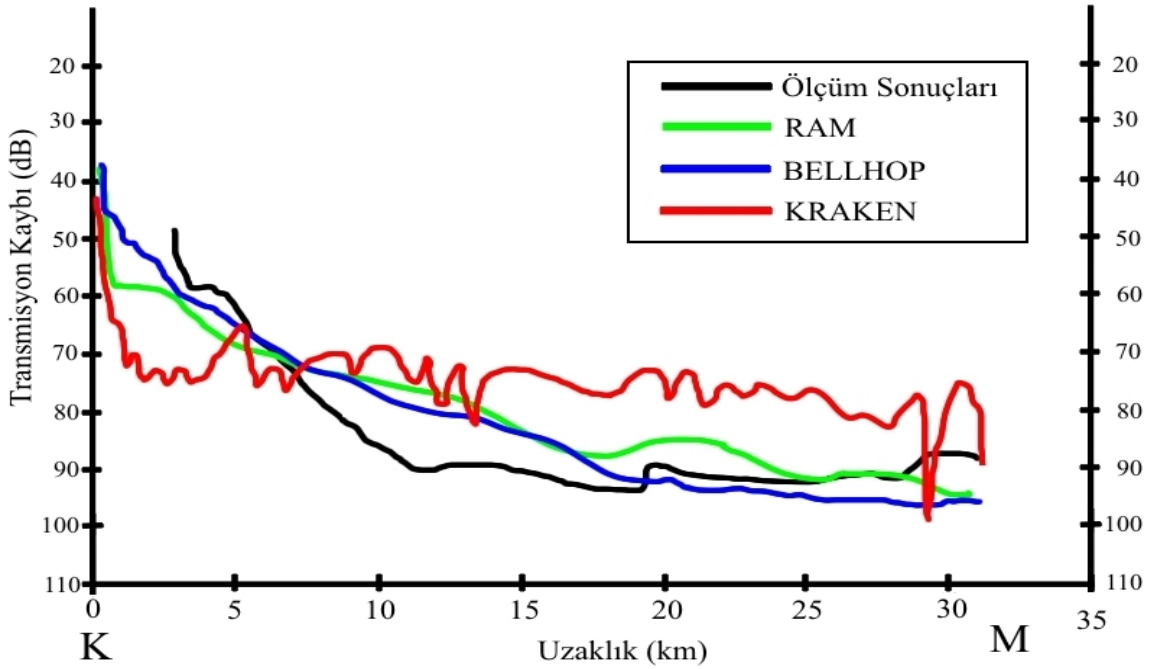
Şekil 45. K-H hattında, 1000 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.



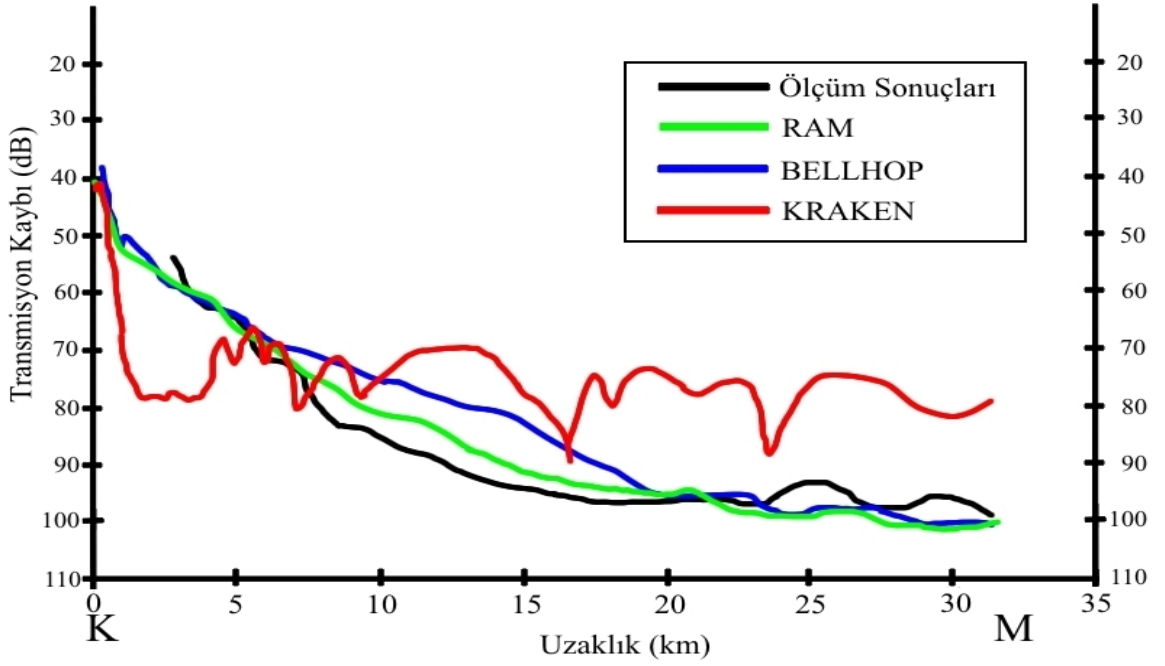
Şekil 46. K-H hattında, 1600 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.



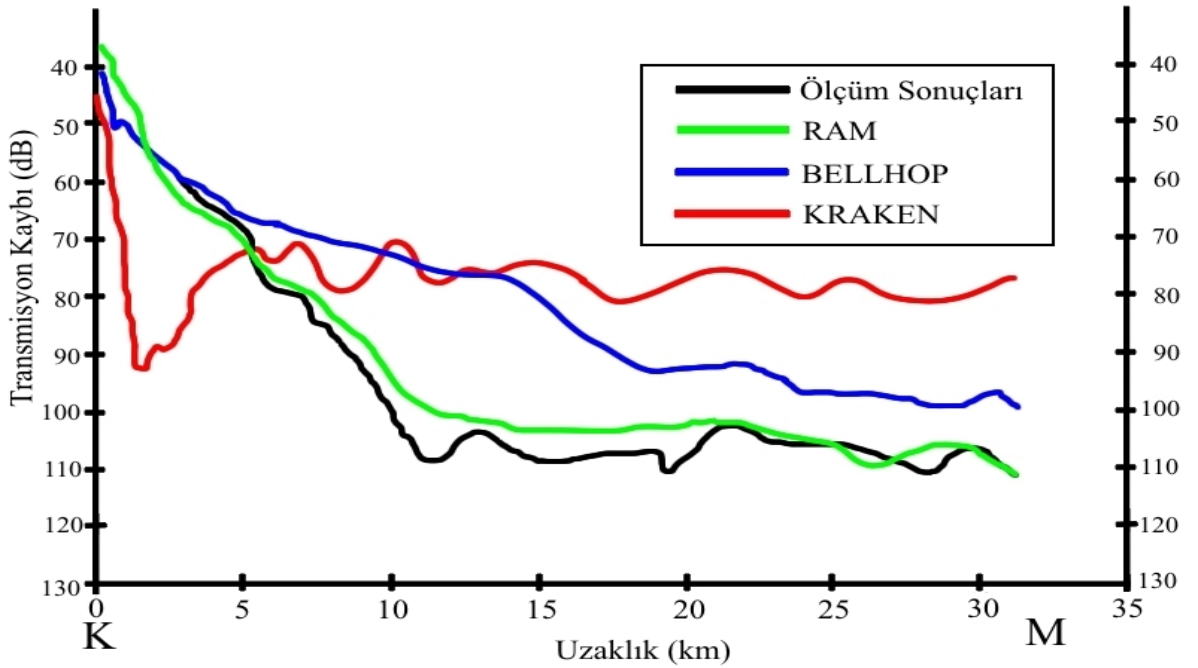
Şekil 47. K-H hattında, 2000 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.



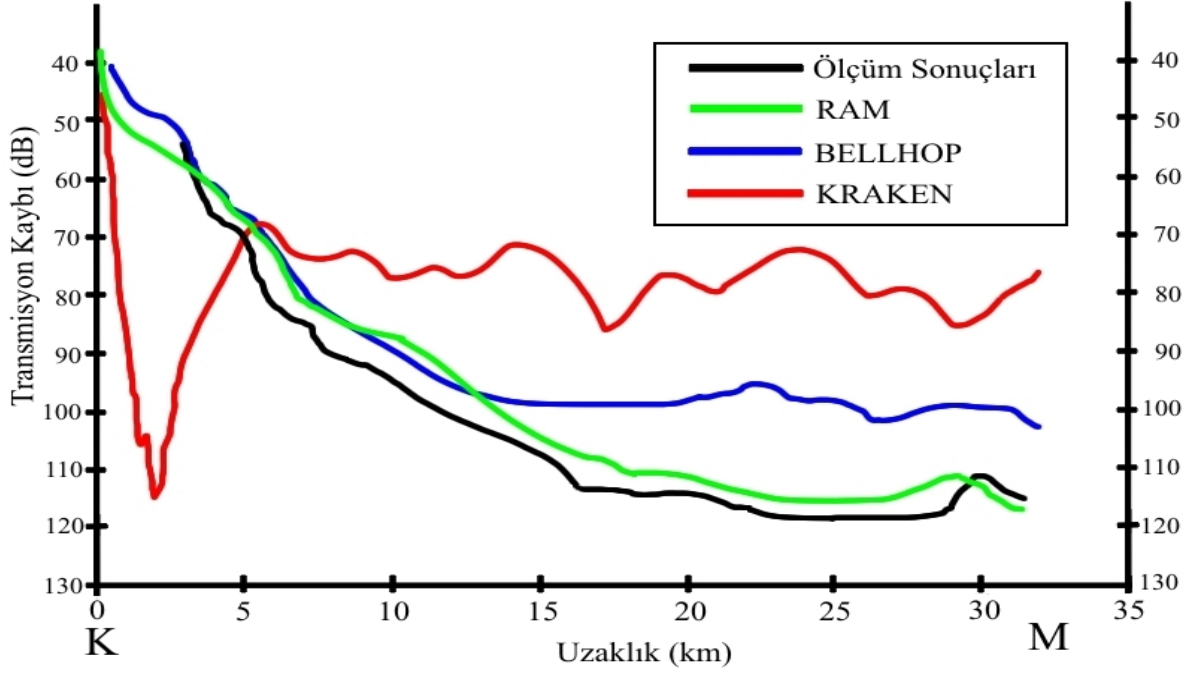
Şekil 48. K-M hattında, 50 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.



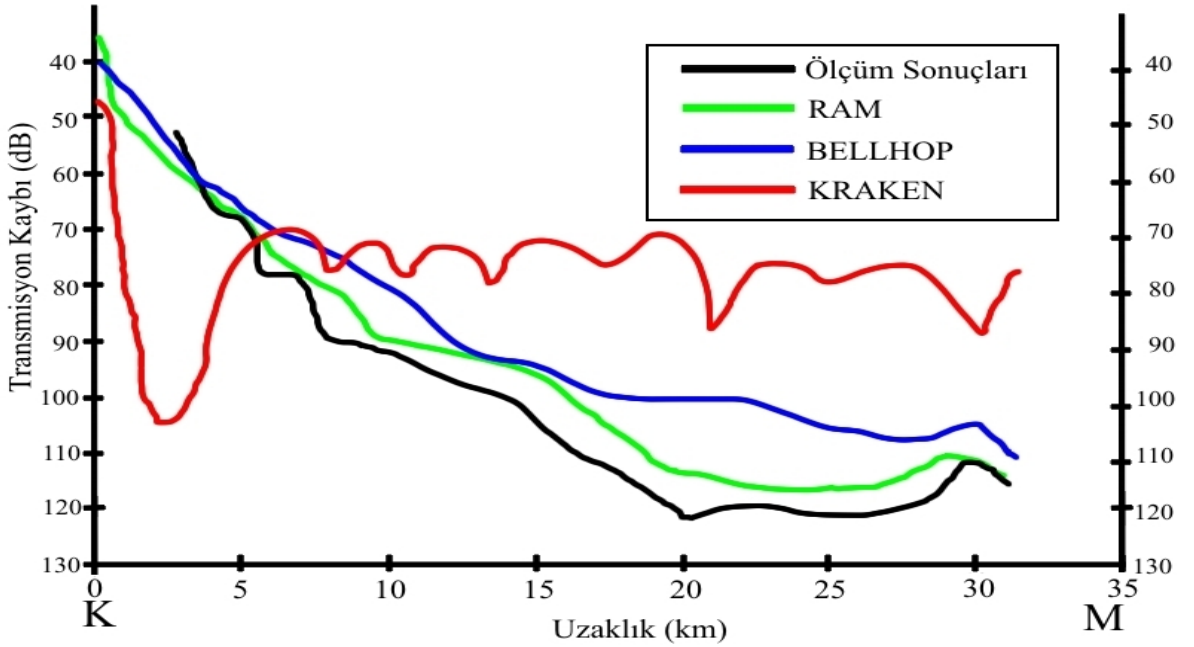
Şekil 49. K-M hattında, 200 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.



Şekil 50. K-M hattında, 400 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.

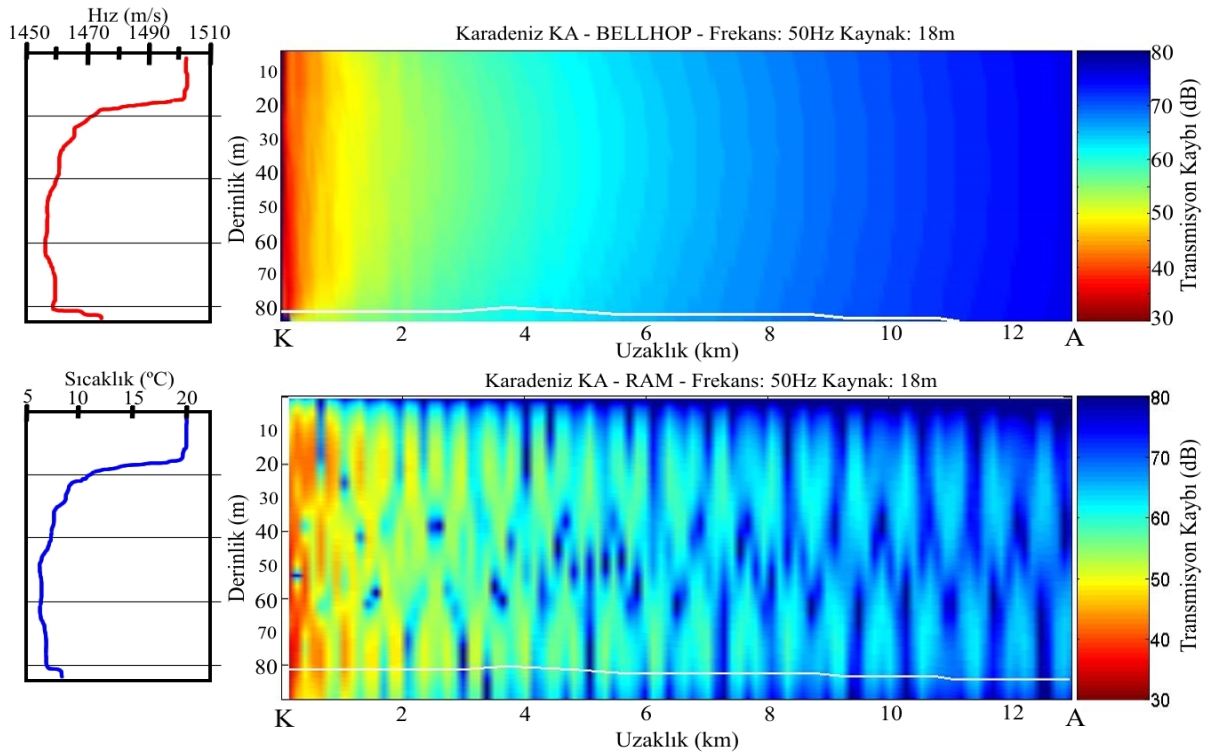


Şekil 51. K-M hattında, 1000 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.

