

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SUALTI AKUSTİĞİ UYGULAMARINDA IŞIN
İZLEME VE YAYILIM KAYBI HESABININ
KULLANILMASI**

Bilgisayar Mühendisi Baki BATI

**FBE Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı Bilgisayar Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. A. Gökhan YAVUZ

Tez Jürisi : Prof. Dr. Bülent Örencik

Prof. Dr. Coşkun Sönmez

İstanbul, 2009

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SUALTI AKUSTİĞİ UYGULAMARINDA IŞIN
İZLEME VE YAYILIM KAYBI HESABININ
KULLANILMASI**

Bilgisayar Mühendisi Baki BATI

**FBE Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı Bilgisayar Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. A. Gökhan YAVUZ

Tez Jürisi : Prof. Dr. Bülent Örencik

Prof. Dr. Coşkun Sönmez

İstanbul, 2009

© Bu projenin bütün hakları Yıldız Teknik Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'ne aittir.

İÇİNDEKİLER

Sembol Listesi.....	v
Kısaltma Listesi	vi
Şekil Listesi.....	vii
Tablo Listesi	ix
Önsöz	x
Özet.....	xi
Abstract.....	xiii
1. Giriş	1
2. Gelişme	2
2.1. Akustik Tarihçe.....	2
2.2. Ses Hızı – Profili.....	2
2.3. Snell Yasası Yansıma İletim.....	4
2.4. Kritik Açısı	5
2.5. Işın İzleme.....	7
2.5.1. Işın Yolları	9
2.5.2. Alternatif Işın İzleri Gösterimi	11
2.5.3. Işın İzleri Yönteminde Karşılaşılan Problemler	12
2.5.3.1. Demet Yerdeğiştirmesi.....	12
2.5.3.2. Kostik (Caustic) Problemi ve Çözüm Önerileri	12
2.6. Akustik Basınç	14
2.7. İletim Kaybı	14
2.7.1. Dağılma Kaybı.....	16
2.7.2. Soğrulma Kayıpları.....	17
2.7.2.1. Viskozite Kayıpları	17
2.7.2.2. Moleküler Gevşeme Kayıpları	17
2.7.3. Enlemsel Dalga Kayıpları.....	17
2.8. Ulaşma Süresi	18
3. SUALTI AKUSTİK MODELLERİ KULLANICI ARAYÜZÜ	19
3.1. Senaryo Veri Giriş Ekranı.....	19
3.1.1. Transmitter Alanı	20
3.1.2. Receiver Alanı	21

3.1.3. Sea Condition Alanı.....	21
3.1.4. Profile – Profile Editor Alanı.....	21
3.1.5. Bottom Profile Alanı.....	22
3.1.6. Area Alanı.....	22
3.1.7. Main Operation Alanı.....	22
3.2. Menu ve Hesaplama İşletimi Alanı.....	23
3.2.1. File Alanı.....	23
3.2.1.1. New Seçeneği.....	23
3.2.1.2. Open Seçeneği.....	23
3.2.1.3. Save Project Seçeneği.....	23
3.2.1.4. Print Snapshot Seçeneği.....	23
3.2.1.5. Exit Seçeneği.....	24
3.2.2. Edit Alanı.....	24
3.2.2.1. Input Parameters.....	24
3.2.2.2. Scenario Database.....	24
3.2.2.3. Copy Ray Image.....	24
3.2.2.4. Copy TL Image.....	24
3.2.3. Calculation Alanı.....	25
3.2.3.1. Execute Seçeneği.....	25
3.2.3.2. Accuracy Seçeneği.....	25
3.2.4. Help Alanı.....	25
3.2.4.1. About Seçeneği.....	25
3.2.4.2. Help Seçeneği.....	26
3.3. Senaryo Kayıt Yükleme Silme.....	27
3.4. Ana Bilgi Ekranı.....	28
3.4.1. Işın İzleme Grafik Alanı.....	29
3.4.2. İletim Kaybı Grafik Alanı.....	30
3.4.3. Info Box Alanı.....	31
3.4.4. Kursör Alanı.....	32
3.4.5. Hesaplama Tipi Alanı.....	32
3.5. Comment ekranı.....	32
4. Değerlendirme.....	34

5. Sonuç	45
Kaynaklar	46
Özgeçmiş	47

SEMBOL LİSTESİ

A	Akustik Dalga Genliği
B	Suyun Elastik Özelliği
C	Ses Hızı
D	Laplace Operatörü
H	Derinlik
K	Dalga Sayısı
P	Su Yoğunluğu
PL	Propagation Loss (Yayılım Kaybı)
R	Konum Vektörü
S	Tuzluluk
T	Sıcaklık
TL	Transmission Loss (İletim Kaybı)
U	Akustik Basınç
V	Hacim
Y	Faz Değişimi
Z	Ortam Zerrecikleri Hızı
θ	Açı
Γ	Yansıma Katsayısı Genliği
ϕ	Yansıma Katsayısı Fazı
∇	Nabla Operatörü
S	Işın Paketlerinin Kesit Alanı

KISALTMA LİSTESİ

ARTS	Acoustic Ray Tracing System
ASDICS	Anti-Submarine Division Ics.
DIY	Direk Işın Yolu
DYIY	Dipten Yansıyan Işın Yolu
GDI	Gaussian Demet İzleme
YDD	Yardımcı Diferansiyel Denklem
YDYIY	Yüzeyden Dibe Yansıyan Işın Yolu
YYIY	Yüzeyden Yansıyan Işın Yolu

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2-1 Ses Hızı Profili	4
Şekil 2-2 Yumuşak ve sivri uçlu kostik oluşumu	13
Şekil 2-3 İki katmanlı deniz ortamında akustik dalganın kırılması	5
Şekil 2-4 Kritik açı ve toplam iç yansıma	6
Şekil 2-5 Farklı Işın Yolları	9
Şekil 2-6 Işın paketlerinin geometrik yapısı	10
Şekil 2-7($\theta - r$) diyagramları	11
Şekil 2-8 Frekans ve Menzile Bağlı Yayılım Kaybı	17
Şekil 3-1 Veri Giriş Ekranı	20
Şekil 3-2 Hakkında Bilgi Ekranı	26
Şekil 3-3 Yardım Menüsü Ekranı	27
Şekil 3-4 Senaryo Ekranı	28
Şekil 3-5 Ana Bilgi Ekranı	29
Şekil 3-6 Işın İzleri Grafik Alanı	30
Şekil 3-7 Yayılım Kaybı Grafik Alanı	31
Şekil 3-8 Veri Giriş Ekranı	31
Şekil 3-9 Kursör Bilgi Alanı	32
Şekil 3-10 Hesaplama Tipi Bilgi Alanı	32
Şekil 3-11 Açıklama Girdi Ekranı	33
Şekil 5-1 1. Test Senaryosu Bellhoop Işın İzleri Grafiği	35
Şekil 5-2 1. Test Senaryosu ARTS Işın İzleri Grafiği	35
Şekil 5-3 1. Test Senaryosu Bellhop Yayılım Kaybı Grafiği	35
Şekil 5-4 1. Test Senaryosu ARTS Yayılım Kaybı Grafiği	36
Şekil 5-5 2. Test Senaryosu Bellhop Işın İzleri Grafiği	37
Şekil 5-6 2. Test Senaryosu ARTS Işın İzleri Grafiği	37
Şekil 5-7 2. Test Senaryosu Bellhop Yayılım Kaybı Grafiği	37
Şekil 5-8 2. Test Senaryosu ARTS Yayılım Kaybı Grafiği	38
Şekil 5-9 3. Test Senaryosu Bellhop Işın İzleri Grafiği	39
Şekil 5-10 3. Test Senaryosu ARTS Işın İzleri Grafiği	39
Şekil 5-11 3. Test Senaryosu Bellhop Yayılım Kaybı Grafiği	40

Şekil 5-12 3. Test Senaryosu ARTS Yayılım Kaybı Grafiği.....	40
Şekil 5-13 4. Test Senaryosu Bellhop Işın İzleri Grafiği.....	41
Şekil 5-14 3. Test Senaryosu ARTS Işın İzleri Grafiği	41
Şekil 5-15 4. Test Senaryosu Bellhop Yayılım Kaybı Grafiği	42
Şekil 5-16 4. Test Senaryosu ARTS Yayılım Kaybı Grafiği.....	42

TABLO LİSTESİ

Tablo 5-1 1. Test Senaryosu Profil Bilgileri.....	34
Tablo 5-2 1. Test Senaryosu Saha Bilgileri	34
Tablo 5-3 2. Test Senaryosu Profil Bilgileri.....	36
Tablo 5-4 2. Test Senaryosu Saha Bilgileri	36
Tablo 5-5 3. Test Senaryosu Profil Bilgileri.....	38
Tablo 5-6 3. Test Senaryosu Saha Bilgileri	38
Tablo 5-7 4. Test Senaryosu Profil Bilgileri.....	40
Tablo 5-8 4. Test Senaryosu Saha Bilgileri	40

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarımın gerçekleşmesinde çok büyük desteği olan tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. A. Gökhan Yavuz'a, yüksek lisans programım süresince bana verdikleri eğitim ve ilgileri nedeniyle Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünde görevli olan tüm öğretim üyelerine ve asistanlarına teşekkür ederim.

Sualtı Akustiği Işın İzleme Yöntemi ve Yayılım Kaybı Hesabı model algoritmalarının geliştirilmesinde büyük emeği olan Sayın Dr. Deniz Bölükbaş'a, Sayın Yrd. Doç. Dr. Serkan Aksoy'a ve Sayın Dr. Hüseyin Avni Serim'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim süresince bana hep destek olan ve sabır gösteren; gösterdikleri sevgi, destek ve özveriyle bana kuvvet veren anneme, babama ve kardeşime en içten dileklerle teşekkür ederim.

ÖZET

Işın İzleme (Ray Tracing) Yöntemi optik, elektromanyetik, akustik, jeofizik v.b. alanlarda dalga yayılım problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan bir çözüm yöntemidir. Temeli 15. Yüzyıla dayanan sualtı akustiğinde geliştirilen Işın İzleme yöntemlerinden Gaussian Demet İzleme Yöntemi, ışın izleme yönteme dayanan ve ışın izlemenin kostik (bir çeşit süreksizlik) ve mükemmel gölge bölge gibi sorunlarını çözen daha karmaşık bir algoritmadır. Bu algoritma, su altı akustiğinde, ışın yollarının, iletim kaybının ve sinyal ulaşma zamanlarının hesaplanmasında kullanılır. Gaussian Demet İzleme Yöntemi, bir yüksek frekans tekniği olması nedeniyle, derin su ve çok uzak menzil problemlerini hızlı olarak çözebilmektedir. Özel olarak Işın İzleme yöntemi sualtı akustik uygulamalarında ses yayılım yollarının belirlenmesinde, İletim Kaybı hesapları ile sesin vericiden alıcıya ulaşma zamanının hesaplanmasında kullanılır. Hesap işlemi sırasında kullanılan en önemli parametre, hesabın yapıldığı ortama ait ses hızı profili bilgisidir. Her ses hızı farkı su ortamında bir katman yaratır ve bu katmanlar arasında ses Snell yasasına bağlı olarak hareket eder. Sesin izlediği yol boyunca her attığı adım hesaplanarak ulaştığı mesafe ya da varış süresi bilgilerine ulaşılabilir. Işın İzleme sesin enerjisinin bittiği ya da hedefe çarptığı zaman kadar devam eder. Hedefe çarpma işleminin gerçekleşmesi için hedefin ışın yolunda bulunması gerekir. Sesin ilerlemesi esnasında ses ışını izlediği yol boyunca enerjisinde kayıplar yaşar ve bu kayıpların toplamına İletim Kaybı denir. İletim Kaybı; sesin yayılarak enerjisini kaybetmesinden, sesin enerjisinin ısıya dönüşmesinden, su içerisinde partiküllere çarpmasından yada dip ve yüzey yansımalarından kaynaklanabilir. Bu tez kapsamında, sualtı akustik dalga yayılım algoritmaları çalışmaları kapsamında Işın İzleme algoritması ile algoritmayı kullanıcının kolay kullanması amacıyla tasarlanan ileri seviyeli parametrik bir arayüz geliştirilmiştir. Tez kapsamında geliştirilen yazılımda yayılımın yapılacağı ortamın parametreleri, ses ışınını gönderecek olan kaynağa ait özellikler, ulaşılması istenen hedefe ait özellikler, ses hızı profili, sıcaklık profili ve saha parametreleri kullanıcı tarafından girilerek görsel analiz yapılması ve taşınabilir bir simülasyon ortamı sağlanması sağlanmıştır. Geliştirilen yazılım; senaryo veri giriş ekranı, hesaplama işletimi alanı, senaryo kayıt/yükleme/silme alanı, Işın İzleme alanı ve

İletim Kaybı alanı olmak üzere 5 ana bölümden oluşur. Bu yazılım yardımı ile hesaplanan sualtı ses yayılım yolları ve İletim Kayıpları, izlenebilmektedir.