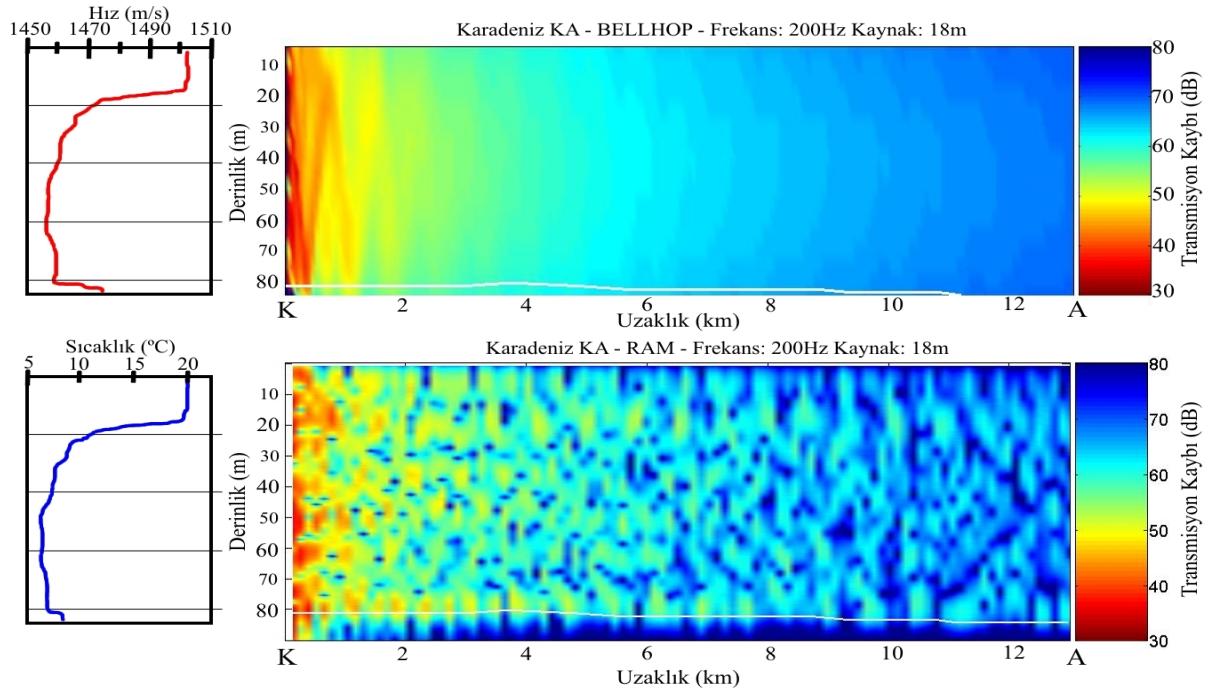


Şekil 52. K-M hattında, 1600 Hz frekansı için Kraken, Bellhop ve RAM modelleriyle hesaplanan transmisyon kayıplarının saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.

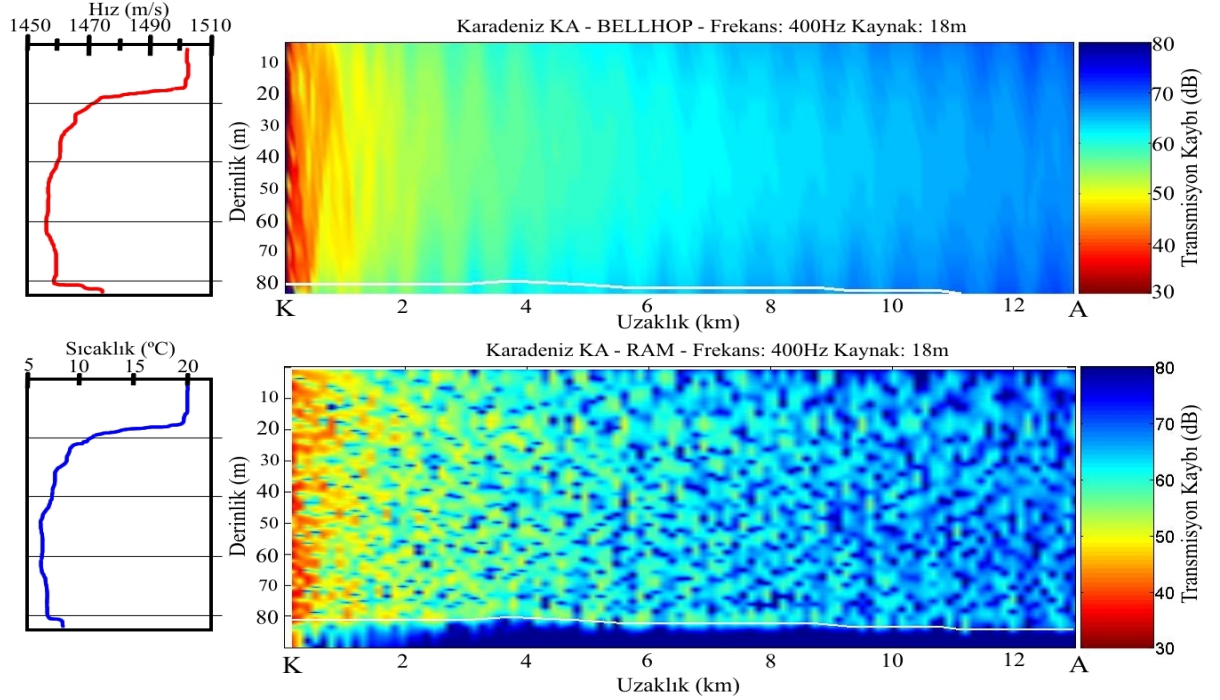
Karadeniz’deki bu üç hat için yapılan karşılaştırmalar sonucunda, RAM modelinin bu bölge için diğer iki modele göre çok daha başarılı olduğu görülmektedir. Kraken modelinin ise; İstanbul Boğazı çıkışı için sığ suda başarısız olduğu görülmektedir. Özellikle Şekil 36 ve 42’de görüldüğü gibi düşük frekansta (50 Hz) K-A ve K-H hatlarında model çalışırken hata vermiştir. Alıcı derinliğinin 75 m olduğu durumlar için karşılaştırmaları gördükten sonra, Bellhop ve RAM modelleriyle her üç hat için de farklı frekanslarda transmisyon kayıpları benzetimleri yapılmıştır (Şekil 53- 69). Bu şekillerde, hatta ait hız-derinlik ve sıcaklık-derinlik grafikleri sol tarafta, transmisyon kaybı ölçekleri ise sağ tarafta verilmiştir. Transmisyon kaybı ölçekleri dB cinsinden olup; K-A hattı için 30 ile 80 dB, K-H hattı için 35 ile 85 dB ve K-M hattı için 40 ile 110 dB arasındadır. İki modelin sonuçlarının da görüldüğü bu grafiklerde; bir ışın teorisi modeli olan Bellhop ile, bir parabolik eşitlik modeli olan RAM arasındaki farklar da görülmektedir.



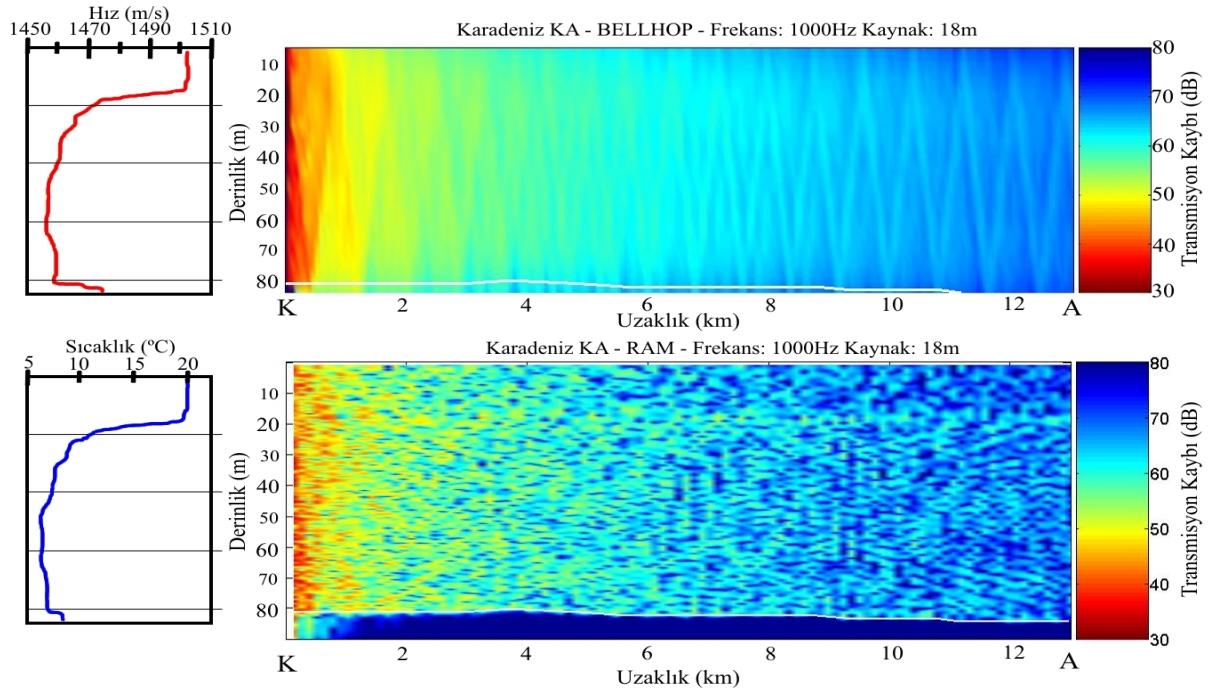
Şekil 53. K-A hattında 50Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-A hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.



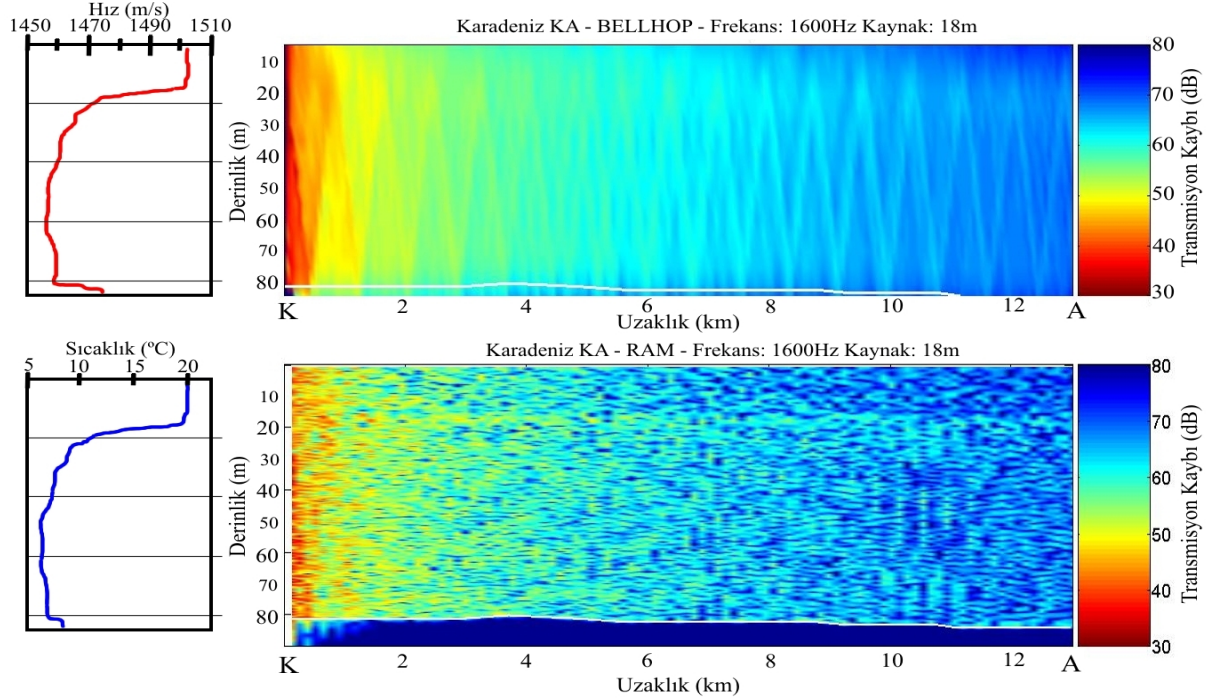
Şekil 54. K-A hattında 200Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-A hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.



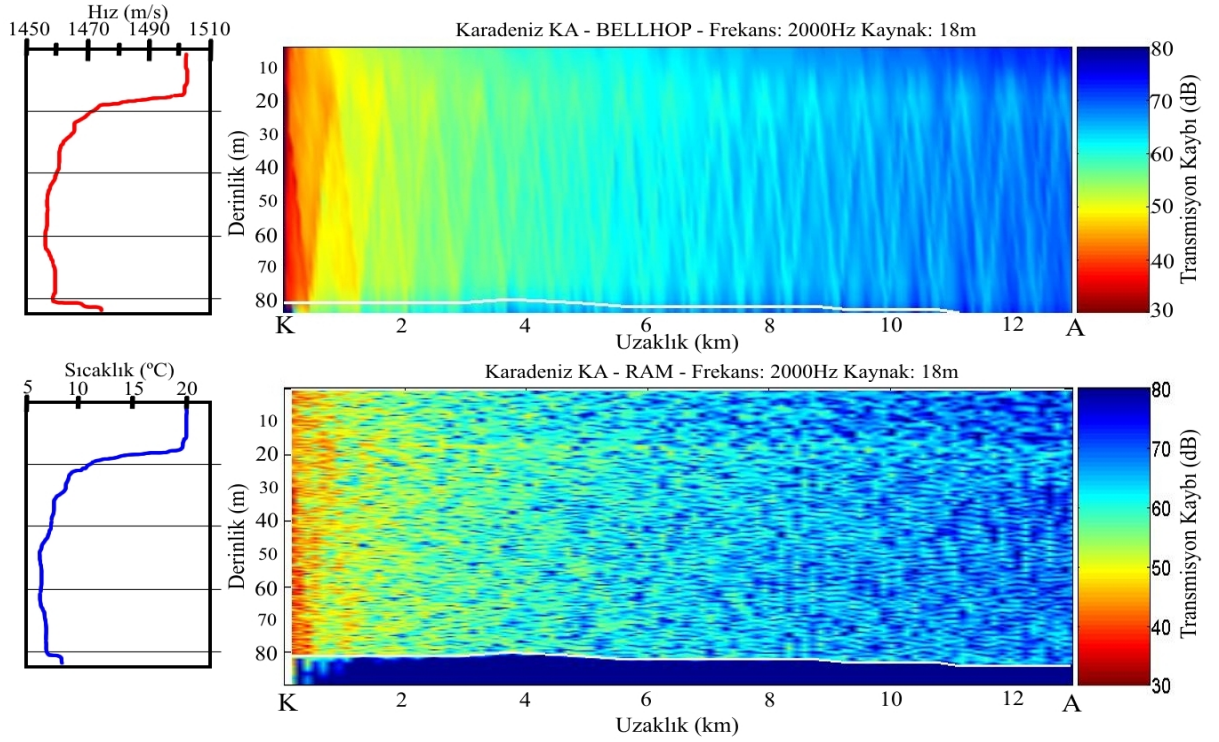
Şekil 55. K-A hattında 400Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-A hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.



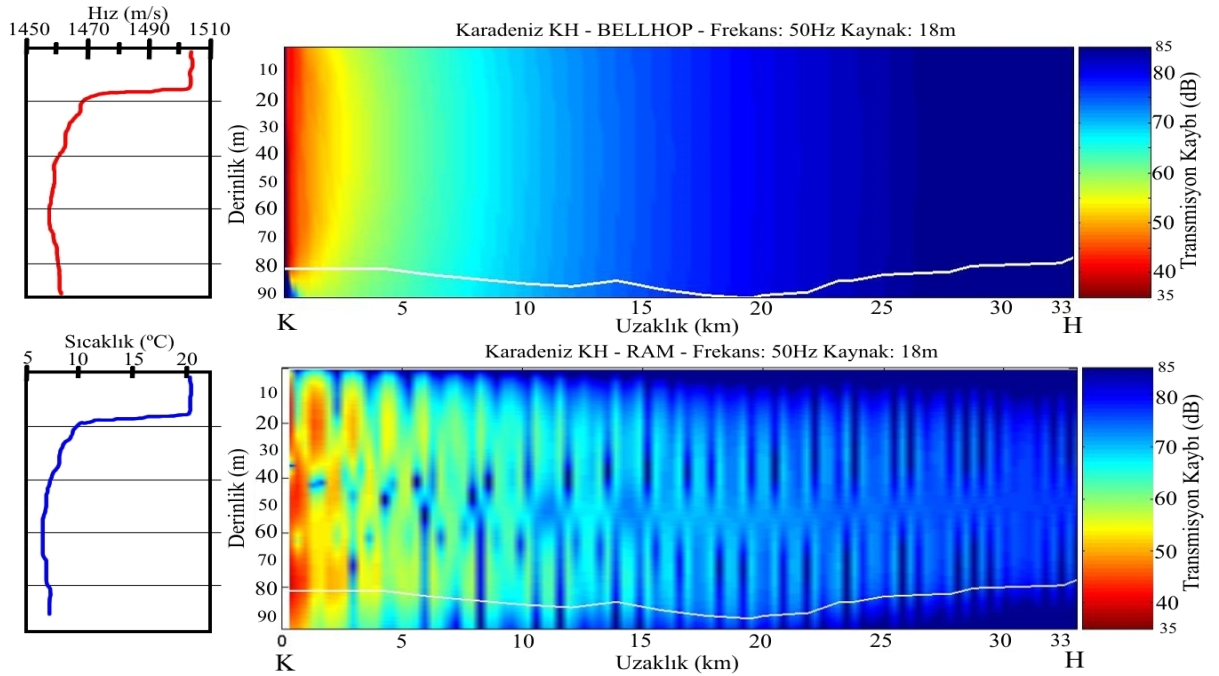
Şekil 56. K-A hattında 1000Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-A hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.



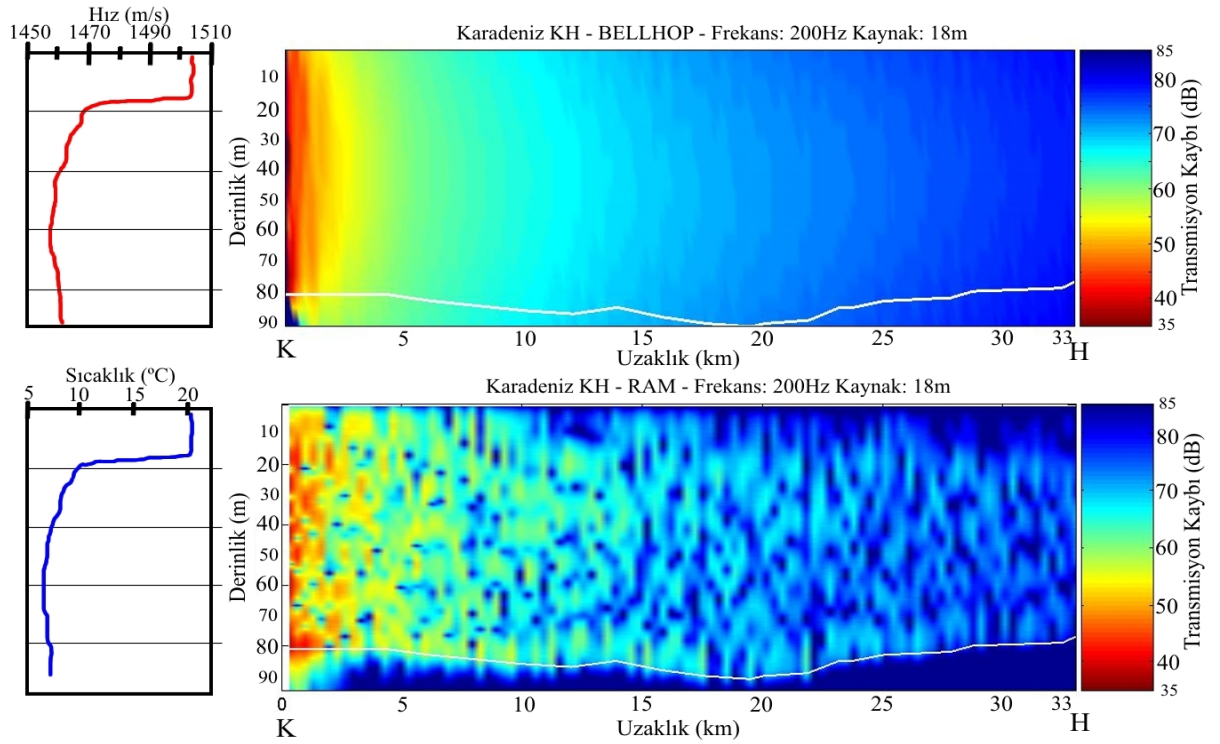
Şekil 57. K-A hattında 1600Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-A hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.



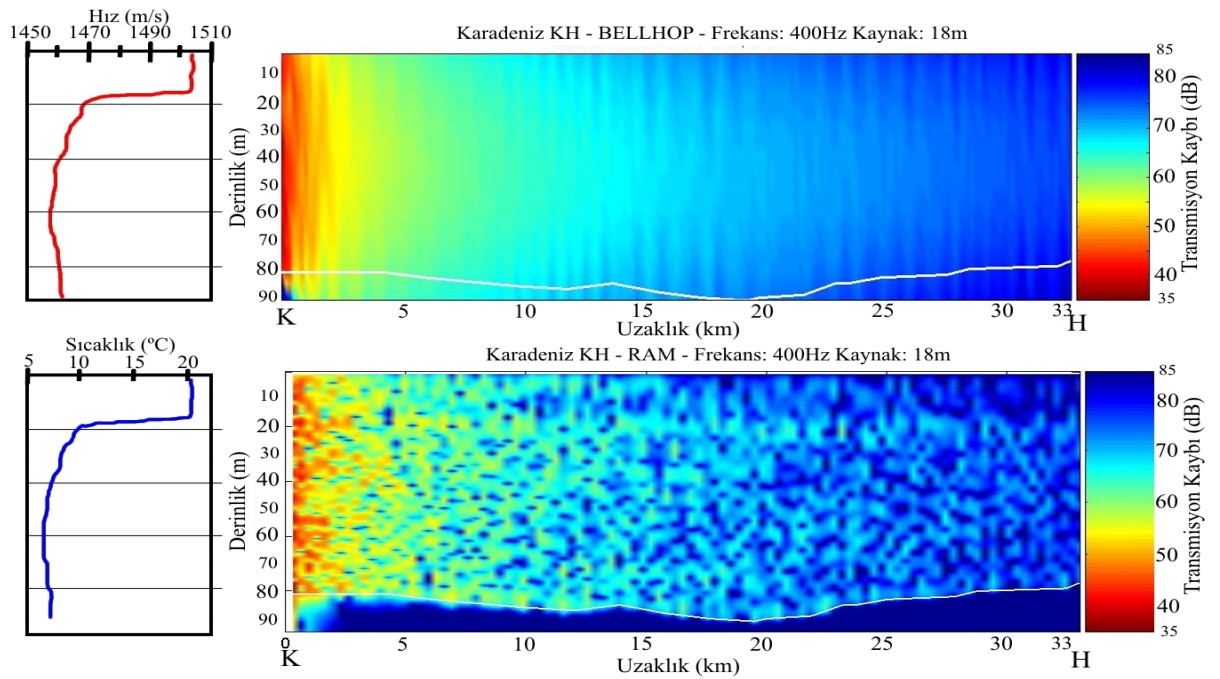
Şekil 58. K-A hattında 2000Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-A hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.



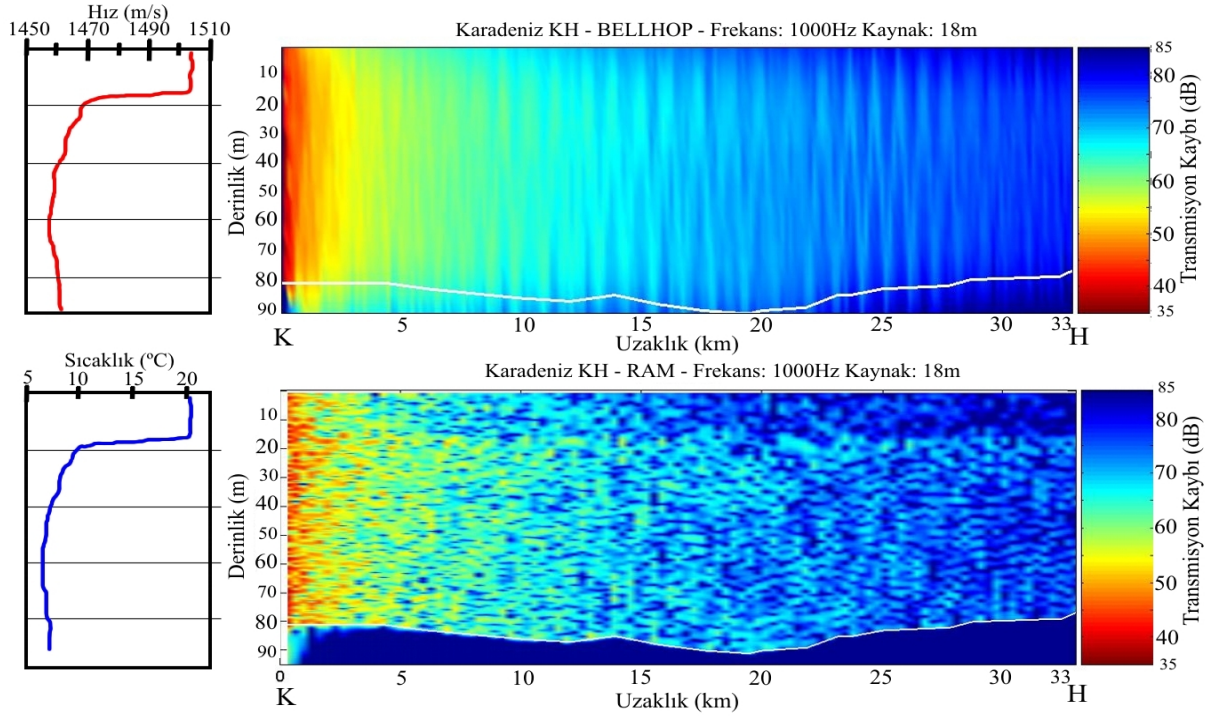
Şekil 59. K-H hattında 50Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-H hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.



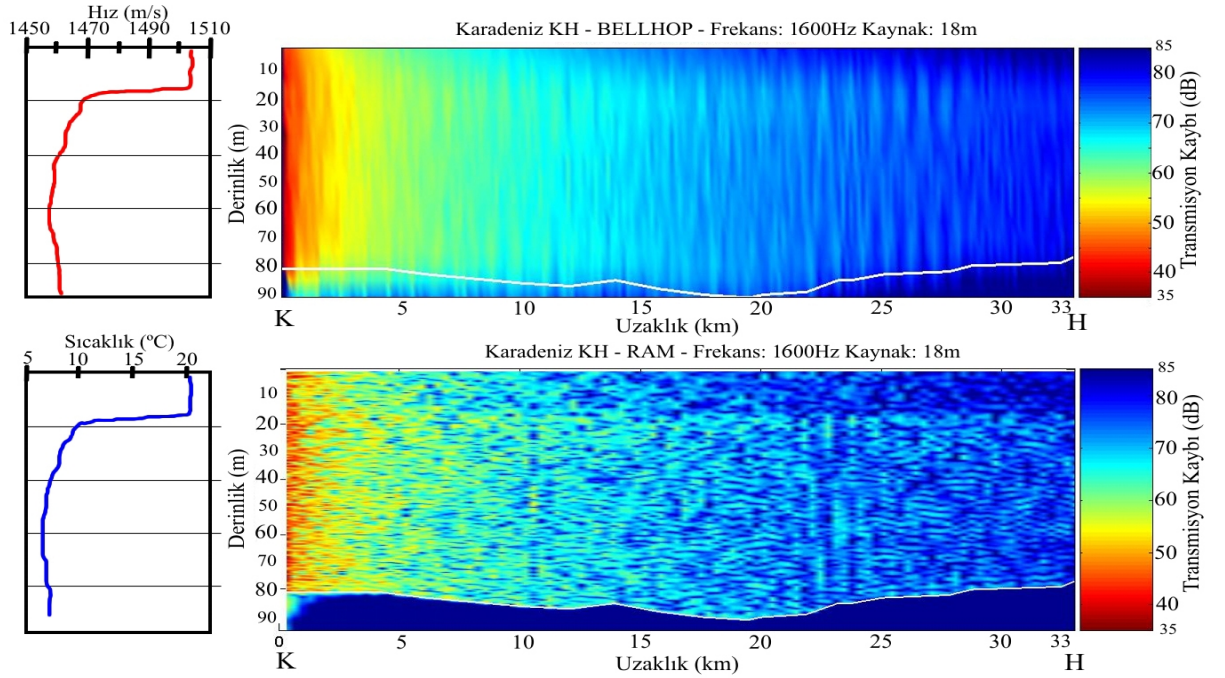
Şekil 60. K-H hattında 200Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-H hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.



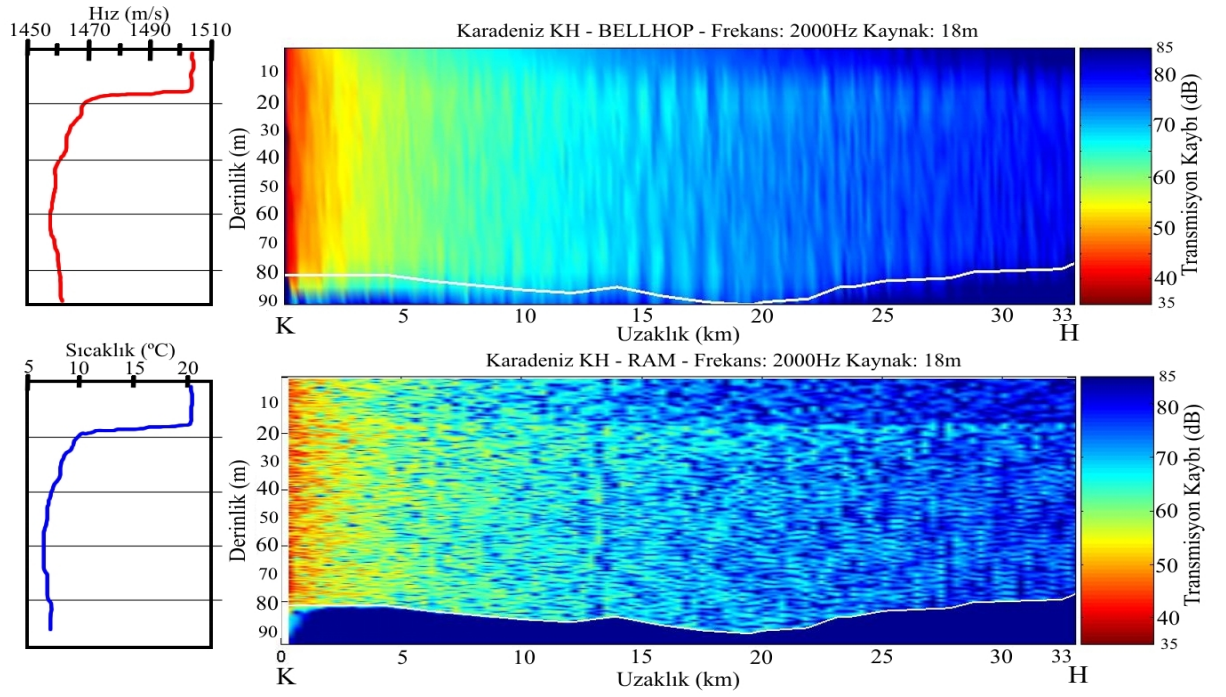
Şekil 61. K-H hattında 400Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-H hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.



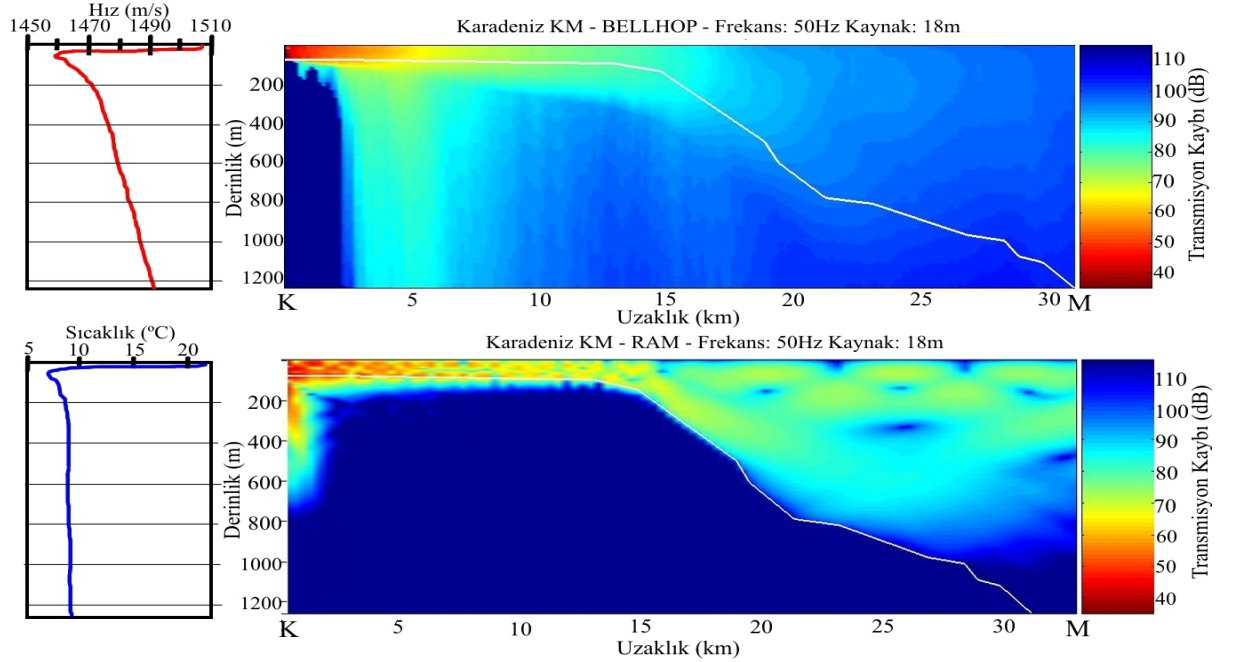
Şekil 62. K-H hattında 1000Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-H hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.