ABSTRACT

Ray Tracing Method is widely used in optics, electromagnetics, acoustics and geophysics as a solution of wave propagation problems. Gaussian Beam Tracing is a complicated method that solves caustic and perfect shadow problems which depends on Ray Tracing Method. This algorithm is used for calculating ray paths, transmission loss and ray travel time. Gaussian Beam Tracing Method is one of problem solving algorithm at underwater acoustics since 15. Century, which can solve acoustic problems for deep water and long distances by reason of being high frequency technique. This algorithm is used for calculating ray paths, transmission losses and travel time of ray in underwater acoustic. Ray Tracing Method is used for determining sound propagation paths, transmission loss calculations and to find travel time passes between transmitter and receiver. Sound speed profile is the most important parameter for calculation process. Every difference in sound speed profile makes a layer in water and sound travels between these layers belonging to Snell's Law. The range or travel time of sound can be calculated by every step of sound in sound propagation path. Tracing ray continues till the energy of sound finishes or sound arrives to the target. Echo from a target can only come true if the target is on the way of ray path. In every step in ray path, ray loses its energy and sum of these loses named Transmission Loss. Transmission Loss can be caused by spreading, absorption, scattering and reflection. In this thesis; Ray Tracing Algorithm, within underwater acoustic wave propagation algorithm calculation, and high level parametric user interface is developed. The software which is developed in this thesis; provides to be able to analyze graphical outputs in a portable simulation and the user can set parameters of sea condition, transmitter, target, sound speed profile, temperature profile and area. This software includes 5 parts, which are input scene, scenario scene, ray tracing graph and transmission loss graph. Sound propagation paths and transmission loss can be calculated by user inputs and can be analyzed by user interface.

1. GİRİŞ

Işın izleme (Ray Tracing), optik, elektromanyetik, akustik, jeofizik ve bilgisayar grafikleri gibi pek çok alanda değişik amaçlarla yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir⁰. Bu yöntem, ışığın veya yüksek frekans bölgesinde dalganın, ışın gibi davranmasına dayanır. Gaussian Demet İzleme Yöntemi, ışın izleme yönteme dayanan ve ışın izlemenin kostik (bir çeşit süreksizlik) ve mükemmel gölge bölge gibi sorunlarını çözen daha karmaşık bir algoritmadır. Bu algoritma, su altı akustiğinde, ışın yollarının, iletim kaybının ve sinyal ulaşma zamanlarının hesaplanmasında kullanılır. Gaussian Demet İzleme Yöntemi (en genel halde ışın izleme yöntemi), bir yüksek frekans tekniği olması nedeniyle, derin su ve çok uzak menzil problemlerini hızlı olarak çözebilmektedir. Alçak frekans ve sığ su problemlerinde nispeten kaba sonuçlar vermesine rağmen, yüksek frekans problemlerinde şu an için alternatifi yoktur⁰.

Bu tezde, geliştirilen Gaussian Demet İzleme Yöntemi ve bu yöntemin girdi ve çıktılarını görsel olarak kullanıcı tarafından kontrolünü sağlayan kullanıcı arayüzü tanıtılacaktır. Öncelikle yönteme ait teorik temelleri anlatılacaktır. Bunun dışında, akustik uygulamaların tarihçesinden bahsedilecektir. Ardından, ışın izleme yönteminin temel girdisi olan ses hızı ve ses hızı profili hakkında bilgi verilecektir. Akustik basınç ve empedans hakkında bilgi aktarılmasının ardından Işın İzleri yönteminde karşılaşılan problemler hakkında bilgi aktarılacaktır. Işın İzleme yönteminin temel prensibi olan Snell Yasası, yansıma ve iletim hakkında bilgi aktarılacaktır. ARTS yazılımında geliştirilen ve kullanılan akustik uygulama bilgilerinden Kritik Açık, Işın İzleme, İletim Kaybı ve Ulaşma süresi hakkında bilgi verilerek ARTS yazılımı teorik bilgi aktarımı tamamlanacaktır. Ardından, akustik bilgi girdilerinin ve çıktılarının yönetilmesinde kullanılan kullanıcı arayüzü hakkında bilgi verilecektir. Kullanıcı arayüzünü oluşturan parçalardan biri olan Senaryo Veri Giriş Ekranı hakkında bilgi verilecektir. Ardından, Ana Menü seçenekleri ve Hesaplama İşletimi hakkında bilgi verilecek ve kullanıcı tarafından oluşturulan senaryo bilgilerinin yönetilmesini sağlayan Senaryo Kayıt/Yükleme/Silme ekranı hakkında bilgi verilecektir. Geliştirilen yazılım hakkında özet bilgi içeren Comment ekranı ve About ekranı hakkında bilgi verilmesinin ardından yazılımın geliştirilme sebebi olan Işın İzleme ve Yayılım Kaybı algoritmalarının sonuçlarının sergilendiği Işın İzleme ve İletim Kaybı Arayüzleri hakkında bilgi aktarılacaktır.

2. GELİŞME

2.1. Akustik Tarihçe

Akustik uygulamalar uzun zamandır üzerinde araştırmaların geliştirildiği araştırma alanıdır. Leonardo da Vinci 1490 yılında ses dalgaları ile ilk gemi tespitini gerçekteşirmiştir. 1687 yılında Isaac Newton ses hızının ilk teorik tahmini hesabı gerçekteşirmiştir. 1827 yılında ilk su altı ses hız ölçme deneyi (Genava gölü- İsviçre), D. Colladan ve C. Sturm tarafından gerçekteşirilmiştir. 1900'lü yılların başında sualtı sonarları ilk defa ticari uygulaması gerçekteşirilmiştir. 1912 yılında gerçekteşen Titanik kazası ile sonar sistemleri büyük önem kazanmıştır. 1914 yılında 0.5 – 1 kHz frekanslarında ve 2 mil uzaktan buz dağlarını tespit edebilen ilk aktif sonar sistemi R. A. Fessendon tarafından uygulanmış ve Amerikan gemilerinde kullanılmıştır. I. Dünya Savaşı yıllarında pasif sonar tespiti deneyleri gerçekteşirilmiştir. 1918 yılında P. Langevin ve C. Chilowsky tarafından geliştirilen 1500 m menzilli daha kararlı sonar sistemlerinin kullanılmıştır. İngilizler tarafından ASDICS (*Anti-Submarine Division Ics*) isimli gelişmiş sonar sistemlerinin kullanılmıştır. 1925 yılında sonarın derinlik ölçme amaçlı kullanımı gerçekteşirilmiştir. 1937 yılında A. F. Spilhaus tarafından Bathy Thermograph (derinliğe bağlı sıcaklık ölçen cihaz)'ın icadı gerçekteşirilmiştir. II. Dünya savaşında ABD gemilerinin QC sonarlar ile donatılmıştır. II. Dünya savaşında ABD denizaltılarının JP dinleme aygıtlarının geliştirilmiştir. Almanlar tarafından ALGERICH adı verilen ses dalgalarını emen malzemeleri geliştirilmiştir. Almanların GERAT adlı dizi dinleme aygıtlı sonar sistemi geliştirilmiştir. Bunu yüksek güç ve alçak frekanslarda sonarların kullanımı gelişmeleri izlemiştir. Yine 1900'lü yıllarda ABD tarafından sesle çalışan torpido, mayın ve tarama sistemleri, sonar sistemlerine işaret işleme tekniklerinin uygulanması çalışmaları gerçekteşirmiştir. II. Dünya Savaş'ı sonrasında sonarla, deniz dibi jeolojik araştırmalar yapma, batık gemi bulma, balık sürülerini tespit etme v.b. konularda uygulamaların yapılması çalışmaları gerçekteşirilmiştir.

2.2. Ses Hızı – Profili

Su altında ses hızı

$$c = \sqrt{\frac{\text{Elastik Özellikler}}{\text{Atalet Özellikleri}}} = \sqrt{\frac{b}{r}} \quad (2.1)$$

olarak verilir. Burada β (Newton/m² veya Pa) suyun elastik özelliği (*bulk modulus*), ρ su yoğunluğunu (kg/m³), c ses hızını (m/sn) gösterir. Burada β

$$b = -V \frac{du}{dV} \quad (2.2)$$

formülü ile verilir. Burada V hacim, u akustik basıncı gösterir. Buna göre havada ses hızı $\beta=1.42 \times 10^5$ (Newton/m²) ve $\rho=1.3$ (kg/m³) olmak üzere, yaklaşık 330 m/sn, deniz suyunda ses hızı $\beta=2.06 \times 10^9$ (Newton/m²) ve $\rho=1$ (kg/m³) olmak üzere, yaklaşık 1435 m/sn olarak bulunur. Buna karşın elektromagnetik dalganın havada yayılım hızı ışık hızı olan 3×10^8 m/sn'dir.

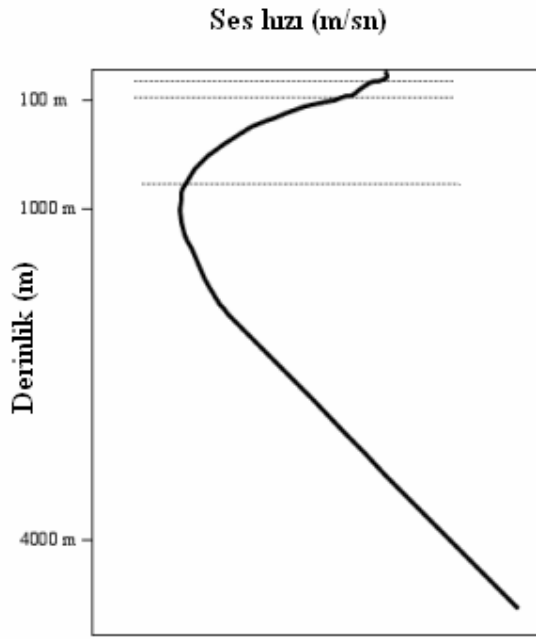
Ses hızı profilleri (*Sound speed profile, SSP*) derinliğe göre ses hızının değişimini gösteren grafiklerdir. SSP'ler hava durumuna, mevsime, tuzluluğa v.b. bağlıdır. Tuzluluk çoğu kez 35 ppt olarak sabit kabul edilir. Ses hızının derinlik, sıcaklık, tuzluluk v.b. parametrelere bağlılığı deneysel verilere dayanan çeşitli biçimlerde formülize edilmiştir. Bu formüllerden en önemlilerinden birisi

$$c = 1492.9 + 3(T - 10) - 6 \cdot 10^{-3}(T - 10)^2 - 4 \cdot 10^{-2}(T - 18) + 1.2(S - 35) - 10^{-2}(T - 18)(S - 35) + H / 61 \quad (2.3)$$

olarak verilir. Burada T (°C) sıcaklık, S (ppt, parts per thousand) tuzluluğu, H (m) derinlik olarak verilir. Örneğin 10°C derece sıcaklıkta yaklaşık 0 m derinlikte 35 ppt oranında tuzlulukta ses hızı 1490 m/sn bulunur. Yine ses hızının sıcaklık, tuzluluk ve derinlikle değişimini tanımlayan yaklaşık katsayılar

$$\begin{aligned}\frac{Dc}{DT} &= 3.4 \text{ m / s per } ^\circ\text{C} \\ \frac{Dc}{DS} &= 1.2 \text{ m / s per ppt} \\ \frac{Dc}{DH} &= 17 \text{ m / s per } 1000 \text{ m}\end{aligned}\tag{2.4}$$

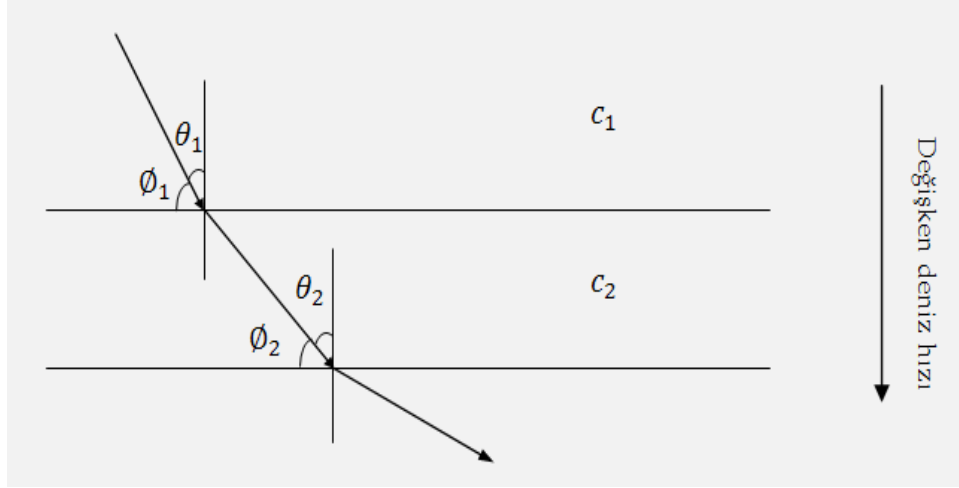
olarak verilir. Burada görüldüğü gibi tüm parametrelerdeki değişimler ses hızının artışına neden olmaktadır. Derinlikle su sıcaklığının değişimi tespiti en zor olan işlem olup, Bathythermography denilen aletlerle **0.25 °C** doğrulukla ölçülebilirler. Ses hız profili aşağıdaki gibi grafikte deniz suyu derinliğine bağlı olarak gösterilebilir (**1** deniz mili (*nautical miles*) **1852 m** olup, saatte 1 deniz mili hareket hızına **1 knot** hız ad verilir)0.



Şekil 2-1 Ses Hızı Profili

2.3. Snell Yasası Yansıma İletim

Deniz ortamının katmanlı bir yapı olarak düşünülmesi oldukça gerçekçi bir modeldir. Bu kapsamda katmanlar arasında dalga geçişinin hesaplanması için *Snell yasası* kullanılır0.