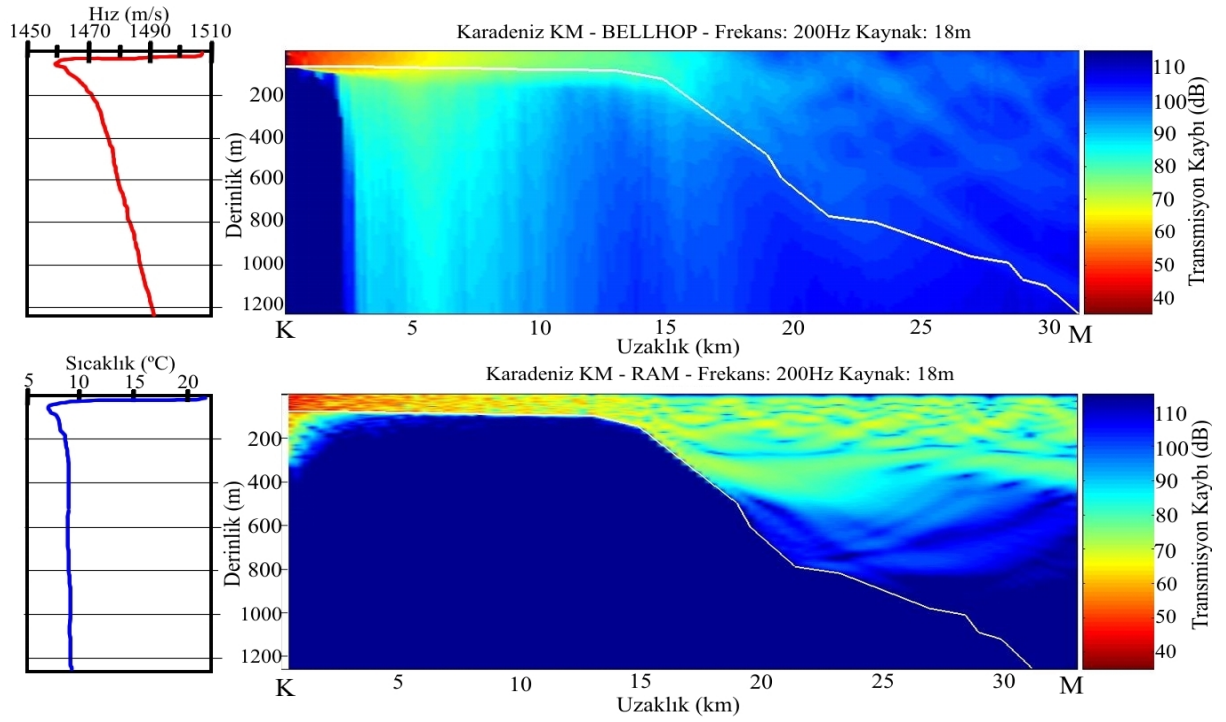
Şekil 63. K-H hattında 1600Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-H hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.



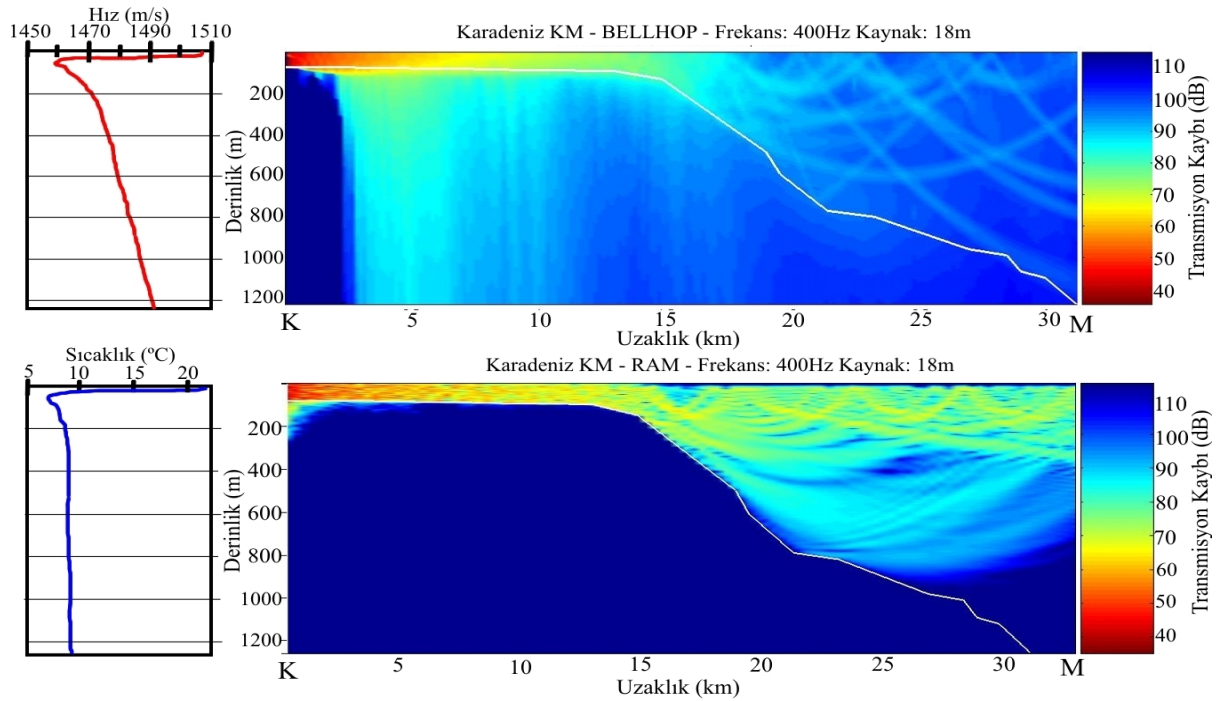
Şekil 64. K-H hattında 2000Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-H hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.



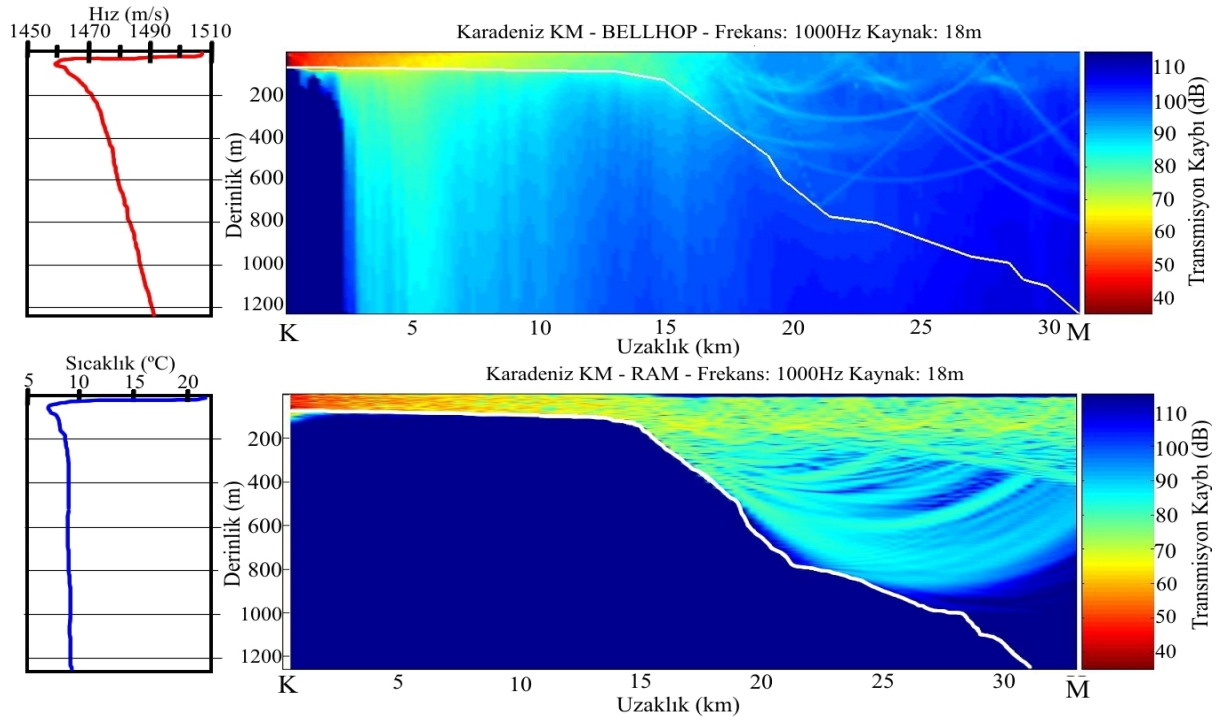
Şekil 65. K-M hattında 50Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-M hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.



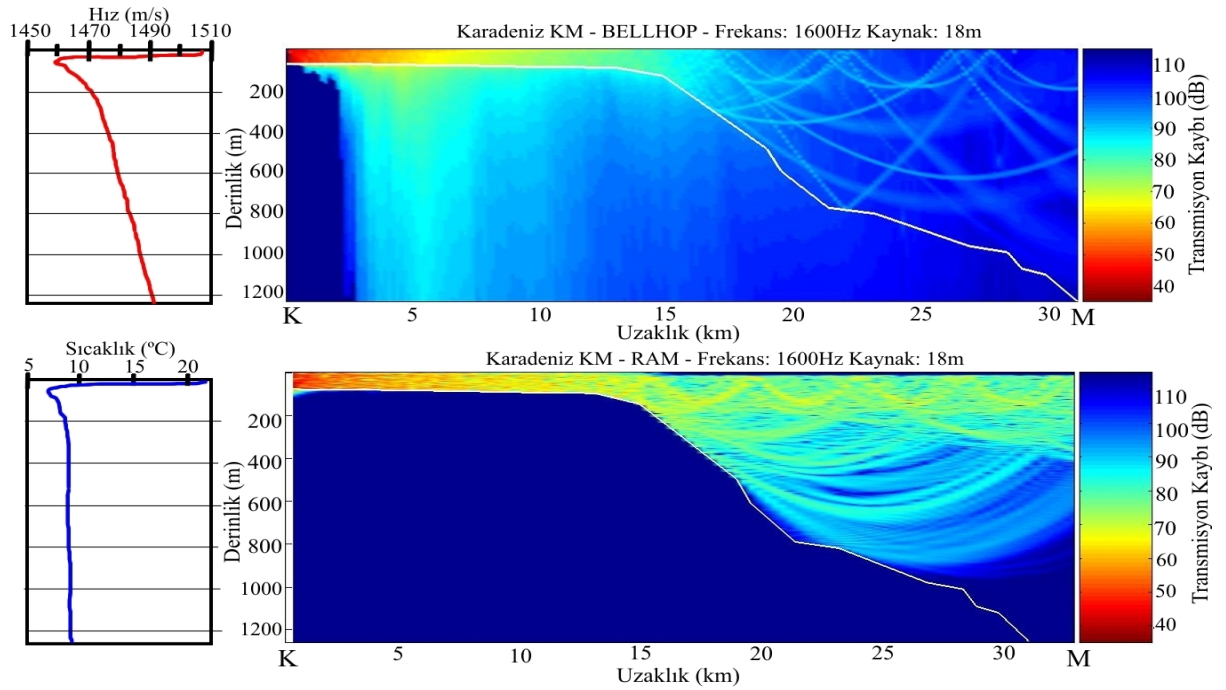
Şekil 66. K-M hattında 200Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-M hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.



Şekil 67. K-M hattında 400Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-M hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.

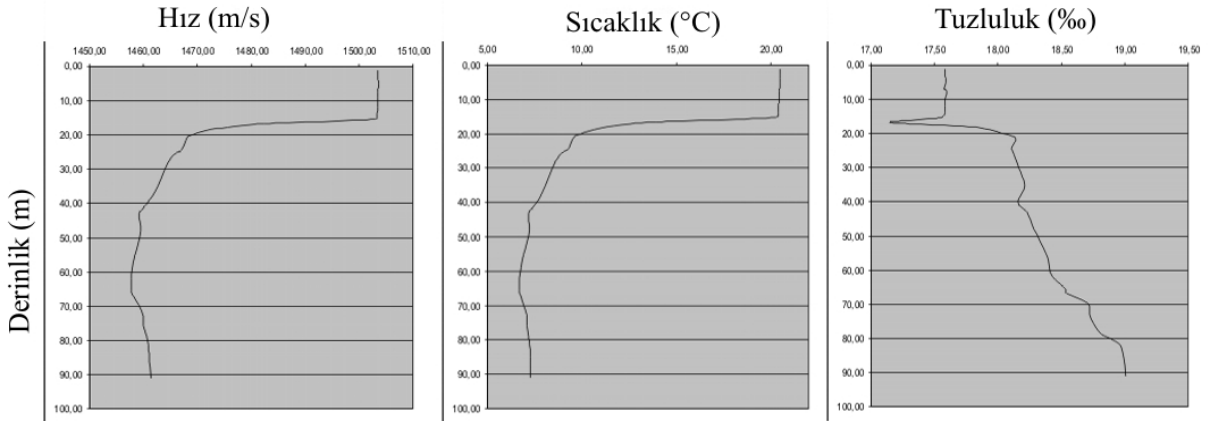


Şekil 68. K-M hattında 1000Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-M hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.

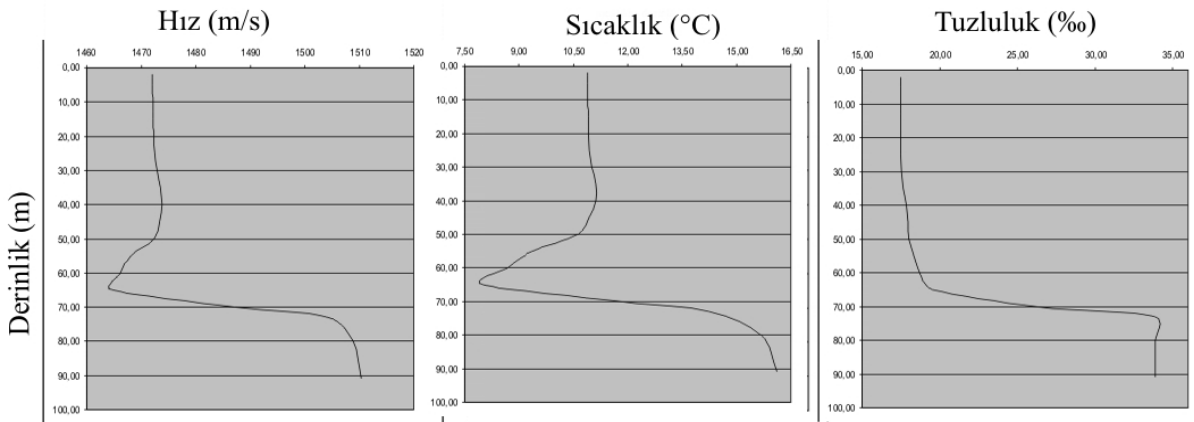


Şekil 69. K-M hattında 1600Hz frekans için transmisyon kayıplarının Bellhop ve RAM modelleriyle benzetimi ve K-M hattının hız – derinlik ve sıcaklık - derinlik grafikleri.

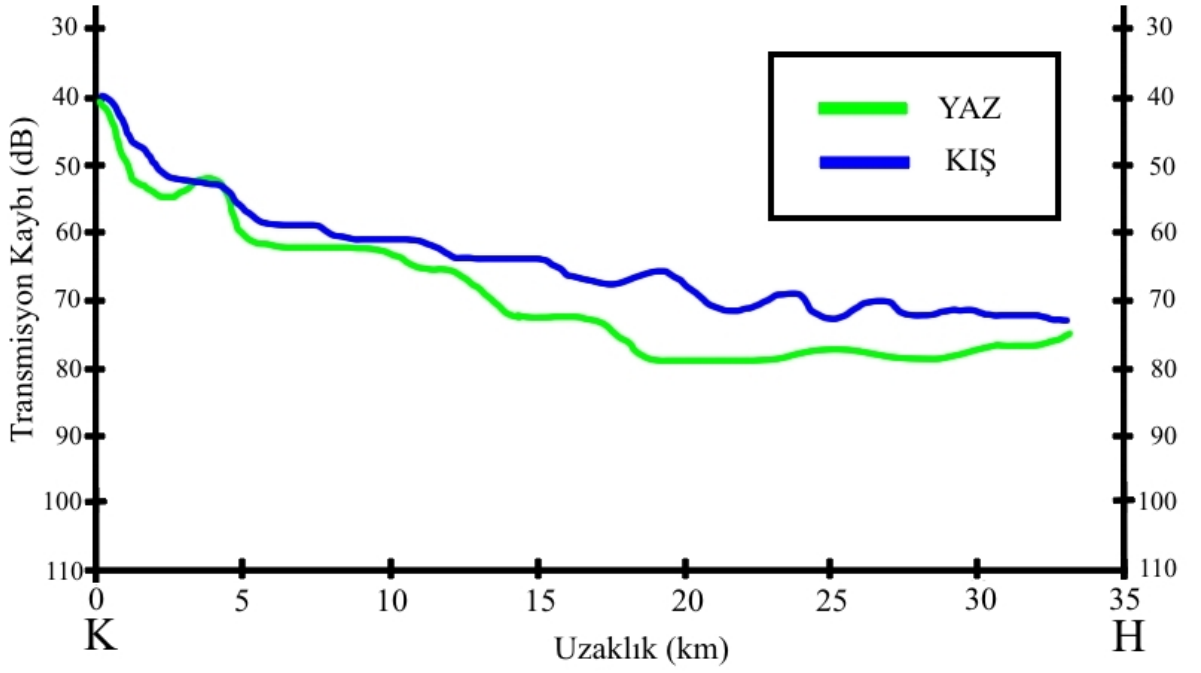
Bütün bu grafikler incelendikten ve ölçülen transmisyon kayıpları ölçüm değerleriyle karşılaştırıldıktan sonra bu bölge için RAM modelinin en uygun model olduğuna karar verilmiştir. Bu bölge için doğru modeli bulduktan sonra, bu tez çalışması için ek bir uygulama olarak K-H bölgesinin yaz ve kış değerleri alınarak mevsimsel transmisyon kayıpları farklı frekanslar için RAM modeliyle hesaplanarak karşılaştırılmıştır. K-H hattı için yaz ve kış, tuzluluk, sıcaklık ve hız değerleri sırasıyla 15 ve 65 m civarında transiyent değişimler göstermektedir (Şekil 70 ve 71). Alıcının 75 m derinlikte olduğu durum için yapılan karşılaştırmalar ise Şekil 72 -77'de gösterilmiştir. Yine 18 m kaynak derinliğine göre RAM modeliyle hesaplanan yaz ve kış transmisyon kaybı benzetimleri sırasıyla Şekil 78 ve 79'da gösterilmektedir. Beklenildiği gibi soğuk suda transmisyon kaybının daha az ve menzilin de daha uzun olduğu görülmektedir. Yaz aylarında 15 metrenin üzerinde yer alan yüzey tabakasındaki daha yüksek olan transmisyon kaybı açıkça görülmektedir (Şekil 79).



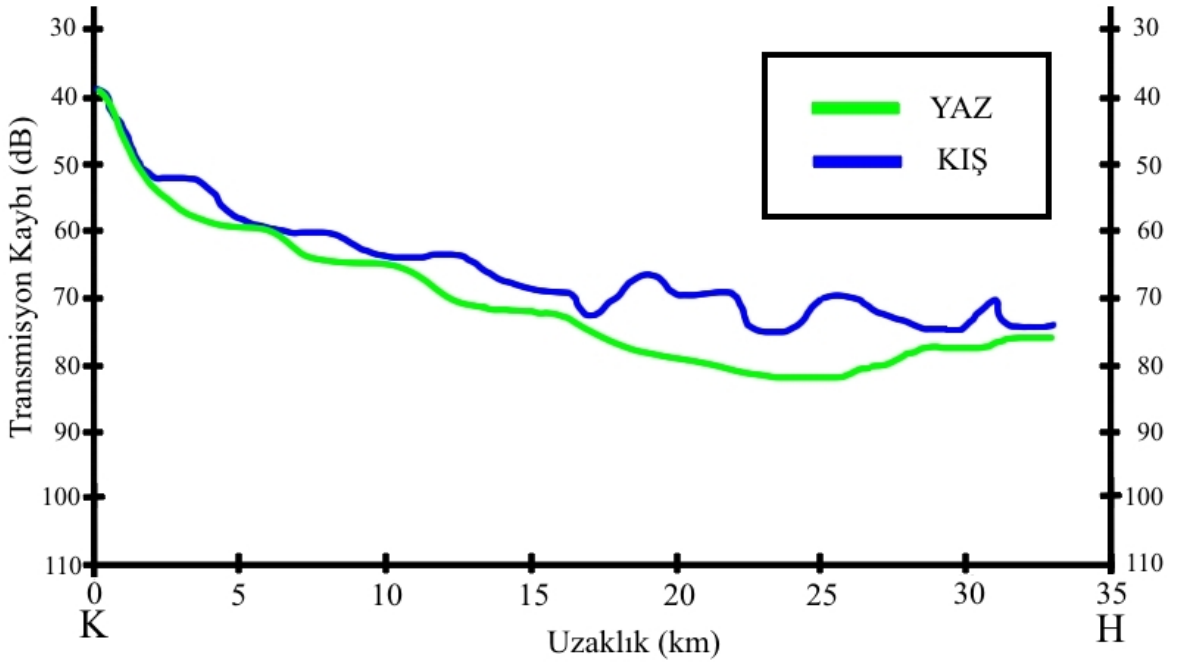
Şekil 70. K-H hattına ait ölçülen yaz ayı hız, sıcaklık ve tuzluluk değerleri



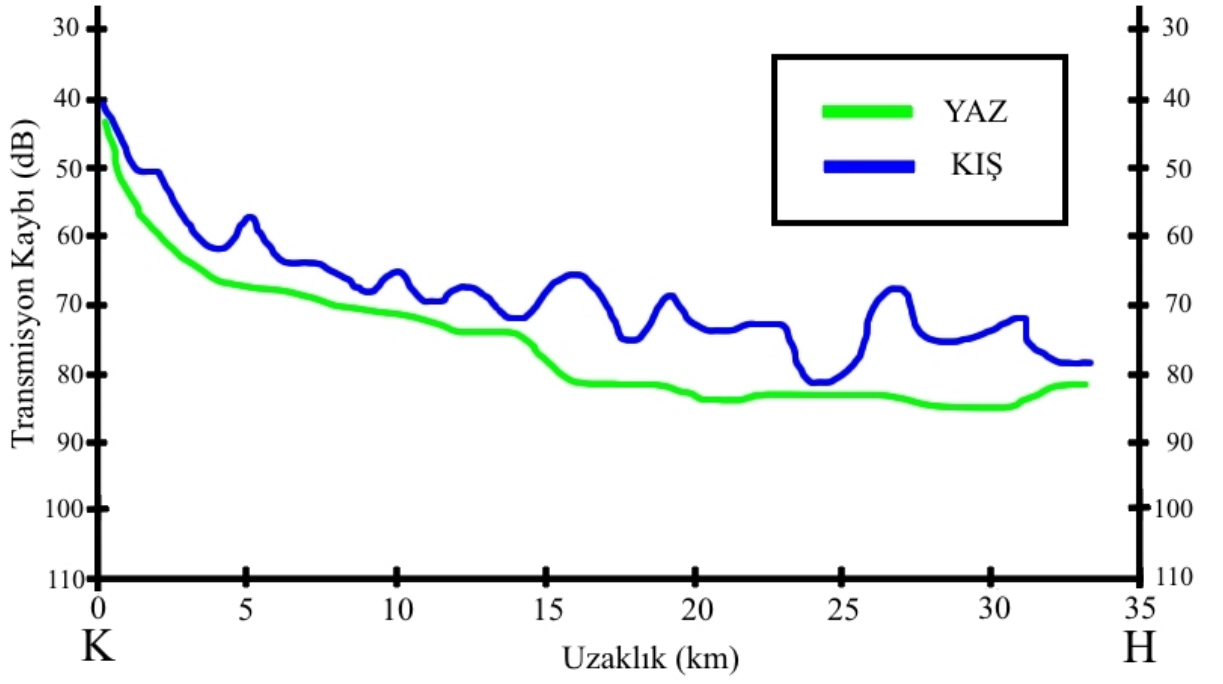
Şekil 71. K-H hattına ait ölçülen kış ayı hız, sıcaklık ve tuzluluk değerleri



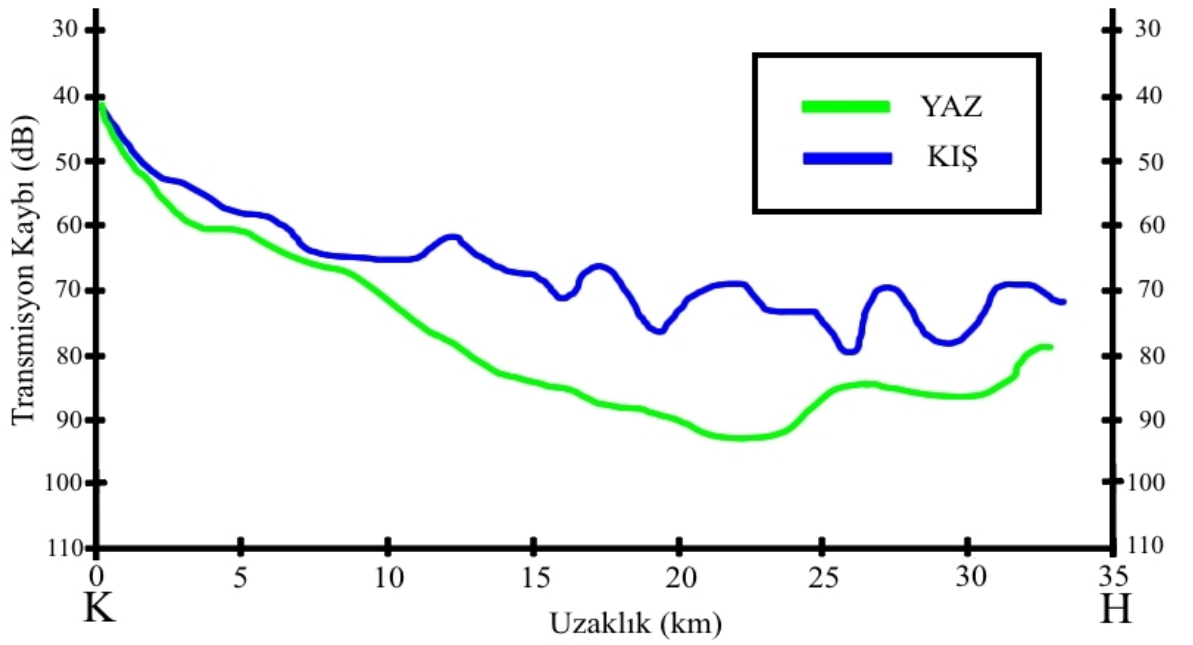
Şekil 72. K-H hattında 50 Hz için RAM modeliyle hesaplanan yaz ve kış transmision kayıpları.



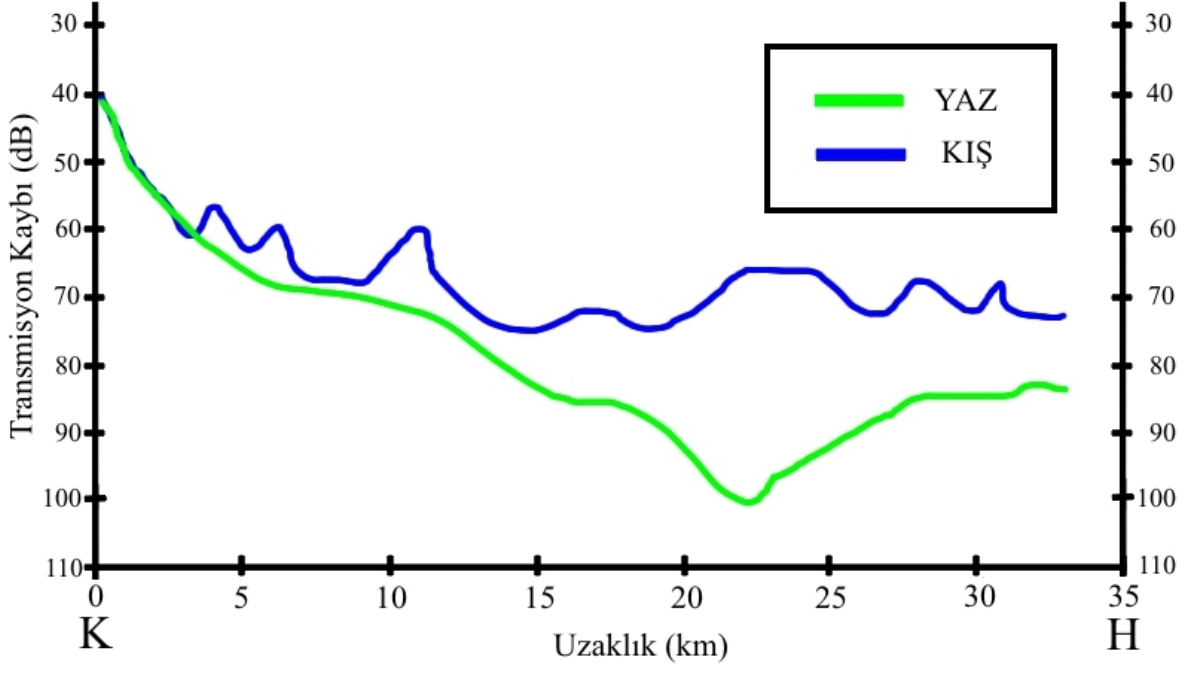
Şekil 73. K-H hattında 200 Hz için RAM modeliyle hesaplanan yaz ve kış transmision kayıpları.



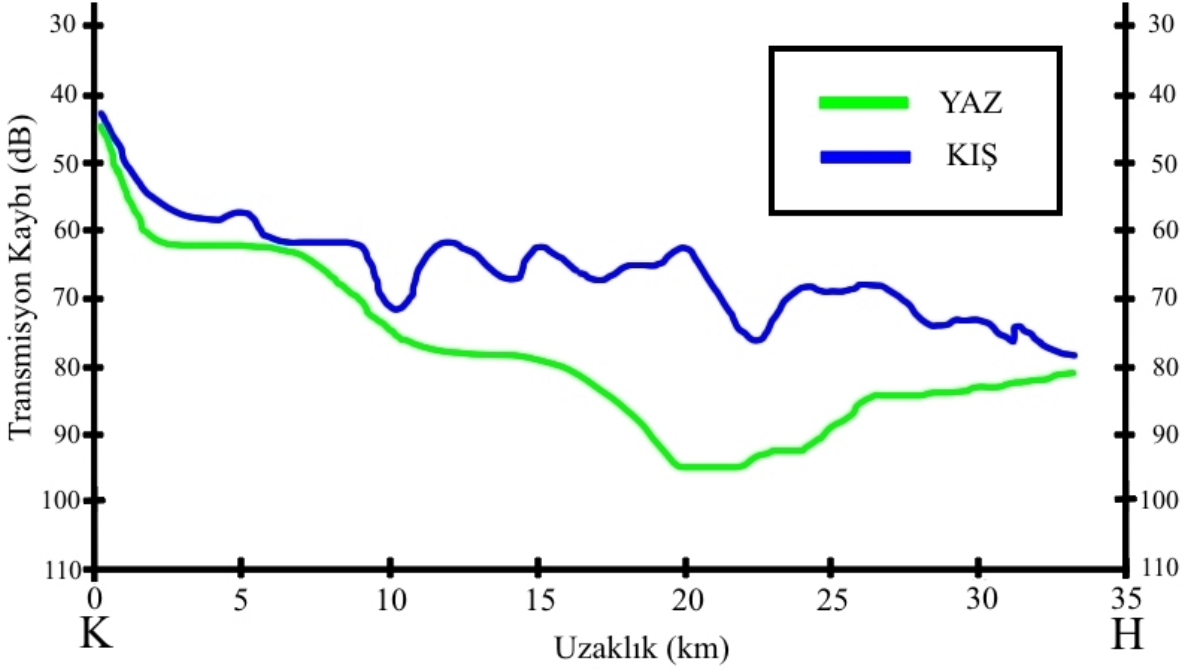
Şekil 74. K-H hattında 400 Hz için RAM modeliyle hesaplanan yaz ve kış transmision kayıpları.