Şekil 2-2 İki katmanlı deniz ortamında akustik dalganın kırılması

Snell yasasında geliş açısı katman yüzeyine göre alınırsa;

$$\frac{\cos\phi_1}{c_1} = \frac{\cos\phi_2}{c_2} = \quad (2.5)$$

Geliş açısının katman yüzeyi normaline göre alınırsa;

$$\frac{\sin\theta_1}{c_1} = \frac{\sin\theta_2}{c_2} = \quad (2.6)$$

olarak verilir. Bu kapsamda Snell yasası kullanılarak θ_1 ve θ_2 arasındaki ilişki

$$\theta_2 = \arcsin\left(\frac{c_2}{c_1} \sin\theta_1\right) \quad (2.7)$$

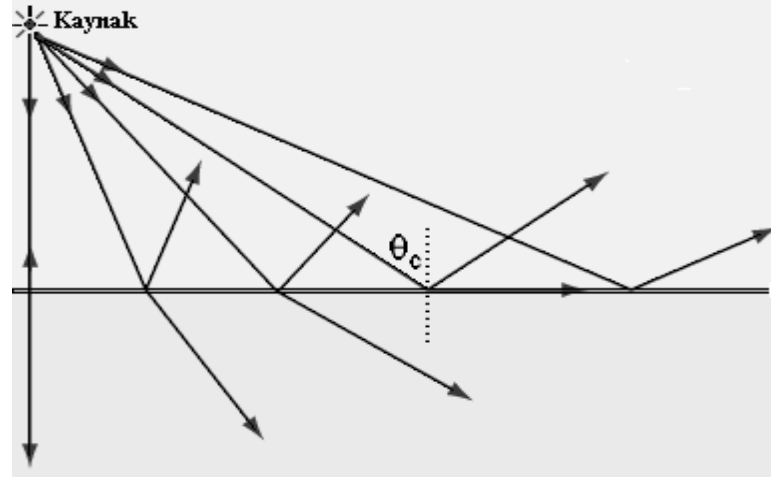
olarak verilir.

2.4. Kritik Açısı

Snell yasasına göre $c_2^2 \sin^2\theta_1 = c_1^2 \sin^2\theta_2$ bağıntısı ile

$$\left(\frac{c_2}{c_1}\right)^2 \sin^2\theta_1 = \sin^2\theta_2 = 1 - \cos^2\theta_2 \Rightarrow \cos\theta_2 = \sqrt{1 - \left(\frac{c_2}{c_1}\right)^2 \sin^2\theta_1} \quad (2.8)$$

olarak yazılabilir. Burada $|\sin\theta_2| \leq 1$ aralığında değerler alacağından, $c_2/c_1 < 1$ ise θ_2 reel bir açı olmaktadır. Fakat $c_2/c_1 > 1$ ise, geliş açısının belli ve kritik bir $\theta_1 = \theta_c = \theta_{kritik}$ değerinden sonra θ_2 kompleks değerler alır. Bu durum ikinci bölgeye geçiş olmadığını gösterirken, θ_{kritik} kritik açı adını alır. $\theta_2 \geq \theta_{kritik}$ iken kritik açıdan daha büyük açılarda sınırdan tam yansıma (*total internal reflection*) olmaktadır. Bu durum aşağıdaki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 2-3 Kritik açı ve toplam iç yansıma

Kritik açının hesaplanması için, kırılan dalganın açısının $\theta_2 = \pi/2$ derece olması gerekliliğinden yola çıkarak, Snell yasası kullanılarak

$$c_2^2 \sin^2 \theta_1 = c_1^2 \sin^2 \left(\frac{\pi}{2} \right) \Rightarrow \theta_1 = \arcsin \left(\frac{c_1}{c_2} \right) \quad (2.9)$$

bulunur. Toplam iç yansıma durumunda denklemini

$$\cos \theta_2 = j \sqrt{\left(\frac{c_2}{c_1} \right)^2 \sin^2 \theta_1 - 1} = \mp j \gamma \quad (2.10)$$

olacaktır. Bu durumda $-j\gamma$ zayıflamayı gösterdiğinden çözüm olarak seçilirse, yansıma katsayısı

$$\Gamma = \frac{\rho_2 c_2 \cos \theta_2 - \rho_1 c_1 \cos \theta_1}{\rho_2 c_2 \cos \theta_2 + \rho_1 c_1 \cos \theta_1} = \frac{\rho_2 c_2 \cos \theta_2 + j \rho_1 c_1 Y}{\rho_2 c_2 \cos \theta_2 - j \rho_1 c_1 Y} = |\Gamma| e^{j2\phi} \quad (2.11)$$

halini alır. Burada kompleks eşlenik iki sayının bölümü nedeni ile yansımaya katsayısının genliği $|\Gamma| = 1$ iken, yansımaya katsayısının fazı ise

$$\phi = \arctan \left(\frac{\rho_1 c_1 Y}{\rho_2 c_2 \cos \theta_1} \right) \quad (2.12)$$

olarak bulunur. Kritik açıdan daha küçük açılarda $|\Gamma| < 1$ olacaktır.

2.5. Işın İzleme

Sualtı akustik dalga yayılım modellerinde özellikle aktif sinyal iletiminde yoğun olarak kullanılan Işın İzleme Yöntemi temelde indirgenmiş dalga denkleminde (Helmholtz denklemi) dayanmaktadır. İlk kez etkin olarak İkinci Dünya Savaşı yıllarında deniz savaşlarında kullanılan sonarların performanslarını tahmin etmek üzere kullanılmıştır. Işın İzleme Yöntemi ile incelenecek deniz ortamının yoğunluk, ses hızı gibi parametrelerine bağlı olarak tanımlanan dalga yayılım yollarındaki ışın demetlerinin izlenmesi mümkün olabilmektedir. Böylece hesaplanan ışın demetleri aracılığıyla hesaplanan İletim Kayıplarının da değerlendirilmesi sonucu sonar tespit bölgelerinin (*sonar detection zone*) tahmin edilmesi sağlanmaktadır.

Sualtı akustiğindeki birçok uygulamada monokromatik (tek frekanslı) kaynakların oluşturduğu akustik dalgalar kullanıldığından, sualtı akustik dalga yayılım karakterinin tanımlanmasında

$$Du(\mathbf{r}) + k^2 u(\mathbf{r}) = 0 \quad (2.13)$$

olarak verilen Helmholtz denkleminin çözümleri kullanılmaktadır. Burada D Laplace operatörünü, $u(\mathbf{r})$ konuma bağlı akustik basınç dağılımını, \mathbf{r} konum vektörünü ve k dalga sayısını gösterir. Özel olarak $k = k(\mathbf{r})$ olacak biçimde dalga sayısının konuma

bağlı olarak değişmesi durumunda, belli durumlar altında yine Helmholtz denkleminin geçerliliğini göstermek mümkündür. Burada $k = k(\mathbf{r})$ olması dalga sayısının

$$k = k(\mathbf{r}) = \frac{w}{c(\mathbf{r})} \quad (2.14)$$

olarak w açısal frekansı göstermek üzere, ses hızının $c(\mathbf{r}) = c(r, z, f)$ biçiminde menzil, derinlik, açı gibi konuma bağlı olmasını gerektirir. Sualtı akustiğinde deniz ortamında ses hızı özellikle derinlikle (z) önemli oranda değiştiğinden $k = k(\mathbf{r})$ şartı altında Işın İzleme Yöntemi'nin geliştirilmesi son derece önemlidir. Işın İzleme Yöntemi

$$u(\mathbf{r}, w) ; e^{-jky(\mathbf{r})} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{u_n(\mathbf{r})}{(jw)^n} \quad (2.15)$$

olarak verilen ve Luneberg- Kline asimptotik seri açılımı olarak bilinen akustik basınç eşdeğer ifadesinin Helmholtz denkleminde yerine konulması ile ω 'nın farklı kuvvetlerinin katsayılarının ayrı ayrı sıfır olması durumuna dayalı olarak

$$2\tilde{N}u_0(\mathbf{r})\tilde{N}y(\mathbf{r}) + u_0(\mathbf{r})Dy(\mathbf{r}) = 0 \quad (2.16)$$

$$|\tilde{N}y(\mathbf{r})|^2 = n^2(\mathbf{r}) \quad (2.17)$$

biçiminde elde edilen denklemlerin çözümüne dayanır. Burada $n(\mathbf{r})$ ortamın kırılma indisini, \tilde{N} Nabla operatörünü, $y(\mathbf{r})$ konuma bağlı faz değişimini göstermek üzere, ilk denklem *İletim denklemi*, ikinci denklem ise *Eikonal denklem* adı ile bilinir. Özel olarak bu çıkartımda Luneburg-Kline serisinin Geometrik Optiğin yüksek frekans yaklaşımı nedeniyle yalnızca ilk terimi dikkate alınır⁰. Geometrik Optiğin akustik yaklaşımı ise bir dalga boyu mesafede ses hızı profili gradyanının değişiminin c/l 'nin gradyanının değişimine göre küçük olduğu varsayımına dayanmaktadır. Temelde Eikonal denklemdeki $\tilde{N}y(\mathbf{r})$ güç akışı yönünde yani dalga ilerleme yönünde olup

$$\tilde{N}_y(\mathbf{r}) = n(\mathbf{r})\hat{s} \quad \S \quad \frac{d}{ds}n(\mathbf{r})\hat{s} = \tilde{N}n(\mathbf{r}) \quad (2.18)$$

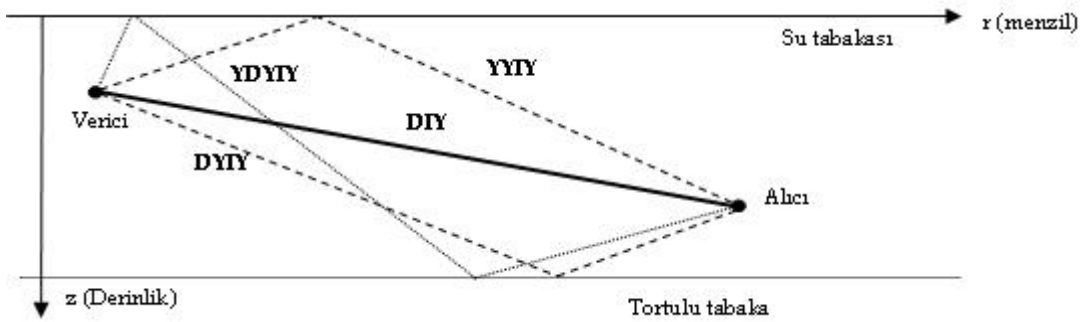
olmak üzere ışın yollarını gösterir. İletim Kayıplarının (*Transmission Loss, TL*) hesaplanmasında ise daha pratik olması bakımından, iletim denkleminin çözümünün yerine, akustik enerjinin yayılım yolları boyunca korunumu prensibine dayalı olarak Snell Yasası kullanılır. Bu çalışmada geliştirilen Işın İzleme Yöntemi özel olarak menzil ve derinliğe bağlı olarak iki boyutlu silindirik koordinatlarda ve ses hızının sadece derinlikle değiştiği varsayımı altında geliştirilmiştir.

2.5.1. Işın Yolları

Genellikle su altı akustiğinde

- Direk ışın yolu (DIY) ,
- Yüzeyden yansıyan ışın yolu (YYIY),
- Dipten yansıyan ışın yolu (DYIY),
- Yüzeyden dibe yansıyan ışın yolu (YDYIY),

olmak üzere dört temel ışın yolu dikkate alınarak Şekil 2-5’de gösterildiği gibi hesaplamalar yapılabilir. Böylece sınır etkileşimleri ve hacimsel etkilerin hesaplanması mümkün olabilmektedir.



Şekil 2-4 Farklı Işın Yolları

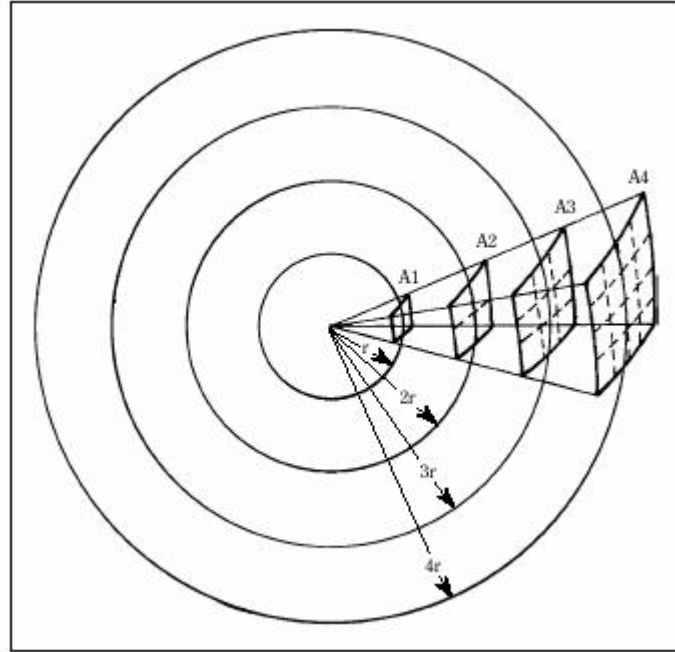
Geometrik akustik yaklaşımı ışın izleri yönteminin yüksek frekanslarda kullanılabilmesine izin verir. Bu kapsamda yüksek frekans sınırlandırılması

$$f > 10 \frac{v}{d} \quad (2.19)$$

şartının sağlanması gerekir. Burada f çalışma frekansı, v ses hızını ve d kanal derinliğini gösterir. Işın paketleri boyunca enerjinin korunumu prensibi kullanılarak yoğunluğun sabit kabul edilmesi ile

$$A_2 = \sqrt{\frac{c_2 S_1}{c_1 S_2}} A_1 \quad (2.20)$$

bağıntısı yazılabilir. Burada şekil 2’de gösterildiği gibi $i = 1,2$ olmak üzere iki farklı bölge için sırası ile $c_1 = c_1(x_1, y_1, z_1)$ ve $c_2 = c_2(x_2, y_2, z_2)$ ses hızını, $A_1 = A_1(x_1, y_1, z_1)$ ve $A_2 = A_2(x_2, y_2, z_2)$ akustik dalga genliğini, $S_1 = S_1(x_1, y_1, z_1)$ ve $S_2 = S_2(x_2, y_2, z_2)$ ise ışın paketlerinin kesit alanını gösterir.