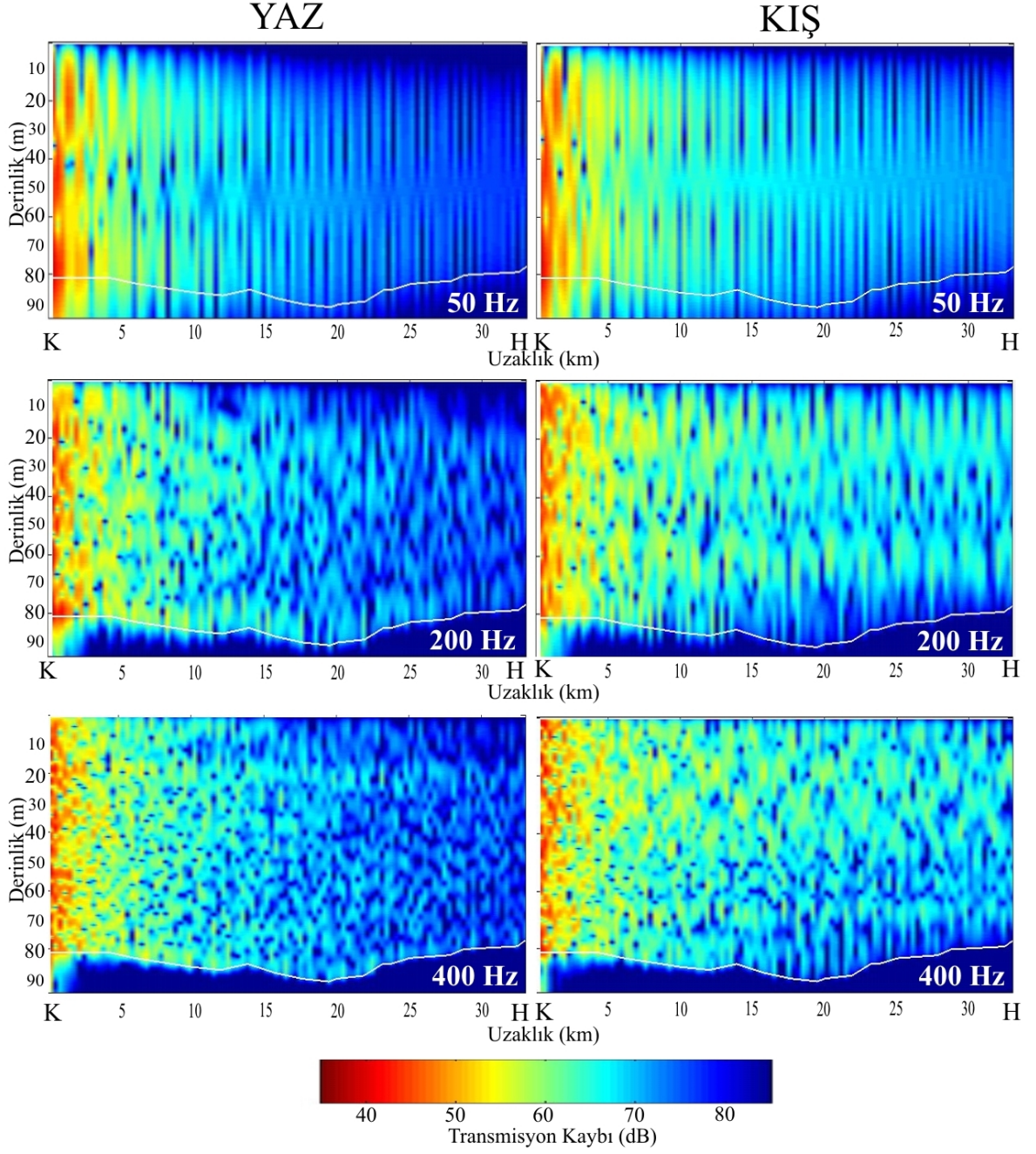
Şekil 75. K-H hattında 1000 Hz için RAM modeliyle hesaplanan yaz ve kış transmision kayıpları.



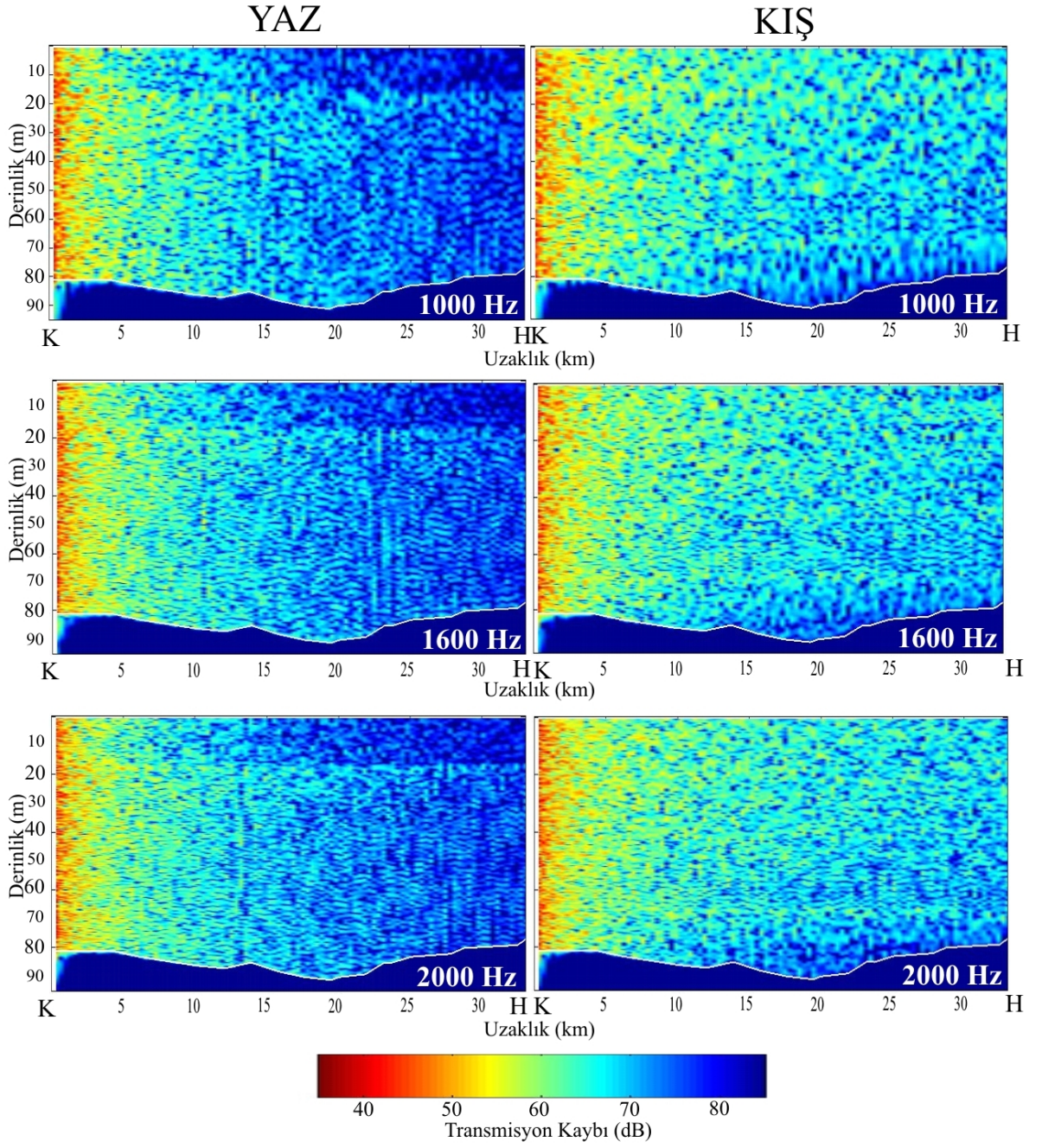
Şekil 76. K-H hattında 1600 Hz için RAM modeliyle hesaplanan yaz ve kış transmisyon kayıpları.



Şekil 77. K-H hattında 2000 Hz için RAM modeliyle hesaplanan yaz ve kış transmisyon kayıpları.



Şekil 78. K-H hattında 50, 200 ve 400 Hz frekansları için RAM modeline göre yaz ve kış transmisyon kaybı karşılaştırmaları.



Şekil 79. K-H hattında 1000, 1600 ve 2000 Hz frekansları için RAM modeline göre yaz ve kış transmisyon kaybı karşılaştırmaları.

V. TARTIŞMA ve SONUÇ

Farklı alanlarda kullanılan su altı akustiği biliminde yapılan gerçek zamanlı çalışmaların, deneyimli personel, yüksek teknolojiye sahip olması gereken donanım, zaman ve mali kaynak gibi ihtiyaçları olması yüzünden, bilgisayar ortamında çalışan su altı akustik yayılım modelleri ile analiz etmek ve değişik şartlara göre tahminler yapmak cezbedici bir hale gelmiştir. Bu şekilde yapılan modellemeler denizel ortamlarda yapılan (in situ) çalışmalara göre çok daha hızlı, pratik ve ucuzdur. Denizlerde yapılmış olan test, ölçüm, laboratuvar analizleri sonucunda elde edilen bilgiler, veriler, kuramlar ve kazanılan deneyimler sayesinde geliştirilebilen su altı akustik yayılım modelleri uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır.

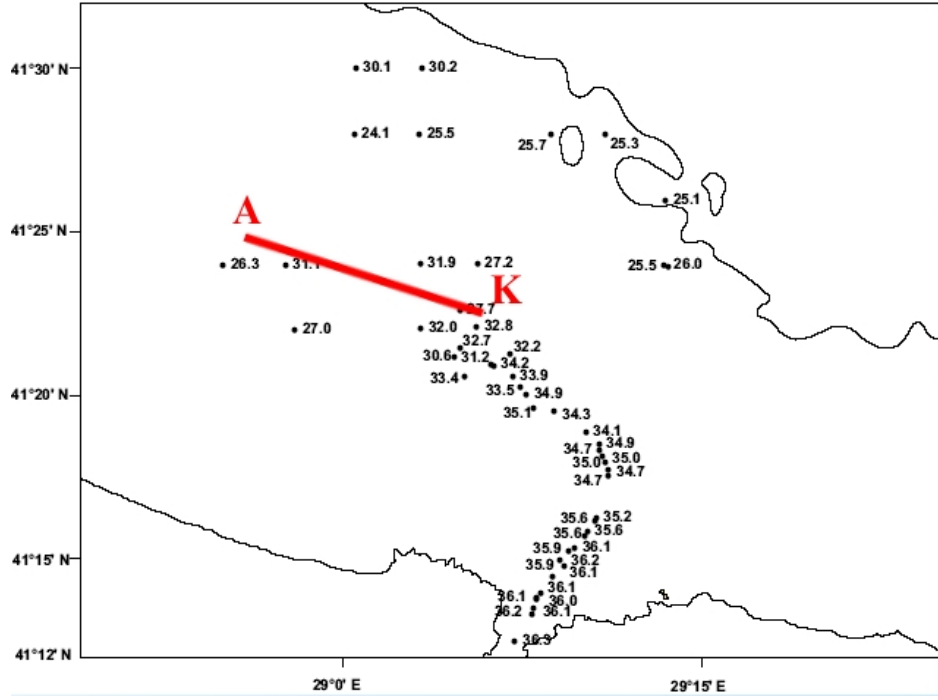
Günümüz uygulamalarında yer alan çok sayıdaki su altı akustik yayılım modelleri farklı teori ve çözüm yöntemlerine dayanmaktadır. Dolayısıyla her bir modelin diğerine göre avantajları veya dezavantajları bulunmaktadır. Herhangi bir modelin herhangi bir uygulama sahasında kullanımı hatalı sonuçlara neden olur. Hangi modelin ne tip ortamlar için daha iyi sonuçlar vereceğini anlamamanın en sağlıklı yolu; modelden çıkan değerleri denizde yerinde yani doğal ortamında ölçülen gerçek değerlerle karşılaştırmaktır. Elbette bu tip uygulamalarda doğru modeli seçmenin yanı sıra; iyi bir modelleme için ortam şartlarının da detaylı olarak bilinmesi ve modeller için gerekli olan parametrelerin ölçülmüş olması gerekir. Bunlarla birlikte deniz tabanını örten çökellerinin tipi ve litolojik yapısı da unutulmamalıdır.

Bu amaç doğrultusunda tez kapsamında Türkiye denizlerinden seçilen iki pilot bölgede ölçülmüş yayılım kayıp değerlerine göre bölgeleri en iyi temsil edebilecek modeller araştırılmıştır. Bu amaçla, ışın teorisi modellerinden olan Bellhop, normal mod modellerinden olan Kraken ve parabolik eşitlik teorisi modellerinden olan RAM tipi modeller bu tez

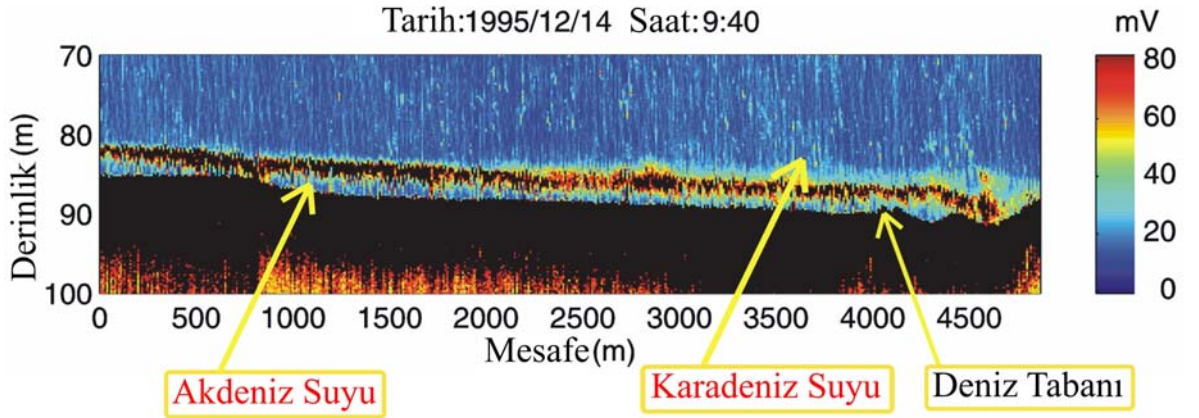
kapsamında uygulanmak üzere seçilmiştir. Bu modellere ait algoritmalar “Matlab” diye bilinen teknik hesaplama programı altında amaca uygun olarak çalışır hale getirilmiştir. Bu şekilde kullanıcı dostu hale getirilen modeller, öncelikle farklı hidrografik ve oşinografik özelliklere sahip ve üzerlerinde transmisyon kayıplarının ölçülmüş olduğu seçilmiş olan iki pilot bölge üzerinde çalışılmıştır. Bu bölgeler derin su için Antalya Körfezi açıkları ve sığ su için ise İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışıdır.

Işın teorisi modellerinin derin sularda ve yüksek frekanslarda kullanılması, zaman tasarrufu ve modelin daha basit ve kolay işletilir olması nedeniyle kolaylıklar sağlamaktadır. Bu durum özellikle akustik yayılımın, ışın yolları boyunca değişik su kütlelerinden geçmeyip homojen bir ortamda yayıldığı durumlar için söz konusudur. Akdeniz’de yapılan uygulama sonrasında bir ışın teorisi modeli olan Bellhop’un eldeki iletim kaybı ölçüm verileriyle uyuşan sonuçlar ürettiği gözlenmiştir. Bir genelleme yapılacak olursa, Akdeniz’in derin kesimleri için akustik yayılım tahmini yapılması gerektiğinde doğru giriş parametrelerinin seçilmesi kaydıyla Bellhop modelinin kullanılabileceği söylenebilir. Bu sonuç adalar ve karmaşık su altı morfolojisine sahip Ege Denizi için geçerli olmayacaktır. Ancak Ege Denizi için iletim kaybı verisi elde edilemediğinden askeri bakımdan çok önemli olan bu bölge için bir model geliştirilememiştir.