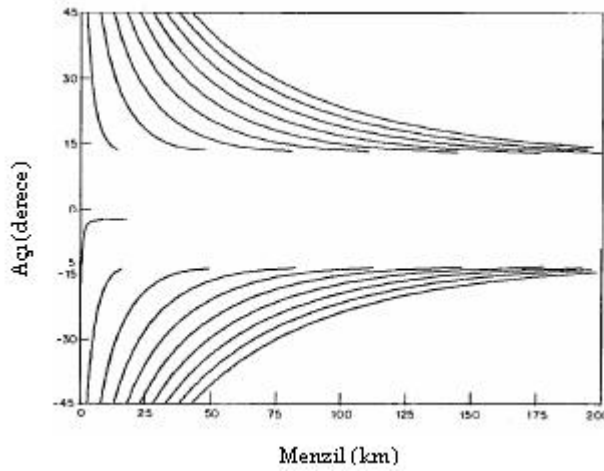


Şekil 2-5 Işın paketlerinin geometrik yapısı.

Işın izleri yönteminde vericiden gönderilen bir ışın ile seçilen yol boyunca ve istenilen açılarda alıcıya ulaşan ışınlardan faydalanılarak yayılım kayıpları hesaplanabilir. Söz konusu ışın yolu frekansa bağlı olmamakla beraber, alıcı ve vericinin derinliğine bağlıdır. Sadece ilgili ışın yolu boyunca yayılım kayıplarının normal mod v.b. bir yöntemle hesaplanması tüm problem uzayında hesap yapmak zorunluluğu getirdiğinden daha maliyetlidir.

2.5.2. Alternatif Işın İzleri Gösterimi

Akustik bir problemin çözümü olarak belli bir yol boyunca hesaplanan ışınlar klasik gösterilimin (derinliğe göre menzil boyunca) yanı sıra, alıcıya farklı açılarda menzil boyunca ne şekilde ulaştığını gösterecek biçimde de Şekil 2-6'deki gibi $(\theta-r)$ diyagramları olarak gösterilebilir. Buna göre çoğunlukla negatif açılar aşağıya doğru kırılan ışınları, pozitif açılar ise yukarıya doğru kırılan ışınları gösterir. Bu gösterim özellikle çok-yollu (*multi-path*) yayılımı ayırt etme, çevre gürültüsünün dikey yönlülüğünün ve dikey olarak yönlendirilmiş hidrofon dizilerinin performansının uygun ve doğru biçimde hesaplanabilmesi ve için gereklidir. Ek olarak bu gösterim sınır ve hacimsel reverberasyon etkilerinin hesaplanması içinde son derece önemlidir.



Şekil 2-6 $(\theta-r)$ diyagramları

Bu gösterimde dipole etkileşimleri benzer olan ışınlar aynı mertebeye sahiptirler. Yukarıdaki şekle göre örneğin kısa menzillerde görülen ters döndürülmüş L şekilli iz

direkt ışın yolunun (DIY) bir göstergesidir. Yine yatay eksenin üst ve altında görülen izler dipten yansımalarla ilgilidir. Pozitif açılarda görülen izler dipten yansıyan ışın yolundan (DYIY) alıcıya gelen ışınlar, negatif açılarda görülen izler ise yüzeyden dibe yansıyan ışın yolundan (YDYIY) alıcıya gelen ışınlar ilgili bilgileri verir. Böylece söz konusu izler menzile (r) bağlı olarak akustik kaynak ve alıcı arasındaki dip etkileşimini göstermektedir. Bu durum dip yankımalarının (*bottom reverberation*) hesaplanmasında son derece önemlidir. Bu gösterilim kostik yapılarının tanımlanmasında da son derece etkindir 0.

2.5.3. Işın İzleri Yönteminde Karşılaşılan Problemler

2.5.3.1. Demet Yerdeğiştirmesi

Işın izleri yöntemi dip yansımalarını genelde tam yansıma olarak değerlendirerek, sadece akustik şiddetin yansıma kayıpları nedeni ile azalması üzerine kuruludur. Hâlbuki gerçekte akustik enerji dipten her yöne doğru saçılmaktadır. Bu durum akustik dalgaların uzaysal olarak konumlarının değişmesine neden olmaktadır. Bu duruma demet yer değiştirmesi (*beam displacement*) adı verilir. Bir diğer etki olan zaman yer değiştirmesi de (*time displacement*) demet yer değiştirmesi kapsamında değerlendirilebilir0.

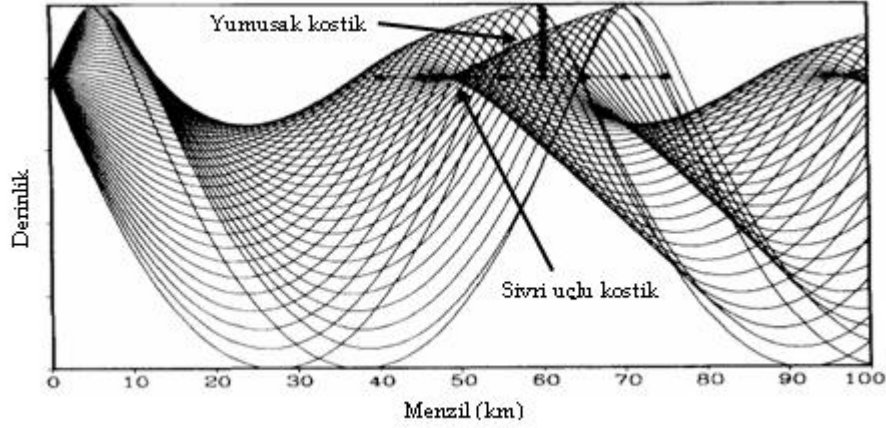
Sığ sular için iyi bir yaklaşıklık olan iki sıvı katmanlı Pekeris modelinde demet yer değiştirmelerinin etkisi araştırılmıştır. Yine son zamanlarda ışın izleri yönteminin dip etkileşimleri ve demet yer değiştirmeleri bakımından etkinliğini artırmak amacı ile çalışmalar yapılmıştır.

Geliştirilmiş ışın izleri yöntemleri demet ve zaman yer değiştirmelerini de hesaba katarak sonuçları bulabilmeleri bakımından dalga teorisi yöntemlerinden üstündürler.

2.5.3.2. Kostik (Caustic) Problemi ve Çözüm Önerileri

Yansımaların yeniden oluştuğu odaksal yüzeyler (*focal surfaces-caustic*) için geçerli olup, bu bölgelerde ve yakınlarında ışın izleme yöntemi doğru çalışmaz. Teorik olarak bu durum ses hızı profilinin ilk türevlerinde oluşan süreksizlikler nedeni olur.

Odaksal yüzeyler deniz ortamının ve sınırlarının kırılma özellikleri ile ilgili olarak birbirine yakın ve odaklanmış ışınlar nedeni ile oluşur. Şekil 2-7'de gösterildiği gibi yumuşak (*smooth*) ve sivri uçlu (*cusped*) olmak üzere iki tür kostik mevcuttur.



Şekil 2-7 Yumuşak ve sivri uçlu kostik oluşumu

Kostik yakınlarında veya gölge bölgeleri (*shadow zone*) yakınlarında yüksek mertebeden yaklaşıklıklar yapılarak akustik alan değerleri tahmin edilebilir. Kostiklerin aydınlatılmış kenarlarındaki uzaysal olarak akustik alanların tahmini için asimptotik yaklaşıklık kullanan yöntemler mevcuttur. Gölge bölgelerinde kostik sınırından uzaklaştıkça akustik dalga sönmektedir.

Kostik problemine bir diğer çözüm frekansa bağlı kırınım (*diffraction*) düzeltmeleri önerilmesi biçimindedir. Böylece Geometrik Optik yaklaşımı dışında da ışın izleri yönteminin kullanılabilmesi mümkün olabilmektedir.

Ses hızı profillerinde yapılacak düzenlemeler ile, türevlerindeki süreksizliklerden kaçınılarak kostik probleminin ortadan kaldırılmasına yönelik çalışmalarda mevcuttur.

Kostik problemine bir başka çözümde sismik uygulamalar için geliştirilmiş olan yanıl (*lateral*) dalga denkleminin çözümünde yatay kırılma indisinin direkt olarak hesaba katılması üzerine kuruludur. Bu yaklaşıma bir örnek olarak Gaussian ışın izleme yöntemidir. Bu yöntemde ışın demetlerinin Gaussian türü bir dağılımına sahip oldukları düşünülmüştür. Demet genişlikleri ve bükülmelerle ilgili olarak bir diferansiyel denklem çifti kostiklerin olduğu bölgelerin yakınlarında klasik ışın denklemleri boyunca integre edilirler. Böylece mükemmel gölge bölgeleri ve kostiklerdeki sonsuz enerji problemi v.b. hatalardan kısmen kaçınılmış olur. Bu teknik 2 boyutlu olarak yüksek frekanslarda ve menzile bağımlı uygulamalarda da etkindir. Bu tekniğin uygulanması sonucu elde edilen yayılım kayıpları normal mode çözümleri ile

karşılaştırılmış ve klasik ışın izleri yöntemine göre kostik bölgelerinde iyileşmeler görülmüştür0.

2.6. Akustik Basınç

Mekanik kuvvet olarak zamana bağlı kaynakların (sinüs v.b.) oluşturduğu akustik basıncın (*acoustic pressure*) yaptığı iş, elektrik devrelerinde olduğu gibi RMS cinsinden

$$u = \rho \cdot c \cdot v \quad (2.21)$$

olarak verilir.

Özgül akustik empedans (*Specific acoustic impedance*)

$$Z = \frac{u}{v} = \rho \cdot c \quad (2.22)$$

olarak verilir. Burada ρ (kg/m^3) su yoğunluğunu, c ses hızını m/sn , v ortam zerreciklerinin hızını m/sn olmak üzere, u akustik basıncı ($Newton/m^2$, μbar , μPa), Z (kg/m^2sn) özgül akustik empedansı gösterir. Akustik empedans için kullanılan bir diğer birimde (bilim adamı Lord Rayleigh ile ilgili olarak) *Rayl* olarak bilinir. Deniz suyun için özgül akustik empedans yaklaşık olarak 1.54×10^6 *Rayl* değerindedir.

2.7. İletim Kaybı

Yayılm kaybı (*Propagation loss, PL*) akustik kaynaktan belirli bir uzaklıkta bulunan alıcıya ulaşan ses dalgalarının toplam zayıflamasını tanımlayan bir büyüklük olup

$$PL = -10 \log \left(\frac{I_{alici}}{I_{kaynak}} \right) \quad (2.23)$$

şeklinde tanımlanır. Burada $I_{alıcı}$ kaynağın akustik merkezinden 1 m uzaklıkta akustik şiddeti, I_{kaynak} ise kaynaktan belli bir uzaklıkta bulunan alıcıda ki akustik şiddeti gösterir.

Yayılmı kayıpları genel olarak dağılıma kaybı (*spreading loss*) ve soğrulma kaybından (*absorbtion loss*) kaynaklanır. Bu kayıplarının yanısıra, denizin ve denizdeki cisimler nedeni oluşan yansıma (*reflection*), saçılma (*scattering*), kırılma (*refraction*), kırınma (*diffraction*) ve v.b. nedenlerden dolayı oluşan kayıplar da mevcuttur. Sonuç olarak toplam yayılma kaybı

$$\text{Yayılmı kayıpları} = \text{Dağılıma kayıpları} + \text{Soğrulma kayıpları} + \text{Diğer kayıplar}$$

olarak verilir. Yayılmı kayıplarındaki son terim saçılma kayıplarını ve enlemsel dalga dönüşüm kayıplarını gösterip, zaman zaman ölçüm sonuçları ile teorik sonuçlar arasında ki farkı oluşturan sebep olarak ta değerlendirilebilir.

Yayılmı kayıpları, iletim kayıpları (*Transmission loss, TL*) cinsinden $TL = -PL$ olarak ta verilir. Yayılmı kayıplarının doğru hesaplanması sonar performans modellerinin gerçek dünya bakımından başarımı açısından son derece önemlidir.

Dalga denkleminin $u = u(r, z)$ çözümleri kapsamında akustik alan dağılımı hesaplandığından, herhangi menzil ve derinlikte (r, z) iletim kayıpları (*Transmission Loss, TL*)

$$TL = -20 \log_{10} |u(r, z)| \quad (2.24)$$

denklemleri ile hesaplanabilir. Burada TL ifadesi ρ deniz suyu yoğunluğunu, I_{ref} referans akustik basınç şiddetini göstermek üzere, birim alana düşen akustik basınç şiddeti (I) olarak

$$I = \frac{u^2}{\rho c} \quad \rightarrow \quad TL = 10 \log_{10} \left| \frac{I}{I_{ref}} \right| \quad (2.25)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada faz ihmal edilirse iletim kayıpları eşevresiz (*incoherent*), aksi halde eşevreli (*coherent*) olarak bilinir.