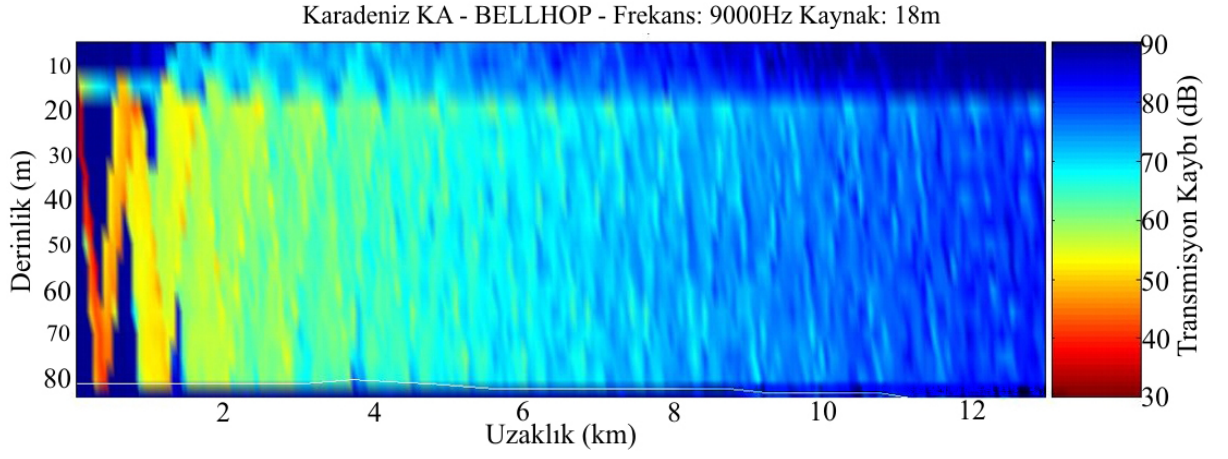
Tez kapsamında seçilen İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışı ise bir sığ su ortamını temsil etmektedir. Bunun yanında ortamın bir diğer özelliği de Akdeniz suyunun Boğaz çıkışından sonra bir kanal şeklinde kuzeye doğru Karadeniz tabanında tuzluluk oranı seyrelerek yayılmasıdır (Şekil 80). Bu yayılma sırasında üst su ile bir arayüz oluşmaktadır (Şekil 81). Böyle bir yüksek yoğunluklu alt tabaka dip yansımalarını etkileyerek kısmen azaltmaktadır. Yapılan uygulamalarda bu arayüzün etkisi sadece K-A hattı için yapılan akustik iletim kaybı benzetimlerinde gözükmemektedir (Şekil 82). Bunun nedeni Akdeniz suyunun İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışında bulunan kanyon boyunca kuzeybatı yönünde ilerlemesi ve K-A hattının bu yol üzerinde bulunmasıdır (Şekil 83). Bu yüzden K-H ve K-M hatlarında yapılan benzetimlerde Akdeniz suyunun etkisinden dolayı meydana gelen yansıma yüzeyi gözükmemektedir.



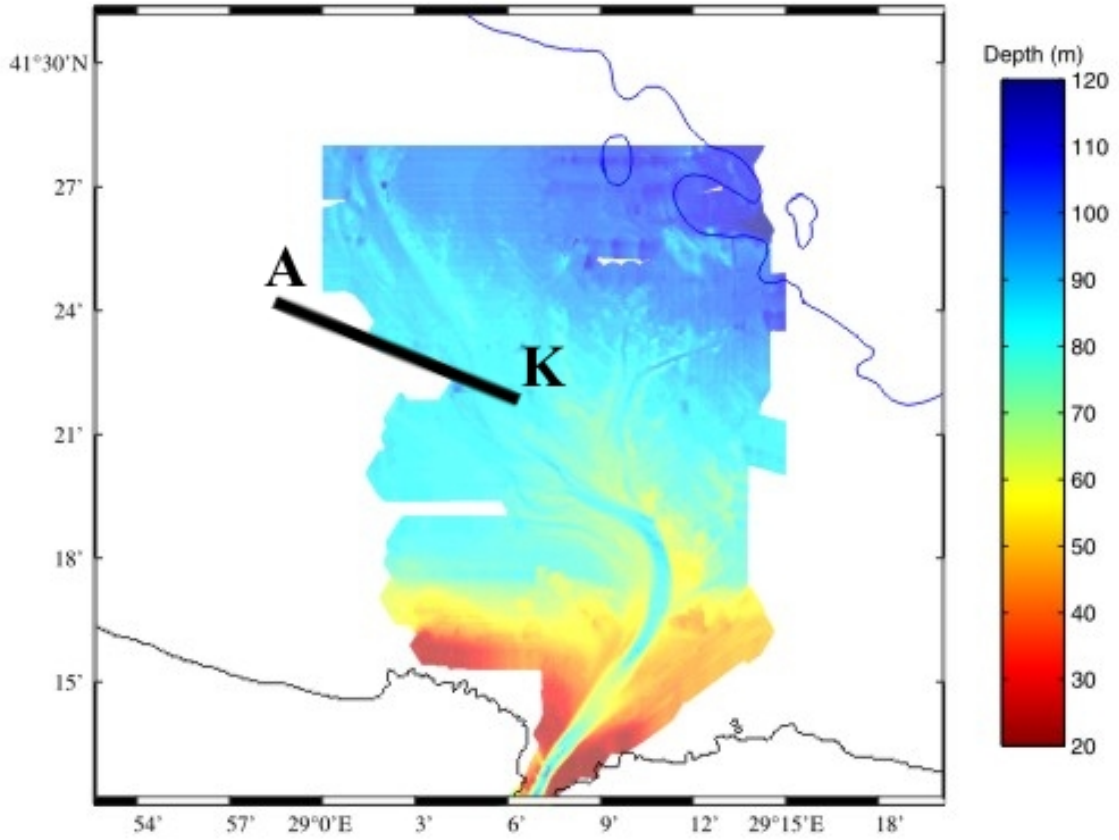
Şekil 80. Dip tuzluluk oranı %24'ten yüksek olan bölgeler (Di Iorio ve Yüce, 1999).



Şekil 81. İstanbul Boğazı Karadeniz Çıkışında Akdeniz ve Karadeniz su kütlelerinin akustik görüntüsü (Di Iorio ve Yüce, 1999).



Şekil 82. K-A hattındaki bu benzetimde 80 metrenin altında Akdeniz suyunun dip kayıpları üzerindeki etkisi.



Şekil 83. İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışının topografyası boğaz kanalının kuzeybatıya doğru büküldüğünü göstermektedir (Di Iorio ve Yüce, 1999).

Bu özelliklerinden dolayı Karadeniz uygulama sahasındaki su altı akustik yayılımları oşinografik tabakalı yapıya, satıh ve dip şartlarına son derece bağımlıdır. Özellikle dipten yansımalar sırasında oluşan kayıplar çok fazladır. Bu yüzden iyi sonuçlar üretebilmesi için deniz dibi ile ilgili detaylı bilgilere ihtiyacı olan normal mod teorisi burada iyi sonuçlar vermemiştir. Fakat sıg su ortamlarında iyi sonuçlar verdiği bilinen RAM modeli ölçüm sonuçlarına çok yakın sonuçlar üreterek söz konusu bölge için araştırılan modeller içinde en uygunu olduğunu göstermiştir. Bir genelleme yapılacak olursa, İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışı için akustik yayılım tahmini yapılması gerektiğinde doğru giriş parametrelerinin seçilmesi kaydıyla RAM modelinin kullanılabilceği söylenebilir.

Su altı akustik yayılım modellerinin asıl amacı doğru ve hızlı tahminler yapabilmektir. Modellemenin bu özelliğini test etmek amacıyla bu tez kapsamında seçilen pilot bölgeler için doğru modeller bulunduktan sonra bazı tahmin ve karşılaştırmaların yapılması da amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, Akdeniz'deki A-C hattına dik bir hat (A-D) alınıp, bu hat boyunca oluşabilecek transmisyon kayıpları farklı frekanslar için hesaplanmış, derinlik ve mesafeye bağılı olarak çizdirilmiştir. Ayrıca Akdeniz'i en iyi temsil eden ışın teorisi modeli Bellhop olduğu için, ışın yollarının (raytrace) da transmisyon kaybı grafiklerinin üzerine bindirilmesi ve bu sayede yorumun daha belirgin bir hale getirilmesi mümkün olmuştur. Ancak sadece ışın yollarına bakarak tahminler yapmanın sakıncaları vardır ve bu durum uygulamalarımızda açıkça söylenmiştir.

Karadeniz'de ise Akdeniz'dekinden daha farklı bir uygulama yapılmıştır. Sonuçları aynı oşinografik parametreleri kullanarak yeni hatlar üzerinde denemek yerine, bu kez aynı hatlar üzerinde daha değişik oşinografik parametreler kullanılarak oluşabilecek transmisyon kayıpları incelenmiştir. Burada esas amaç farklı bir mevsimde ortaya çıkabilecek yayılım kayıplarını sahada bir ölçüm yapmadan önce tahmin edebilmek ve belki de ileride yapılabilecek arazi ölçüm parametrelerini buna göre seçebilmektir. Bu şekilde oluşturulan model sonuçlarımızın doğruluğu da ileride yapılacak saha ölçümleri sonucu test edilmiş olacaktır. Bu hedef doğrultusunda Karadeniz'deki K-H hattında, Şubat ayına ait oşinografik parametreler kullanılarak kış dönemi için iletim (transmisyon) kayıpları hesaplanmıştır. Aynı

kaynak ve alıcı derinlikleri ve farklı frekanslar seçilerek yapılan bu hesaplamalarda çıkan sonuçlar genel su altı akustik prensipleri ile uyumlu olup, kış aylarında deniz yüzeyindeki kayıpların daha az olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni; yaz aylarında yüzeydeki ısınma nedeni ile oluşan sıcaklık farkları yüzünden meydana gelen pozitif gradyenttir. Ses hızının gradyentinin olması nedeniyle ses dalgaları kırılarak dibe doğru bükülürler ve bu gradyent ne kadar fazla olursa kırılma da o oranda fazlalaşır. Ses dalgaları deniz dibinden yansırken enerjinin bir kısmı da dibe geçmektedir ve bu yüzden ayrıca daha fazla dip kayıpları meydana gelmektedir. Karadeniz uygulama alanına ait sıcaklık-derinlik grafiklerinden, yaz aylarında 0-18 metreler arasındaki su sıcaklığının soğuk dip suyuna göre bir hayli farklı ($\sim 12^{\circ}\text{C}$) olduğu görülmektedir. Bu durum da gradyenti arttırmakta ve dolayısıyla kayıplar da artmaktadır. Kış mevsimi için yaptığımız benzetimlerde bu durum özellikle yüksek frekanslarda kendini göstermiştir.

Mevsimsel transmisyon kaybı farklılıklarını bilmek ve bölgesel olarak çevre şartlarına bağlı modelleme yapabilmek su altı tespiti ve savunma amaçlı uygulamalar ve yeni sistemlerin geliştirilmesi açısından çok önemlidir. Bu modeller ve öngörüler günümüzde sonar sistemlerinin etkinliğini bulgulamakta, limanların, ve stratejik önemi olan bölgelerin korunması için gerekli sistemlerin geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Bu tip bölgelerde kurulan aktif ve/veya pasif sistemlerin yerleştirilmesi ve cihaz seçimlerinin yapılmasında akustik yayılım modelleri rol almaktadır.

Sonuç olarak, bu tez çalışmasında amaçlandığı gibi, değişik hidrografik ve oşinografik özellikli ortamlar için iyi sonuç veren teorik su altı akustik yayılım modelleri pratik olarak kullanılabilir hale getirilmiş, eldeki mevcut veriler kapsamında hangi modelin hangi şartlarda daha uygun çalışacağı belirlenmiş ve belirlenen modellerle bölgesel tahmin ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Teorik su altı akustik yayılım modellerin kullanılmasındaki en önemli husus, modellerin kullanılmasının değişik ortam ve akustik parametrelere bağlı olduğu ve modeller için gerekli olan giriş parametrelerinin gerçeklere uygun olmasıdır. Fakat farklı bölgeler için başka modeller de denenmeli ve bu yapılırken doğru oşinografik parametreler kullanılmalı ve dip tabiatı hakkında olabildiğince detaylı bilgiler edinilmelidir.

KAYNAKLAR

AKAL, T. (1980): Sea-floor effects on shallow-water acoustic propagation. In:Bottom Interacting Ocean Acoustics. W.A. Kuperman and F.B. Jensen. Ed. Plenum Pres, 557-575.

AKAL, T. ve KÖPRÜLÜ, K. (2005): Underwater Acoustic Characteristics of the AKSAZ and FOCA Areas, For Havelsan's Eyes Only, Technical Report 02. s.44.

ALPAR, B. ve DOĞAN, E. (1994): Deniz ve Göllerde Derinlik Ölçme Sistem ve Yöntemleri. İ.Ü. Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü yayını, 551.46 1998/3800, s.119

BAŞARAN, H. (1993): Doğu Akdeniz (Levant Denizi) Akustik Özellikleri, İ.Ü. Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Doktora Tezi s.202, İstanbul

BROCK, H. K. (1978): The AESD Parabolic Equation Model, NORDA Technical Note 12, Naval Research Laboratory, Stennis Space Center, MS.

CLAY, C.S., ve MEDWIN, H. (1977): Acoustical Oceanography, Wiley-Interscience, New York.

COLLINS, M.D. (1993): A split-step Padè solution for the parabolic equation method, Journal of the Acoustical Society of America 93, 1736–1742.

COLLINS, M.D. (1994): Generalization of the Split-Step Pade, Journal of the Acoustic Society America. 96, pp382-385.

COLLINS, M.D., CEDERBERG, R. J., KING, D. B. ve CHIN-BING, S. A. (1996): Comparison of Algorithms for Solving Parabolic Wave Equations. Journal of the Acoustic Society . America 100, 178-182.

DI IORIO, D. and YÜCE, H. (1999): Observations of Mediterranean flow into the Black Sea, *J. Geophys. Res.* **102**:3091-3108.

FOFONOFF, N. P. (1985): Physical properties of seawater: a new salinity scale and equation of state for seawater, Deep Sea Research Part B. Oceanographic Literature Review, Volume 32, Issue 9, 1985, p 739.

JENSEN, F.B., KUPERMAN, W.A., PORTER, M.B. ve SCHMIDT, H. (1994): Computational Ocean Acoustics. American Institute of Physics. ISBN 1-56396-209-8 New York.

PORTER, M. B. (1990): The time-marched FFP for modeling acoustic pulse propagation. Journal of the Acoustic Society America. 87 pp. 2013–2023.

PORTER, M. B. (1991): The KRAKEN normal mode program. SACLANTCEN Rep. SM-245.

PORTER, M. B. ve BUCKER, H. P. (1987): Gaussian beam tracing for computing ocean acoustic fields. Journal of the Acoustic Society America. 82 pp.1349–1359.

URICK, J. (1983): Principles of Underwater Sound, 3rd Edition, Mc. Graw Hill, Inc. ISBN 0-07-066087-5.