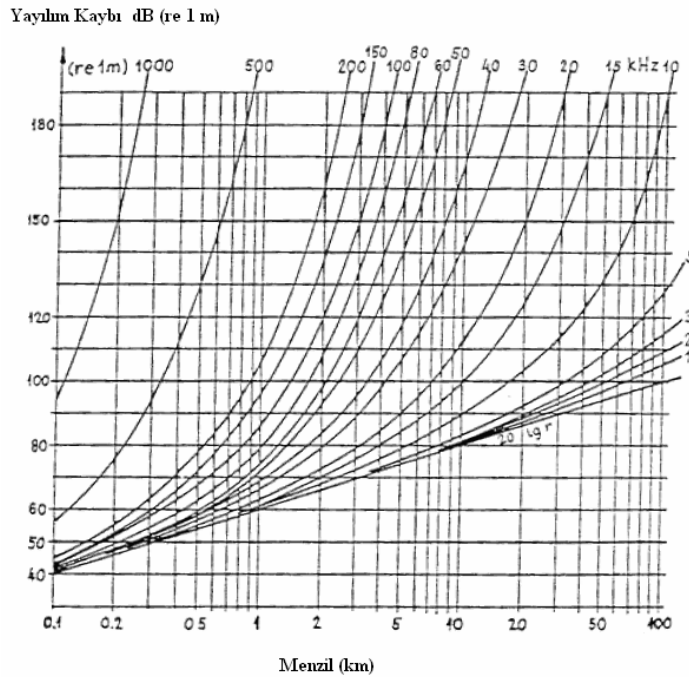
2.7.1. Dağılma Kaybı

Dağılma kayıpları (*Spreading loss*) frekanstan bağımsız olup, akustik yayılımın küresel ya da silindirik olarak kabulüne göre hesaplanır.

$$\text{Güç} = \text{Akustik Şiddet} \times \text{Alan}$$

Küresel dalga yayılımında menzil arttıkça yayılım kaybı artar. Bu durum ters kare yayılım kural (*inverse square law*) olarak bilinir.

Silindirik dalga yayılımı burada menzil arttıkça yayılım kaybı artar. Dağılma kayıpları küresel modellendiğinde, soğrulma kayıpları ile birlikte toplam yayılım kaybı olarak verilir. Yukarıda bahsedilen kayıp mekanizmalarının yanısıra çok daha karmaşık kayıplardan söz etmek mümkündür. Fakat söz konusu karmaşık kayıp mekanizmaları ölçümlerle her deniz bölgesi için incelenmelidir. Aşağıda küresel dağılma ve soğrulma kayıpları nedeni ile oluşan yayılım kayıplarının menzile bağlı değişimi, farklı frekanslar için gösterilmiştir.



Şekil 2-8 Frekans ve Menzile Bağlı Yayılım Kaybı

2.7.2. Soğrulma Kayıpları

Ses dalgası denizde yayılırken iki temel nedenden dolayı, frekansa bağlı olmak üzere soğrulma kayıpları (*absorbtion loss*) oluşur.

2.7.2.1. Viskozite Kayıpları

Akışkanlığa karşı direnç olarak bilinen viskozite (*viscosity*) nedeni ile oluşan soğrulma kayıpları tuzlu suda genel anlamda frekansın karesi ile orantılı olarak aşağıda gösterildiği gibi oluşmaktadır.

2.7.2.2. Moleküler Gevşeme Kayıpları

Ses basıncı nedeni ile su moleküllerinin iyonlaşması sonucu ortaya çıkan ve sadece tuzlu suda mevcut olan kayıplara moleküler gevşeme (*molecular relaxation*) kayıpları adı verilir. Yaklaşık 500 kHz'den daha yüksek frekanslarda akustik basınçtaki değişimler moleküler gevşeme bakımından çok hızlı olup, akustik enerji yutulmadığından zayıflamaya katkısı son derece azdır. 2kHz'den 500 kHz'e kadar olan frekans aralığında Magnezyum Sülfat gevşemesi baskın olup, 2 kHz'den daha düşük frekanslarda Borik Asit gevşemesi kayıplara etki eder.

Viskozite ve moleküler gevşeme nedeni ile oluşan kayıplar frekans, derinlik, basınç ve tuzluluğa bağlıdır. Bu bağımlılık zayıflama katsayısı (*attenuation coefficient, α (dB/km)*) olarak bilinir ve deneysel olarak 0.5 kHz ve 100 kHz frekans aralığında

$$\alpha = 0.05 \times f^{1.4} \quad (2.26)$$

formülü ile verilir. Ör: 30 kHz'de akustik dalga için $\alpha = 5 \text{ dB/km}$, fakat aynı frekansta elektromagnetik dalga için $\alpha = 7500 \text{ dB/km}$ değerindedir.

2.7.3. Enlemsel Dalga Kayıpları

Sualtında ses dalgalarının boylamsal titreşimler sonucu oluştuğundan daha önce bahsedilmekle beraber, bazı özel durumlarda boylamsal dalgaların enlemsel dalga (*shear wave*) türüne dönüşümü ve yayılımı söz konusu olmaktadır. Bu durum fazladan yayılım kayıplarına neden olmaktadır0.

2.8. Ulaşma Süresi

Saha parametrelerine uygun olarak gerçekleştirilen ışın izleri yayılımı sırasında izlediği yol ve izlediği yola bağlı olarak menzile ulaşmak için harcadığı süre önemli bir parametredir. Ulaşma zamanı hesabında en önemli parametre derinliğe bağlı ses hızı profili bilgisidir. Ses ışınının zaman içinde aldığı yolu belirlemek için ışının adım adım ilerlemesi sağlanır. Ses ışınının gideceği her adım bir önceki adım pozisyonu ve o pozisyondaki ses hızı profili bilgisi ele alınarak hesaplanır.

3. SUALTI AKUSTİK MODELLERİ KULLANICI ARAYÜZÜ

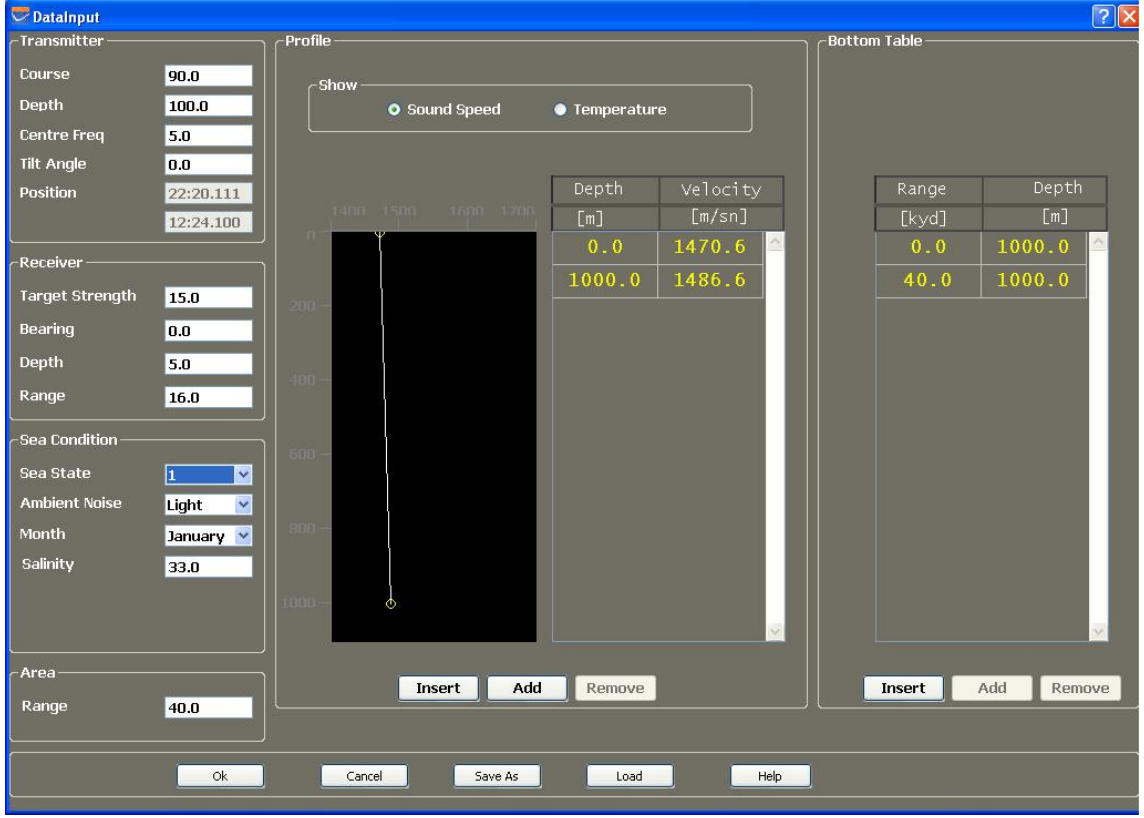
Işın İzleme Yöntemi yukarıda anlatılanlar kapsamında teorik olarak uygulanarak Akustik Işın İzleme Aracı (*ARTS, acoustic ray tracing system*) adı verilen kapsamlı bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılımda kullanım kolaylığı esas alınarak, geliştirilen bir arayüz ile kullanıcı tarafından girilecek verilerin ve sonuçların anlaşılabilir bir biçimde sunulması amacı güdülmüştür. ARTS’da arayüz elemanlarının gerçekleştiriminde QT arayüz kütüphanesi ve C++ yazılım geliştirme dili kullanılmıştır⁰. Kullanılan kütüphane ve yazılım diline karar verilmesinde en kısa zamanda en gerçekçi sonucu elde etme prensibi esas alınmıştır. Geliştirilen arayüz üzerinden Kullanıcı, vericinin konum bilgilerini, vericinin bulunduğu ortama ait bilgileri, ses hızı profil bilgilerini, sıcaklık profil bilgilerini, dip tabiatı profil bilgilerini, hesaplamada kullanılacak ışın sayısı ve hesaplama türünü seçebilmektedir. Akustik Işın İzleme Aracı

- Senaryo Veri Giriş Ekranı,
- Menü ve Hesaplama İşletimi Alanı,
- Senaryo Kayıt/ Yükleme/Silme Ekranı,
- Işın İzleme /İletim Kaybı Arayüzü Ekranı,

olmak üzere 4 temel ve farklı ekran üzerinden işlev görmektedir. Bu ekranlardan ve ilgili alt ekranlardan sağlanan fonksiyonlardan, ileriki bölümlerde açıklanacaktır.

3.1. Senaryo Veri Giriş Ekranı

Senaryo Veri Giriş Ekranı kullanıcının ARTS’da ihtiyaç duyabileceği verilerin girilmesini sağlayan arayüz ekranıdır. Şekil 1’de gösterildiği üzere gerçekleştirilen arayüzde tüm girdi verileri mantıksal gruplara ayrılarak kullanım kolaylığı sağlanmıştır.



Şekil 3-1 Veri Giriş Ekranı

Senaryo veri giriş alanı temel olarak altı bölgeden oluşmaktadır. Bunlar;

3.1.1. Transmitter Alanı

Kullanıcının vericiye ait bilgileri girebildiği alandır. *Transmitter* alanında vericinin bulunduğu yön, derinlik, pozisyon gibi konum bilgileriyle beraber merkez frekansı, verici hüzmelerinin eğim (*tilt*) açısı bilgileri girilebilmektedir. Yön bilgisi derece cinsinden girilebilmektedir. Girilen açı değeri 360 derece seviyesini aşmayacak ve 0 derece değerinden daha düşük olmayacak şekilde veri giriş kontrolleri gerçekleştirilmiştir. Verici derinlik bilgisi 500 m ile sınırlandırılmıştır ve kullanıcı veri giriş kontrolleri bu yönde gerçekleştirilmiştir. Verici merkez frekansı akustik aktarım için kullanılacak ses ışınının hangi frekans değerinde gönderileceği bilgisini içermektedir ve 1-11.9 kHz değer aralığında olacak şekilde veri giriş kontrolleri gerçekleştirilmiştir. Eğim açısı bilgisi, gönderilecek ses ışını merkez açısının yüzeye göre değerini ifade eden bir bilgidir. Eğim açısı -30 ve +30 derece aralığında olacak şekilde kullanıcı veri giriş kontrolleri gerçekleştirilmiştir.

3.1.2. Receiver Alanı

Kullanıcının alıcıya ait parametreleri girebildiği alandır. *Receiver* alanında alıcıya ait kerteriz, uzaklık, derinlik ve hedef kuvveti bilgileri girilebilmektedir. Kerteriz bilgisi alıcıya ait pusula kertelerine göre açı değerini ifade etmektedir ve 0-360 derece aralığında olacak şekilde kullanıcı veri girişleri kontrolü gerçekleştirilmiştir. Uzaklık bilgisi alıcıya ait uzaklık değerini ifade etmektedir ve alıcı uzaklığı saha menzili değerini geçmeyecek şekilde kullanıcı veri giriş kontrolleri gerçekleştirilmiştir. Alıcı derinlik bilgisi kullanıcının hangi derinlik değerinde iletim kaybı değerini görmek istediği ile ilgili bir değer olduğundan saha derinliğini aşmayacak şekilde kullanıcı veri giriş kontrolleri gerçekleştirilmiştir. Hedef kuvveti değeri, hedefin ses ışınını yansıtabilirliğini gösteren bir değerdir. Hedef kuvveti değeri 0-25 aralığında olacak şekilde kullanıcı veri giriş kontrolleri gerçekleştirilmiştir.

3.1.3. Sea Condition Alanı

Kullanıcının akustik aktarım ortamına ait bilgileri girebildiği alandır. *Sea Condition* alanında ortam değişkeni olarak deniz durumu, çevre gürültüsü, tuzluluk ve ay bilgisi değerleri girilebilmektedir. Deniz durumu bilgisi suyun dalgalılık değerini gösteren bir değerdir ve kullanıcı arayüzünde 1-6 aralığında altı değer alacak şekilde Beaufort skalasına göre belirlenmiştir. Çevre gürültüsü değeri "Light", "Moderate" ve "Heavy" olmak üzere 3 seviye olarak belirlenmiştir. Tuzluluk değeri senaryo bilgilerinin girildiği sahaya ait tuzluluk değerini ifade eder ve ses hızı profili bilgisinin hesaplanması sırasında kullanılan temel bir parametredir. Tuzluluk değeri 0.0 – 39.9 ppt değer aralığında olacak şekilde kullanıcı veri giriş kontrolleri gerçekleştirilmiştir.

3.1.4. Profile – Profile Editor Alanı

Kullanıcı tarafından ses hızı profili ve sıcaklık profili bilgilerinin güncellendiği girdi alanıdır. *Profile-Profile Editor* alanında seçilen profil bilgisine ait derinliğe karşılık profil değerinin sergilendiği grafik alan ve tablo mevcuttur.

Tablo alanında seçilen profil bilgisine bağlı olarak derinlik, ses hızı ve sıcaklık bilgilerinin girilebildiği tablo görünümde veri giriş alanı mevcuttur. Ses hızı yada sıcaklık profili değerleri derinliğe bağlı parametreler olup kullanıcı tarafından istenilen derinlikteki ses hızı ve sıcaklık değeri değiştirilebilir. Profil tablosuna kullanıcı 40 adet kayıt girdisi yapabilir.

Ses hızı değeri güncellemesi gerçekleştirilirken en genel kısıt ses hızı değerinin 1400.0 – 1700.0 m/sn aralığında olmasıdır ancak derinlik ve tuzluluk parametrelerinde hesaba katılması ile McKenzie hesabı gerçekleştirilen ses hızı değeri o anki tuzluluk ve derinlik değerine bağlı olarak güncellenebilir.

Sıcaklık profili bilgisi derinliğe bağlı sıcaklık değerlerinin güncellendiği profil alanıdır. Sıcaklık bilgisi için kullanıcının 40 farklı değer girme kısıtı vardır. Sıcaklık değerleri -4.9 ile 39.9 °C aralığında olacak şekilde kullanıcı veri giriş kontrolleri gerçekleştirilmiştir.

3.1.5. Bottom Profile Alanı

Akustik aktarım senaryosunun çalıştırılacağı ortamın dip profili bilgilerinin girildiği alandır. Dip profili bilgisi uzaklığa bağlı derinlik bilgisi olarak oluşturulmaktadır. Kullanıcı dip profili için 40 farklı giriş yapabilir. Kullanıcı girişlerinde temel kısıt olarak sahanın maksimum derinliği 12.000 m olabilmektedir. Dip profili bilgisi girilirken saha menzili değerinden daha büyük bir mesafe değeri girilemez ve bu kontroller kullanıcı veri girişleri için gerçekleştirilmiştir. Saha menzil değerindeki değişim otomatik olarak dip profili bilgisine yansıtılmaktadır.

3.1.6. Area Alanı

Area bilgi alanında kullanıcının saha menzili bilgisi güncellemesini yapabileceği alan mevcuttur. Saha menzili değeri olarak kullanıcı 128 km seviyesine kadar girdi yapabilmektedir. Saha menzili değerinin bu kısıt içerisinde kalması için gerekli veri giriş kontrolleri gerçekleştirilmiştir.

3.1.7. Main Operation Alanı

Kullanıcı tarafından girilen senaryo bilgileri hakkında verilecek kararın işletileceği adımın gerçekleştiği ekran alanıdır. Karar alanında kullanıcı girişli oluşturulan senaryoya ait verilen karar uygulamasını gerçekleştirmek üzere kaydetme, yükleme, yardım ve hesaplama adımlarına geçişler mevcuttur.

3.2. Menu ve Hesaplama İşletimi Alanı

ARTS yazılımında kullanıcının yazılım üzerinde yapacağı temel işlemlerin gerçekleştirildiği bölümdür. Menü alanı dört ana bölümden oluşmaktadır.

3.2.1. File Alanı

ARTS yazılımında kullanıcının yazılımda oluşturduğu yada oluşturacağı senaryo için vereceği kararın uygulandığı arayüz alanıdır. Bu bölümde kullanıcı önceden tanımlanmış bilgilerden oluşan başlangıç senaryosuna dönebilir, daha önceden oluşturduğu ve kaydettiği senaryolardan birini seçmek için senaryo ekranına geçebilir, oluşturmuş olduğu senaryoyu kaydedebilir, ekranın son halinin çıktısını alabilir yada uygulamayı kapatabilir.

3.2.1.1. New Seçeneği

Kullanıcının uygulama üzerinde çalıştırmak üzere belirleyeceği senaryoya önceden belirlenmiş başlangıç parametreleri ile başlamasını sağlayan seçenektir. Yeni senaryo başlatılması durumunda uygulama varsayılan parametre değerleri ile yüklenir ve çalıştırılmaya hazır bir duruma getirilir.

3.2.1.2. Open Seçeneği

Kullanıcı ARTS yazılımında önceden çalıştırmış ve kaydetmiş olduğu senaryo bilgilerini uygulamaya yükleyerek üzerinde değişiklik yapabilmekte yada çalıştırabilmektedir. Kaydedilmiş senaryo bilgisinin uygulamaya yüklenmesi için “Open” seçeneği seçerek uygulama ekranında ilgili senaryo listesi görüntülenmektedir. Kullanıcı listede sergilenen senaryolardan herhangi birini seçerek uygulama ekranına yükleyebilmektedir.

3.2.1.3. Save Project Seçeneği

ARTS yazılımın gerçekleştirilen senaryoların ileri bir tarihte kullanılma ihtimaline karşılık kaydedilme seçeneği mevcuttur. Kullanıcı kaydetme seçeneğini seçmesi durumunda senaryoya verilecek ismin girileceği yorum ekranı görüntülenmektedir.

3.2.1.4. Print Snapshot Seçeneği

Uygulama ekranında gerçekleştirilen senaryo bilgileri sonucu oluşacak ekran görüntüsünün kullanıcı tarafından yazıcıdan çıktı olarak çıkartmasını sağlayan seçenek

mevcuttur. Kullanıcı gerekli gördüğü anda ekran görüntüsünün yazıcı çıktısını “*Print Snapshot*” seçeneğini kullanarak gerçekleştirebilir.

3.2.1.5. *Exit Seçeneği*

Uygulama menü seçeneklerinde uygulamanın sonlandırılması seçeneği mevcuttur. Kullanıcı gerekli gördüğü bir durumda “*Exit*” seçeneğini kullanarak uygulamayı sonlandırabilmektedir.

3.2.2. *Edit Alanı*

ARTS yazılımında oluşturulan senaryo bilgilerinin güncellenme işlemleri “*Edit*” menü alanında gerçekleştirilmektedir. Bu menü alanında girdi parametreleri değiştirilebilmekte, kaydedilmiş senaryolar üzerinden işlem yapılabilen, Işın İzleri görsel sonucunun geçici hafızaya kopyalanması sağlanabilmekte ya da Yayılım Kaybı görsel sonucunun geçici hafızaya kopyalanması gerçekleştirilebilmektedir.

3.2.2.1. *Input Parameters*

Kullanıcı arayüzünde girdi verilerinin değiştirilmesi gerçekleştirilebilmektedir. Girdi parametrelerinin değişimi kullanıcı arayüzünde eşzamanlı olarak yansıtılmaktadır.

3.2.2.2. *Scenario Database*

ARTS yazılımında oluşturulmuş ve kaydedilmiş senaryoların listelendiği veritabanı ekranı gözlemlenebilmektedir. Sergilenen arayüz yardımı ile kaydedilmiş senaryolar üzerinde yükleme yada silme işlemlerinden biri seçilebilmektedir.

3.2.2.3. *Copy Ray Image*

Kullanıcı tarafından oluşturulmuş senaryo bilgilerinin çalıştırılması sonucu oluşan Işın İzleri bilgisinin grafik gösterimi geçici hafızaya gerektiğinde kullanılmak üzere kaydedilebilmektedir. Geçici hafızaya kaydedilen grafik bilgisi Işın İzleri grafik alanı için ayrılan piksel ölçüleri boyutlarındadır (300 x 790).

3.2.2.4. *Copy TL Image*

Kullanıcı tarafından oluşturulmuş senaryo bilgilerinin çalıştırılması sonucu oluşan Yayılım Kaybı bilgisinin grafik gösterimi geçici hafızaya gerektiğinde kullanılmak

üzere kaydedilebilmektedir. Geçici hafızaya kaydedilen grafik bilgisi Yayılım Kaybı grafik alanı için ayrılan piksel ölçüleri boyutlarındadır (300 x 790).

3.2.3. Calculation Alanı

ARTS yazılımında kullanıcı tarafından oluşturulan senaryo bilgilerinin işletilmesi seçeneğinin gerçekleştiği menü alanıdır. “*Calculation*” alanında kullanıcı oluşturduğu senaryo bilgilerini hesaplama işlemini başlatarak kullanabilmekte ya da hesaplama hassasiyetini değiştirebilmektedir.

3.2.3.1. Execute Seçeneği

Kullanıcı tarafından geliştirilen senaryo bilgilerinin hesaplanması işlemini başlatan seçenektir. ARTS yazılımında kullanıcı arayüzünde oluşturulan veriler kullanılan Işın İzleme ve Yayılım Kaybı algoritmalarının kullanabileceği formata getirilerek işletilmesini gerçekleştirmektedir.

3.2.3.2. Accuracy Seçeneği

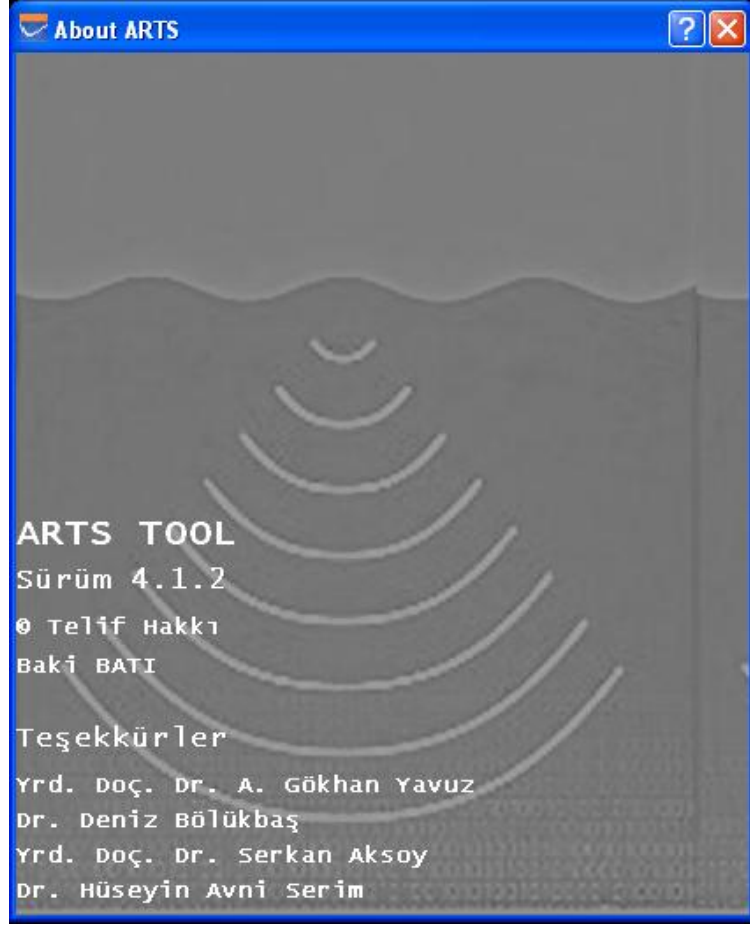
Kullanıcı tarafından geliştirilen senaryo bilgilerinin hesaplanması işleminin hassasiyet derecesini belirleyen seçenektir. ARTS yazılımında kullanıcı arayüzünde oluşturulan veriler kullanılan Işın İzleme ve Yayılım Kaybı algoritmalarının kullanabileceği formata “*Accuracy*” seçeneğinde belirlenen hassasiyette hesaplanır. Hesaplamanın hassasiyeti vericiden gönderilen ışın sayısı ile belirlenmektedir. ARTS yazılımında kullanıcı tarafından 20, 40 ve 80 adet ışın gönderilebilmektedir.

3.2.4. Help Alanı

Geliştirilen ARTS yazılımına ait yardım seçeneklerinin sergilendiği alandır. Bu alanda kullanıcı yazılım hakkında bilgi alabilmekte ve yardım seçeneğini görüntüleyebilmektedir.

3.2.4.1. About Seçeneği

ARTS yazılımı hakkında genel bilgi veren bir seçenektir. “*About*” seçeneğinin seçilmesi durumunda sergilenen ekranda kullanıcı uygulamanın ismi, geliştiricisi, versiyonu ve geliştirilmesinde yardımda bulunan kişilere ithaf edilen teşekkür bilgilerine erişebilmektedir.



Şekil 3-2 Hakkında Bilgi Ekranı

3.2.4.2. *Help Seçeneği*

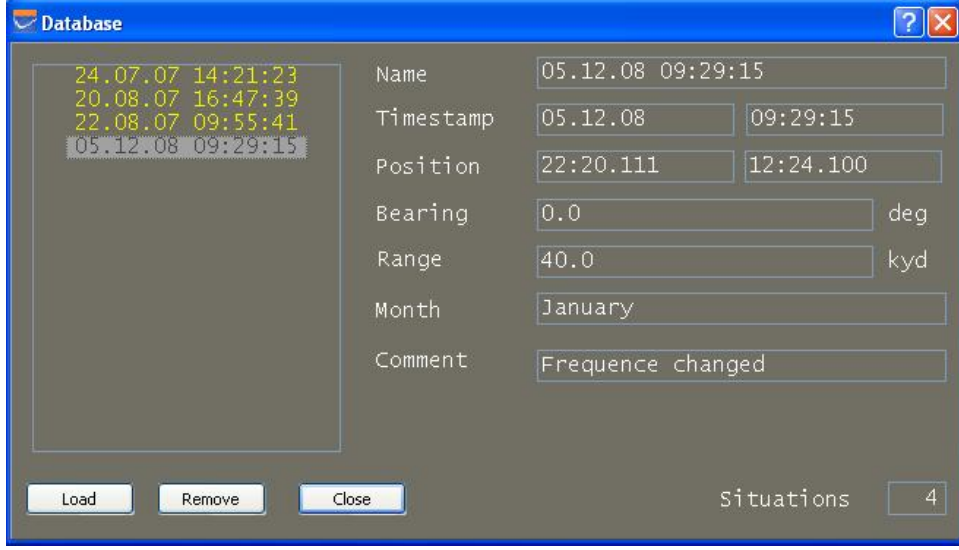
ARTS yazılımının yardım ekranının gösterilmesini sağlayan seçenektir.