İnternet Adresleri:

<http://www.shodb.gov.tr/osinografi/ctd.htm>: Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi – Oşinografik şubede kullanılan CTD ve Su örnekleyici sistemler

<http://cmst.curtin.edu.au/products/actoolbox/>: Centre for Marine Science and Technology - Underwater Acoustic Propagation Modelling Software

<http://www.hlsresearch.com/oalib/PE/index.html>: HLS Research - Parabolic Equation Models

<http://fermi.jhuapl.edu/denscalc.html>: Johns Hopkins University / Applied Physics Laboratory - A Sea Water Equation of State Calculator

EK-1

BELLHOP MODELİ ANA MODÜLÜ

! Beam tracing in cylindrical coordinates
! Michael B. Porter and Homer P. Bucker

```
USE bellMod
USE RefCoMod
USE bdryMod
USE angleMod
USE SdRdRMod
USE ArrMod
```

```
INTEGER, PARAMETER :: SHDFIL = 25, RAYFIL = 21
REAL, PARAMETER :: DegRad = PI / 180.0
REAL xs( 2 ), gradc( 2 )
REAL (KIND=8) :: zSSPV( 2001 )
COMPLEX, ALLOCATABLE :: U( :, : )
COMPLEX EPS, PICKEPS
CHARACTER TITLE*80, BotOpt*2, RunType*3, BeamType*3
```

```
CALL CPU_TIME( Tstart )
```

```
! Read in control data ***
```

```
CALL READIN( TITLE, freq, ISINGL, &
  NIMAGE, IBWIN, deltas, MxN, zBox, rBox, EPMULT, RLOOP, &
  TopOpt, DepthT, CPT, RHOT, BotOpt, DepthB, CPB, RHOB, RunType, BeamType )
```

```
CALL READATI( TopOpt(4:4), DepthT, rBox, PRTFil ) ! READ AITmetry
CALL READBTY( BotOpt(2:2), DepthB, rBox, PRTFil ) ! READ BaThYmetrY
CALL READRC( BotOpt(1:1), TopOpt(2:2), PRTFil ) ! READ Reflection Coefficients (top and bottom)
```

```
! for a TL calculation, allocate space for the pressure matrix
```

```
IF ( SCAN( 'CSI', RunType(1:1) ) /= 0 ) THEN
  ALLOCATE ( U( Nrd, Nr ), Stat = IAllocStat )
  IF ( IAllocStat /= 0 ) &
    CALL ERROUT( PRTFIL, 'F', 'BELLHOP', 'Insufficient memory for TL matrix: reduce Nr * Nrd' )
ELSE
  ALLOCATE ( U( 1, 1 ), Stat = IAllocStat )
ENDIF
```

```
IF ( SCAN( 'Aa', RunType(1:1) ) /= 0 ) THEN
  MxNArr = MAX( 200000 / ( Nrd * Nr ), 10 ) ! allow space for at least 10 arrivals
  WRITE( PRTFIL, * )
  WRITE( PRTFIL, * ) '( Maximum # of arrivals = ', MxNArr, ' )'
```

```
ALLOCATE ( AArr( Nrd, Nr, MxNArr ), PhaseArr( Nrd, Nr, MxNArr ), DelArr( Nrd, Nr, MxNArr ), &
  SrcAngArr( Nrd, Nr, MxNArr ), RcvrAngArr( Nrd, Nr, MxNArr ), &
  NArr( Nrd, Nr ), NTopBncArr( Nrd, Nr, MxNArr ), NBotBncArr( Nrd, Nr, MxNArr ), Stat = IAllocStat )
IF ( IAllocStat /= 0 ) &
  CALL ERROUT( PRTFIL, 'F', 'BELLHOP', 'Insufficient memory to allocate arrivals matrix' )
ELSE
  MxNArr = 1
  ALLOCATE ( AArr( Nrd, Nr, 1 ), PhaseArr( Nrd, Nr, 1 ), DelArr( Nrd, Nr, 1 ), &
```

```

SrcAngArr( Nrd, Nr, 1 ), RcvrAngArr( Nrd, Nr, 1 ), &
NArr( Nrd, Nr ), NTopBncArr( Nrd, Nr, 1 ), NBotBncArr( Nrd, Nr, 1 ), Stat = IAllocStat )
END IF

omega = 2.0 * PI * freq

IF ( Nr > 1 ) THEN
  DeltaR = r( Nr ) - r( Nr - 1 )
ELSE
  DeltaR = 0.0
ENDIF

alpha = DegRad * alpha ! convert to radians
Dalphi = 0.0
IF ( NBeams /= 1 ) Dalphi = ( alpha( NBeams ) - alpha( 1 ) ) / NBeams ! angular spacing between beams

! *** Loop over source depths ***

DO IS = 1, Nsd
  xs = ( / 0.0, sd( IS ) / ) ! source coordinate

  IF ( SCAN( 'CSI', RunType(1:1) ) /= 0 ) U = 0.0 ! For a TL run, zero out pressure matrix
  IF ( SCAN( 'Aa', RunType(1:1) ) /= 0 ) NArr = 0 ! For an arrivals run, zero out arrival matrix

  CALL SSP( xs, C, gradc, crr, crz, czz, TopOpt, 'TAB' )

  RadMax = 10 * C / freq ! 10 wavelength max radius

  ! Are there enough beams?
  DalphiOpt = SQRT( C / ( 6.0 * freq * r( Nr ) ) )
  NBeamsOpt = 2 + ( alpha( NBeams ) - alpha( 1 ) ) / DalphiOpt

  IF ( RunType(1:1) == 'C' .AND. NBeams < NBeamsOpt ) THEN
    CALL ERRORT( PRTRFIL, 'W', 'BELLHOP', 'Too few beams' )
    WRITE( PRTRFIL, * ) 'NBeams should be at least = ', NBeamsOpt
  ENDIF

  ! *** Trace successive beams ***

  DO IBEAM = 1, NBeams

    IF ( ISINGL == 0 .OR. IBEAM == ISINGL ) THEN ! Single beam run?

      alpha0 = alpha( IBEAM ) * 180.0 / PI ! take-off angle in degrees
      WRITE( *, * ) 'Tracing beam ', IBEAM, alpha0

      CALL TRACE( deltas, xs, alpha( IBEAM ), BeamType, zBox, rBox, BotOpt, RunType ) ! *** Trace a ray
      ***

      IF ( RunType(1:1) == 'R' ) THEN ! Write the ray trajectory to RAYFIL
        CALL WRTRAY( alpha0, xv, Trayv, Nsteps, NumTopBnc( Nsteps ), NumBotBnc( Nsteps ), DepthT,
          DepthB )
      ELSE ! *** Compute the contribution to the field ***

```

```

      Eps = PICKEPS( BeamType(1:1), omega, C, CZ, alpha( IBEAM ), Dalpha, RLOOP, EPMULT ) !
'optimal' beam constant

      SELECT CASE ( RunType(2:2) )
      CASE ( 'R' )
        IBWIN2 = IBWIN **2
        CALL INFLUR( U, DeltaR, Eps, alpha( IBeam ), NImage, IBWin2, RunType, RadMax, BeamType )
      CASE ( 'C' )
        IBWIN2 = IBWIN **2
        CALL INFLUC( U, DeltaR, Eps, alpha( IBeam ), NImage, IBWin2, RunType, RadMax, BeamType )
      CASE ( 'S' )
        CALL INFLUSGB( U, sd( IS ), alpha( IBeam ), RunType, Dalpha, deltas )
      CASE ( 'B' )
        CALL INFLUGRB( U, sd( IS ), alpha( IBeam ), RunType, Dalpha )
      CASE DEFAULT
        CALL INFLUG( U, sd( IS ), alpha( IBeam ), RunType, Dalpha )
      END SELECT

    END IF
  END IF
END DO ! Next beam

! *** write results to disk ***

IF ( SCAN( 'CSI', RunType(1:1) ) /= 0 ) THEN ! TL calculation
  CALL SCALEP( Dalpha, cV( 1 ), R, U, Nrd, Nr, RunType, TopOpt, freq )
  IREC = 6 + Nrd * ( IS - 1 )
  CALL WRTFLD( U, Nrd, Nr, IREC )
ELSE IF ( RunType(1:1) == 'A' ) THEN ! arrivals calculation, ascii
  CALL WRTARRASC( R, Nrd, Nr )
ELSE IF ( RunType(1:1) == 'a' ) THEN ! arrivals calculation, binary
  CALL WRTARRBIN( R, Nrd, Nr )
END IF

END DO ! Next source depth

! close all files

IF ( SCAN( 'CSI', RunType(1:1) ) /= 0 ) THEN ! TL calculation
  CLOSE( SHDFIL )
ELSE IF ( RunType(1:1) == 'A' ) THEN ! arrivals calculation, ascii
  CLOSE( ARRFIL )
ELSE IF ( RunType(1:1) == 'a' ) THEN ! arrivals calculation, binary
  CLOSE( ARRFIL )
ELSE IF ( RunType(1:1) == 'R' ) THEN
  CLOSE( RAYFIL )
END IF

! Display run time

CALL CPU_TIME( Tstop )
WRITE( PRTFIL, "(/, ' CPU Time =', G15.3 )" ) Tstop - Tstart

STOP
END

```

EK-2

KRAKEN MODELİ ANA MODÜLÜ

! Program for solving for ocean acoustic normal modes

! Michael B. Porter

USE krakmod
USE SdRdRMod

IMPLICIT REAL (KIND=8) (A-H, O-Z)

INTEGER MIN_LOC(1)
REAL (KIND=4) ZMIN, ZMAX

! *** Loop over a sequence of profiles ***

DO IPROF = 1, 9999

NV(1:5) = (/ 1, 2, 4, 8, 16 /)

! *** Read in environmental info ***

TITLE = 'KRAKEN- '

CALL READIN(TITLE, FREQ, MAXMED, NMEDIA, &
TOPOPT, CPT, CST, RHOT, BUMDEN, ETA, XI, NG, SIGMA, DEPTH, &
BOTOPT, CPB, CSB, RHOB, ENVFIL, PRTFIL)

READ(ENVFIL, *) CLOW, CHIGH ! *** Spectral limits ***
WRITE(PRTFIL, '(/, " CLOW = ", G12.5, " CHIGH = ", G12.5)') CLOW, CHIGH

READ(ENVFIL, *) RMAX ! *** Maximum range for calculations ***
WRITE(PRTFIL, *) 'RMAX = ', RMAX

! *** Read source/receiver depths ***

ZMIN = DEPTH(1)
ZMAX = DEPTH(NMEDIA + 1)

CALL SDRD(ENVFIL, PRTFIL, ZMIN, ZMAX)

OMEGA2 = (2.0 * PI * FREQ) ** 2

! *** Main loop: solve the problem for a sequence of meshes ***

WRITE(PRTFIL, *)
WRITE(PRTFIL, *) 'Mesh multiplier CPU seconds'

DO ISET = 1, NSETS
N(1:NMEDIA) = NG(1:NMEDIA) * NV(ISET)
H(1:NMEDIA) = (DEPTH(2:NMEDIA + 1) - DEPTH(1:NMEDIA)) / N(1:NMEDIA)
HV(ISET) = H(1)

CALL SOLVE(ERROR)


```

      IF ( ERROR * 1000.0 * RMAX < 1.0 ) GOTO 3000
END DO

! --- Fall through indicates failure to converge
CALL ERROUT( PRTFIL, 'W', 'KRAKEN', 'Too many meshes needed: check convergence' )

! Solution complete: discard modes with phase velocity above CHIGH

3000 OMEGA = SQRT( OMEGA2 )

      MIN_LOC = MINLOC( EXTRAP( 1, 1:M ), EXTRAP( 1, 1:M ) > OMEGA2 / CHIGH ** 2 )
      M = MIN_LOC( 1 )

! *** Write eigenvalues to PRTFIL and MODFIL ***

      WRITE( PRTFIL, * )
      WRITE( PRTFIL, * ) ' I      K      ALPHA      PHASE SPEED      GROUP SPEED'

      CK( 1:M ) = SQRT( EXTRAP( 1, 1:M ) + CK( 1:M ) )

      DO MODE = 1, M
        WRITE( PRTFIL, "( I5, 4G18.10 )" ) MODE, CK( MODE ), OMEGA / DBLE( CK( MODE ) ), VG(
MODE )
      END DO

      WRITE( MODFIL, REC = 5 ) M, LRECL

      IFIRST = 1
      DO IREC = 1, 1 + ( 2 * M - 1 ) / LRECL

        ILAST = MIN( M, IFIRST + LRECL / 2 - 1 )
        WRITE( MODFIL, REC = 6 + M + IREC ) ( CMLPX( CK( MODE ) ), MODE = IFIRST, ILAST )

        IFIRST = ILAST + 1
      END DO

      CLOSE( MODFIL )

      END DO ! next profile
      CLOSE( ENVFIL )

      STOP
      END

```

EK-3

RAM MODELİ ANA MODÜLÜ

```
% Template from Folegot
% Step 0: create the input file
% Step 1: Run ram
% Step 2: plot
clear all; close all;
```

```
% General information
pathdir='E:\jeofizik\modeler\RAM\Karadeniz';
```

```
% Step 0:
header='Karadeniz';
iplot=0;
ihard=1;
isum=1;
fan='bb';
%fan='cw';
%fpick=[50 200 400 1000 1600 2000];
fpick=[2000];
%fpick=[10:10:1000 25];
%fpick=[100];
```

```
for ifrq=1:length(fpick)
    names=sprintf('test_%dHz',fpick(ifrq)); 2 % No extention
    frq=[fpick(ifrq) fpick(ifrq)];
    fs=4096;
    nfft=4096;
    dz=1500/mean(frq)/30;
    dr=75*dz;
    rsamp=[0 2770 3330 4070 5180 5560 7040 7400 9260 11110 12960 14810 18890 19450 21300 23150 25000
26850 28340 28890 29820 31110];
    writeout=[1260 1 33];
```

```
% write out range dr ndr
write_out_r=writeout(3);
ndr=ceil(writeout(3)/dr);
dr=writeout(3)/ndr;
```

```
% write out zmax dz ndz zmplt
ndz=max(0,ceil(writeout(2)/dz));
dz=writeout(2)/ndz;
```

```
zs=18;
zr=1;
```

```
range1=33;
rbthyramp=rsamp;
```

```
bthyramp=[81 82 83 85 87 88 89 90 95 97 100 150 500 610 790 820 900 980 1010 1090 1120 1255];
```

```

thetaopen=1.0;
thetatilt=0.;

if(isum==1)
    % Summer

    zw=[1.80;9.10;12.30;13.20;14.00;14.80;15.60;18.00;21.30;23.70;30.20;33.50;36.70;42.40;47.20;50.50;53.70;63.
40;68.30;73.90;79.60;85.20;100.50;110.20;120.60;130.30;140.70;150.30;175.10;200.70;250.70;375.90;500.20;6
00.70;700.00;800.50;900.40;999.90;1100.00;1175.00;1255.00];

    cw=[1507.90;1507.40;1505.00;1504.30;1501.70;1493.50;1485.60;1473.70;1468.60;1465.90;1463.30;1462.30;1
461.70;1460.40;1459.00;1458.60;1459.00;1459.60;1460.00;1460.80;1461.60;1462.00;1463.00;1463.90;1464.60
;1465.50;1466.40;1467.20;1469.60;1471.10;1472.90;1475.70;1478.10;1479.70;1481.80;1483.50;1485.40;1486.
90;1488.80;1490.20;1491.70];
    elseif(isum==0)
        % Winter

        zw=[2.00;3.00;5.00;10.00;13.00;15.00;20.00;25.00;30.00;35.00;40.00;45.00;50.00;55.00;60.00;65.00;70.00;73.0
0;80.00;91.00];

        cw=[1471.96;1471.99;1472.01;1472.11;1472.18;1472.22;1472.31;1472.53;1472.92;1473.50;1473.80;1473.39;1
472.41;1468.10;1466.10;1464.45;1487.05;1504.10;1508.80;1510.40];
        end;

        rcw=rsamp(1);

        rsed=rbthyrar;
        tsed=[0];

        % Absorbing bottom 200-300 m at 1000 Hz

        zbb=-(1500-300)/(1000-10)*(freq(1)-10)+3000;

        if(ihard==0)
            % Clay
            zb=[0;200;zbb];
            cb=[([1500 1500 1500].')];
            ab=[([0.8 0.8 10.0].')];
            rhob=[([1.2 1.2 1.2].')];
        elseif(ihard==1)
            % Sand
            zb=[0;200;zbb];
            cb=[([1700 1700 1700].')];
            ab=[([0.5 0.5 10.0].')];
            rhob=[([2. 2.0 2.0].')];
        end;

        if(ihard==1)
            if(isum==1)
                runcase='summer_hard';
            elseif(isum==0)
                runcase='winter_hard';
            end
        elseif(ihard==0)

```

```

    if(isum==1)
        runcase='summer_soft';
    elseif(isum==0)
        runcase='winter_soft';
    end
end;
% Create the input file
inputFileName=sprintf('%s/%s.in',pathdir,names)
[cnew]=inpgen_ramdp_folegot(inputFileName,frq,zs,zr,bthyram,rbthyram,cw,zw,dz,dr,writeout,ndr,ndz, ...
    rcw,rсед,tsed,cb,rhob,ab,zb,range1,fs,nfft,header,fan,thetaopen,thetatilt);

% Step 1:
% Run RAM for all input files placed in a directory
% The directory is stored in: pathdir
% Run input files
ramdp(inputFileName);

% Step 2:
% Plot all output contour files
fnts=14;
irsamp=[10:10:1000];

% Get the trf data
trfFileName=sprintf('%s/%s.trf',pathdir,names);
[tmp,par]=readascii(trfFileName);
depth=linspace(par(2),par(3),par(4));
rng=linspace(par(5),par(6)*par(7),par(7));
nrec=par(4);
nrng=par(7);
prs1=reshape(tmp,nrec,nrng);

figure(1)
pcolor(rng(irsamp),depth,-20*log10(abs(prs1(:,irsamp))));shading('flat');colormap(flipud(jet));caxis([35
115]);colorbar;
set(gca,'ydir','reverse');
set(gca,'fontsize',fnts);
xlabel('Range (km)');
ylabel('Depth (m)');
title(sprintf('F=%d Hz',fpick(ifrq)));
axis([0 33 0 1260]);
hold on
% Plot the bathymetry
plot(rbthyram/1000,bthyram,'w-', 'linewidth',1.5);
hold off;
drawnow;

% Save the data
saveFileName=sprintf('%s/%s.mat',pathdir,names);
save(saveFileName,'rng','depth','prs1','trfFileName','fpick','rbthyram','bthyram');
end;

```

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi : 16/07/1980

Doğum yeri : İstanbul

Lise : (1992 - 1998), Özel Moda Lisesi

Lisans : (1998 - 2003), İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği

Çalıştığı kurum (lar) : (2006 – devam ediyor) Sualtı Sistemleri Teknoloji Geliştirme San. Tic. Ltd. Şti.