Şekil 3-3 Yardım Menüsü Ekranı

3.3. Senaryo Kayıt Yükleme Silme

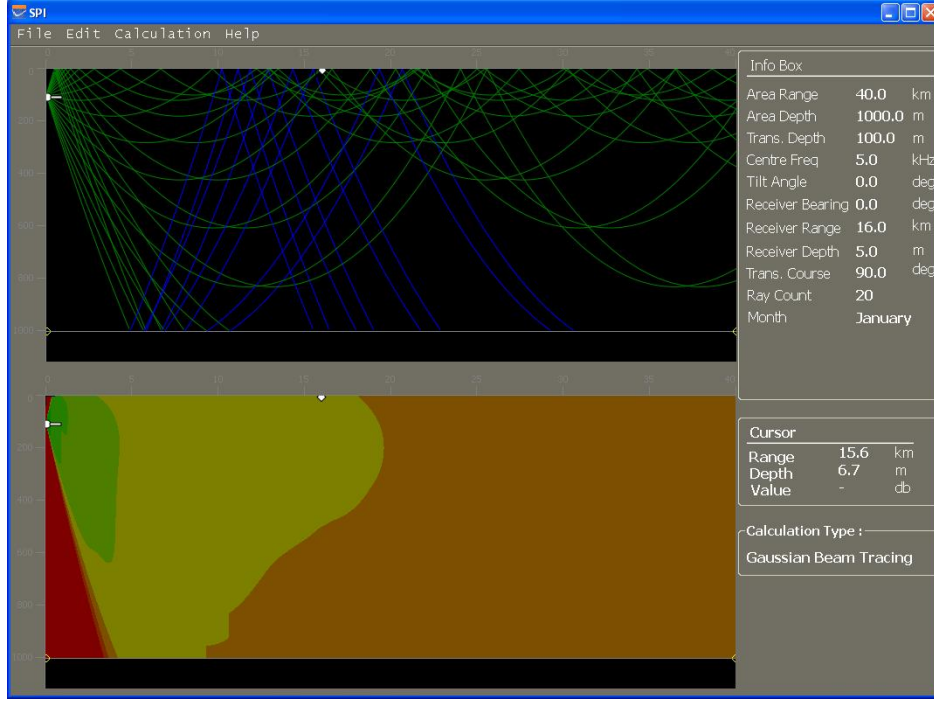
Kullanıcı girişli senaryo bilgileri üzerinde yapılacak işlemlerin belirlendiği ekrandır. Bu ekran temel olarak üç alt kısımdan oluşmaktadır. Senaryo listesini barındıran senaryo tablosu, senaryoya ait özet bilgilerin gösterildiği açıklama alanı ve seçilen senaryo ile ilgili verilecek kararın (yükle, sil, kaydet) gerçekleştirileceği karar alanı mevcuttur. Senaryoya ait özet bilgiler kullanıcının seçili senaryo ile ilgili doğru kararı verebilmesi için detaylı olarak oluşturulmuş olup, içerisinde senaryoya kullanıcının verdiği isim, oluşturduğu tarih, senaryonun hangi koordinatlar için gerçekleştirildiği, yön, saha uzunluğu, hangi ayda oluşturulduğu gibi kullanıcı açıklama bilgilerini barındırmaktadır.



Şekil 3-4 Senaryo Ekranı

3.4. Ana Bilgi Ekranı

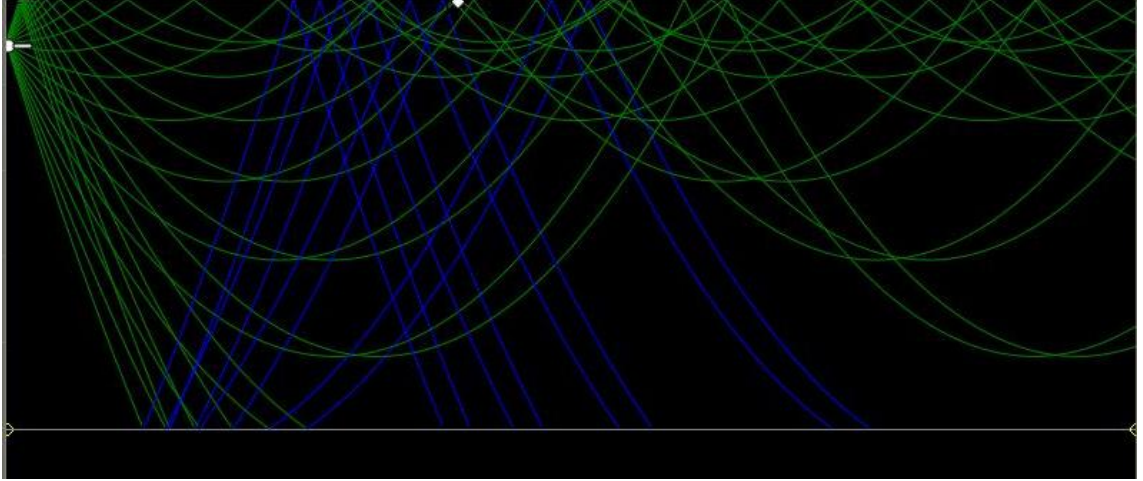
Geliştirilen kullanıcı arayüzünde ana ekranda hesaplama işlemine girdi olan parametreler ışın izleme ve İletim Kaybı grafikleri ile aynı anda gösterilerek daha kullanışlı bir Akustik Işın İzleme Aracı oluşturulması sağlanmıştır. Bilgi alanında kullanıcı tarafından oluşturulan profil grafiklerinden ses hızı ve sıcaklık profillerinin sergilenmesinin yanı sıra alıcı ve vericinin konumu ile saha ve kursör bilgilerine de yer verilmiştir. Kursör bilgi alanında kullanıcının ışın izleme ve iletim kaybı ekranlarında istediği noktadaki derinlik, mesafe ve iletim kaybı değerlerini görmesi mümkün olmaktadır.



Şekil 3-5 Ana Bilgi Ekranı

3.4.1. Işın İzleme Grafik Alanı

Kullanıcı tarafından belirlenen senaryo parametrelerinin hesaba katılması ile gerçekleştirilen ışın izleme algoritmasının sonuçları ışın izleme alanında gösterilmektedir. Işın izleme alanı derinlik ve mesafe parametrelerini temel alarak yapılan hesaplamaların sonucunu kullanıcıya ayrıntılı bir şekilde ışın demeti olarak gösterir (Şekil 4). Kullanıcı belirlediği sahanın derinlik ve mesafe bilgilerini ışın izleme alanı olarak ayrılan alandaki yatay ve dikey piksel bilgilerine ölçekleyerek arayüze aktarır. Işınlardan başlangıç noktası olarak kullanıcı tarafından konumu belirlenen vericinin derinlik bilgisi esas alınmıştır. Kullanıcı tarafından girilen derinlik bilgilerine bağlı olarak farklı biçimde sahanın şekillendirilmesi mümkün olabilmektedir.



Şekil 3-6 Işın İzleri Grafik Alanı

3.4.2. İletim Kaybı Grafik Alanı

Işın İzleme Yöntemi ile hesaplanan ışın yolları bilgisi kapsamında hesaplanan iletim kaybı değerleri, iletim kaybı alanında sergilenmektedir. İletim Kaybı, derinlik ve mesafe parametreleri temel alınarak kullanıcıya iletim kaybı matrisi olarak aktarılır. Kullanıcı kendi belirlediği saha derinlik ve mesafe bilgilerini iletim kaybı alanı olarak belirlenen alandaki yatay ve dikey piksel bilgilerine ölçekleyerek arayüze aktarır. İletim Kaybı hesabı sonuçları her 10 dB aralık için farklı bir renge karşılık gelecek şekilde arayüze aktarılır. Hesaplama sonucu oluşturulan iletim kaybı grafik alanında bulunan her piksel bir renk değerine karşılık gelecek şekilde oluşturulur. İletim kaybı matrisindeki değerler renk skalasında kendilerine karşılık gelen renk ile ifade edilerek Şekil 5’de gösterildiği gibi sergilenir. Kullanıcı tarafından belirlenen saha dip tabiatına uygun olarak iletim kaybı grafik alanı şekillendirilebilmektedir.



Şekil 3-7 Yayılım Kaybı Grafik Alanı

3.4.3. Info Box Alanı

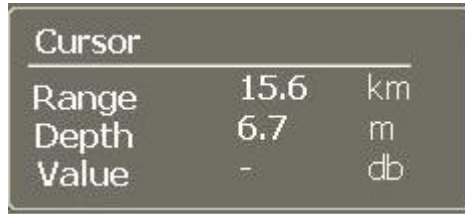
Kullanıcı tarafından oluşturulan senaryo bilgilerinin özet olarak sergilendiği bilgi alanıdır. Bilgi alanında sergilenen özet bilgiler kullanıcı girdilerinin değiştirilmesi durumunda otomatik olarak güncellenmektedir. ARTS yazılımı algoritma girdileri olan bilgilerin özet olarak sergilendiği bilgi kutusu alanında saha derinliği, saha menzili, verici derinliği, merkez frekansı, eğim açısı, alıcı kerterizi, alıcı mesafesi, alıcı derinliği, vericinin açısı, yayılımı yapılacak olan ışın sayısı ve senaryonun çalıştırıldığı ay bilgisi bulunmaktadır.

Info Box		
Area Range	40.0	km
Area Depth	1000.0	m
Trans. Depth	100.0	m
Centre Freq	5.0	kHz
Tilt Angle	0.0	deg
Receiver Bearing	0.0	deg
Receiver Range	16.0	km
Receiver Depth	5.0	m
Trans. Course	90.0	deg
Ray Count	20	
Month	January	

Şekil 3-8 Veri Giriş Ekranı

3.4.4. *Kursör Alanı*

Kursör bilgi alanında kullanıcının ışın izleme ve iletim kaybı ekranlarında istediği noktadaki derinlik, mesafe ve iletim kaybı değerlerini görmesi mümkün olmaktadır. ARTS yazılımı kullanıcı arayüzünde fare ile gelinen noktanın simule edilen sahanın gerçek ölçüleri içerisinde hangi uzaklık ve derinliğe denk geldiğini ve ayrıca fare yayılım kaybı ekranında ise farenin bulunduğu konumdaki yayılım kaybı değerini gösteren yardımcı ekran alanıdır.

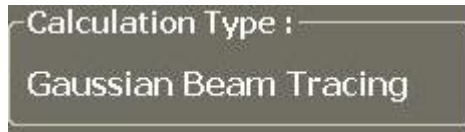


Cursor		
Range	15.6	km
Depth	6.7	m
Value	-	db

Şekil 3-9 Kursör Bilgi Alanı

3.4.5. *Hesaplama Tipi Alanı*

Hesaplama işlemi kullanıcı tarafından oluşturulan senaryo bilgilerinin görsel olarak kullanıcıya sunulması için gerçekleştirilen ilk adımdır. Bu adım öncesinde ana ekran üzerinde yer alan *Calculate* menüsü seçilerek *Execute* işlemi gerçekleştirilebilir. ARTS yazılımında Gaussian Demet İzleme Yöntemi gerçekleştirilmiştir. ARTS yazılımında gerçekleştirilen algoritma seçeneği bilgisi olarak Hesaplama Tipi Alanında Gaussian Beam Tracing sergilenmektedir.

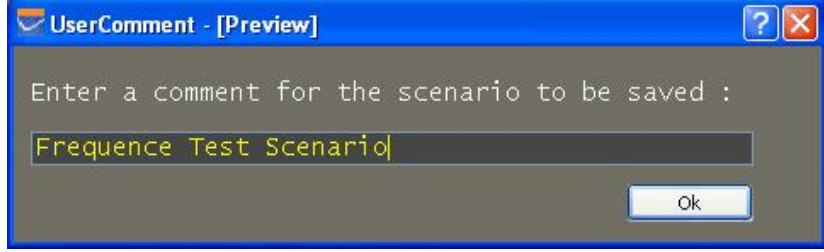


Şekil 3-10 Hesaplama Tipi Bilgi Alanı

3.5. **Comment ekranı**

ARTS yazılımında kullanıcı tarafından belirlenen senaryo girdi bilgileri yazılım koşumu esnasında değiştirilebilmekte, çalıştırılabilmekte ve ayrıca gerekli görülmesi durumunda kaydedilebilmektedir. Kaydedilecek senaryo bilgilerinin veritabanı senaryo listesine hangi isimle kaydedileceği bilgisinin girileceği ekran *Comment* ekranıdır. Açıklama

bilgisi girilen mevcut senaryo bilgisi *Comment* ekranında “Tamam” tuşuna basılması durumunda senaryo listesine eklenir.



Şekil 3-11 Açıklama Girdi Ekranı

4. DEĞERLENDİRME

Akustik aktarım uygulamalarında zaman son yüzyılda birçok gelişme yaşanmıştır. Işın izleme ve yayılım kaybı algoritmaları konusunda zamanla birçok algoritma geliştirilmiştir. Günümüzde kullanılan algoritmalarından gerçek hayatla en tutarlı ve en yaygın kullanılanı olan aktarım algoritması Gaussian Işın İzleme yöntemidir. Gaussian Işın İzleme yöntemi en son geliştirilen akustik yayılım algoritması sebebiyle tez konusu olarak oluşturulan yazılımın temel algoritması olarak kullanılmıştır. Tez kapsamında, geliştirilen Gaussian Işın İzleme algoritmasının test işlemlerinin gerçekleştirilmesi için literatürde kabul gören, dünya üzerinde yaygın olarak kullanılan ve Prof. Michael E. Porter tarafında geliştirilen *Acoustic Toolbox*'teki Bellhop yazılımı karşılaştırma amaçlı kullanılmıştır⁰. Geliştirilen ARTS yazılımı basitten karmaşığa bir çok senaryo ile test edilmiş ve sonuçları incelenmiştir. İncelenen sonuçlar ARTS yazılımının Gaussian Işın İzleme yöntemi konusunda doğru sonuçlar ürettiğini göstermiştir. İncelenen senaryolardan bazıları bu kısımda anlatılacaktır.

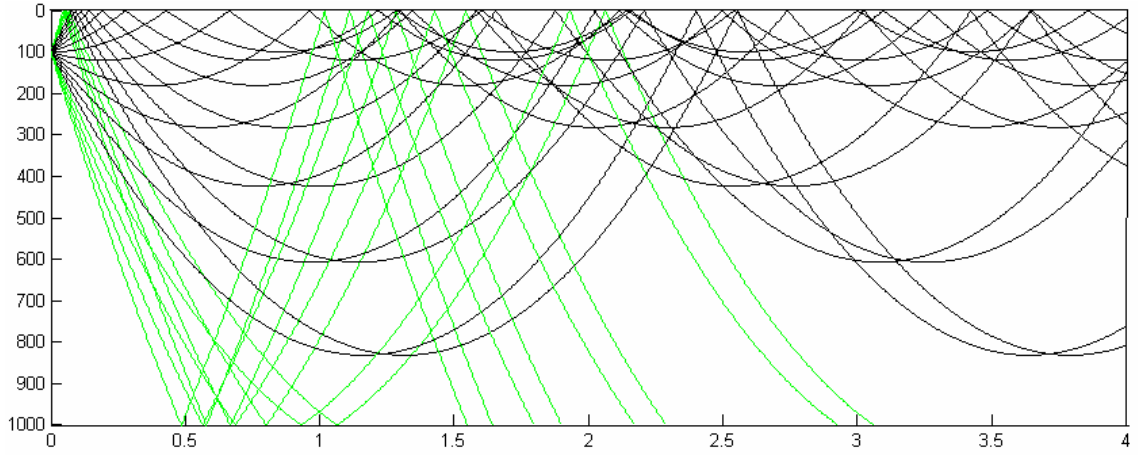
Geliştirilen ARTS yazılımı test aşamasında kullanılan senaryo bilgileri basitten karmaşığa doğru sıralanmıştır. İlk senaryoda düz dip profili ve lineer bir şekilde artan ses hızı profili kullanılmıştır. Sıcaklık ise sabit tutulmuştur.

Tablo 4-1 1. Test Senaryosu Profil Bilgileri

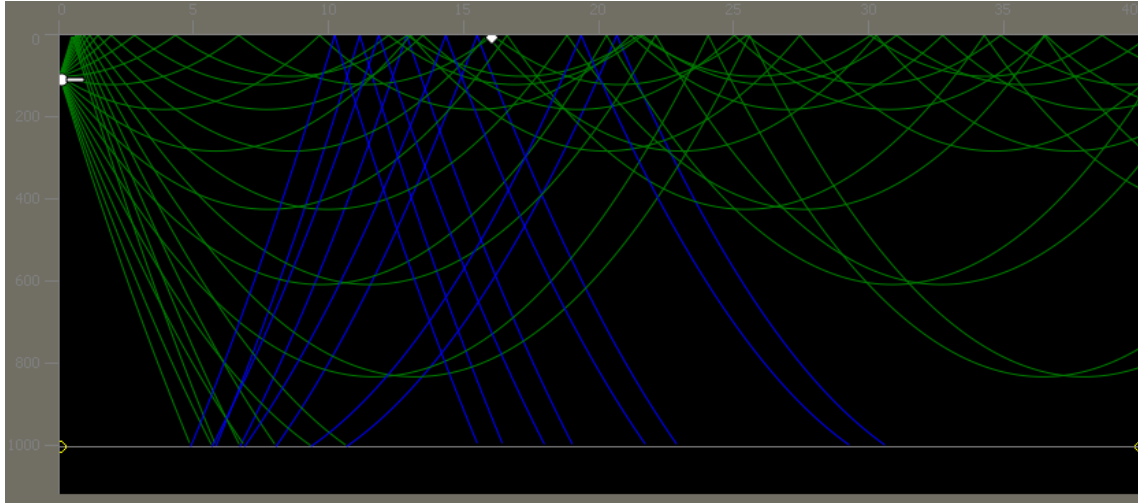
Ses Hızı		Sıcaklık		Dip Profili	
Derinlik	Ses Hızı	Derinlik	Sıcaklık	Uzaklık	Derinlik
0.0	1470.6	0.0	4.0	0.0	1000.0
1000.0	1486.6	0.0	4.0	40.0	1000.0

Tablo 4-2 1. Test Senaryosu Saha Bilgileri

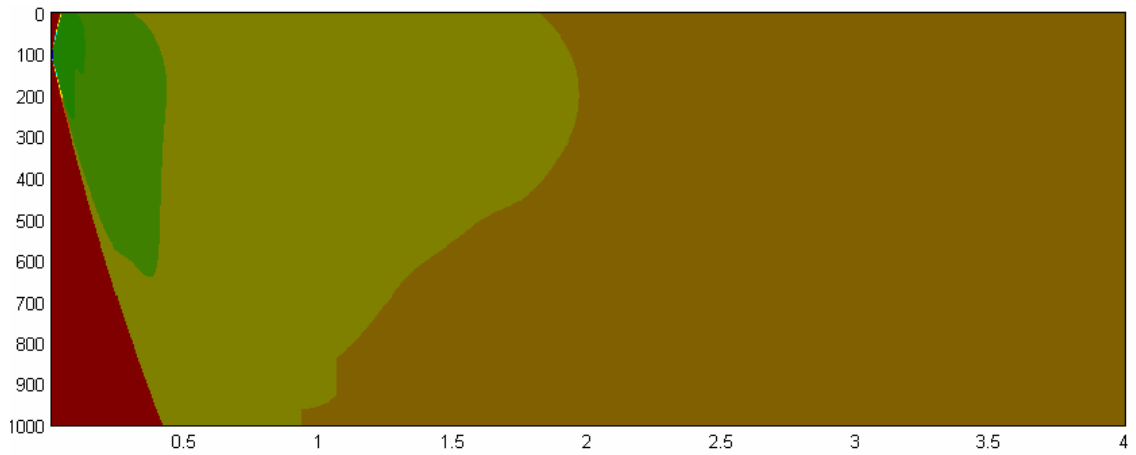
Range	Depth	Transmitter Depth	Centre Frequence	Tilt Angle	Ray Count
40.0	1000.0	100.0	5.0	0.0	20



Şekil 4-1 1. Test Senaryosu Bellhoop Işın İzleri Grafiği



Şekil 4-2 1. Test Senaryosu ARTS Işın İzleri Grafiği



Şekil 4-3 1. Test Senaryosu Bellhop Yayılım Kaybı Grafiği



Şekil 4-4 1. Test Senaryosu ARTS Yayılım Kaybı Grafiği

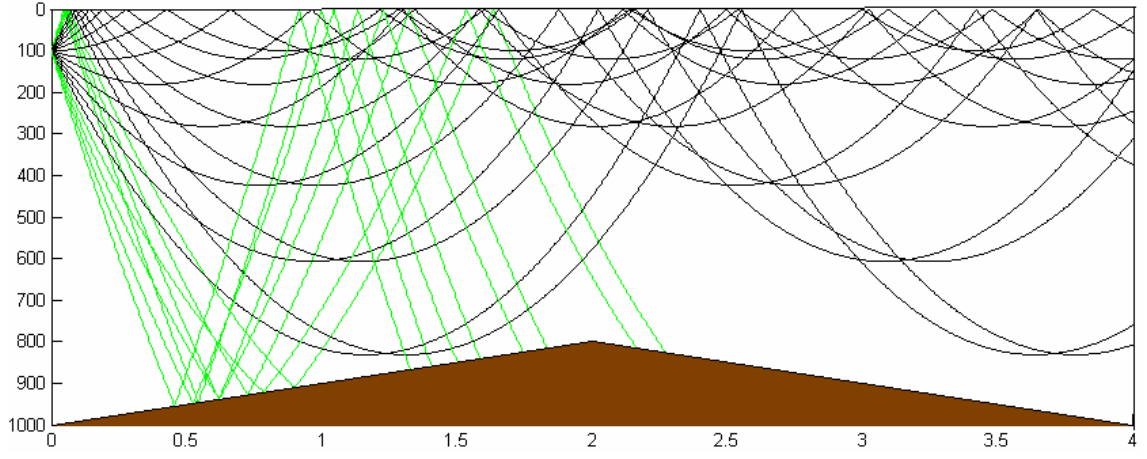
İkinci senaryoda dip profili üzerinde değişiklik yapılmış ve deniz dibi profiline yükseklik eklenerek deniz dibinde tepe olması durumunda algoritmanın doğruluğu incelenmiştir. Ayrıca lineer bir şekilde artan ses hızı profili kullanılmıştır ve sıcaklık ise profil boyunca sabit tutulmuştur.

Tablo 4-3 2. Test Senaryosu Profil Bilgileri

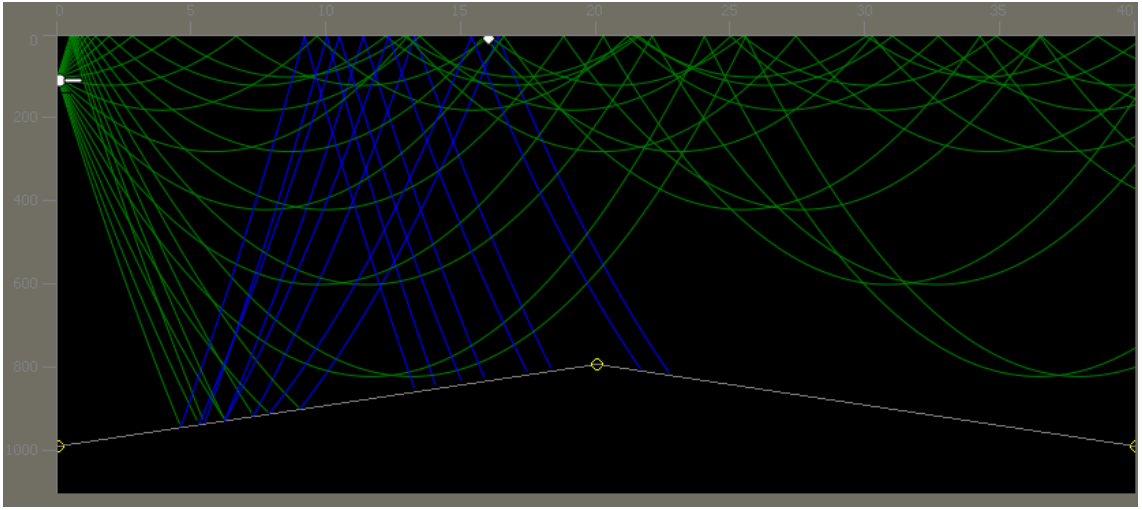
Ses Hızı		Sıcaklık		Dip Profili	
Derinlik	Ses Hızı	Derinlik	Sıcaklık	Uzaklık	Derinlik
0.0	1470.6	0.0	4.0	0.0	1000.0
1000.0	1486.6	0.0	4.0	20.0	800.0
				40.0	1000.0

Tablo 4-4 2. Test Senaryosu Saha Bilgileri

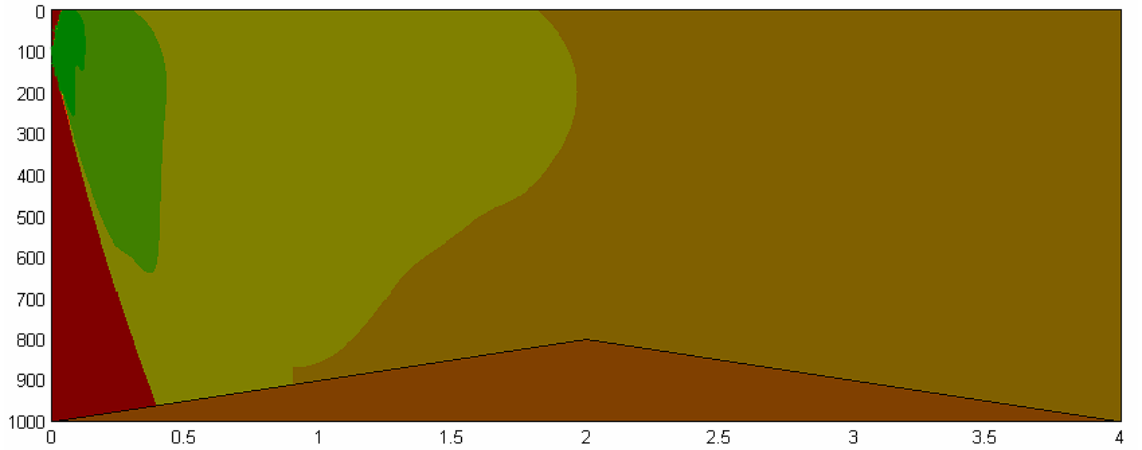
Range	Depth	Transmitter Depth	Centre Frequence	Tilt Angle	Ray Count
40.0	1000.0	100.0	5.0	0.0	20



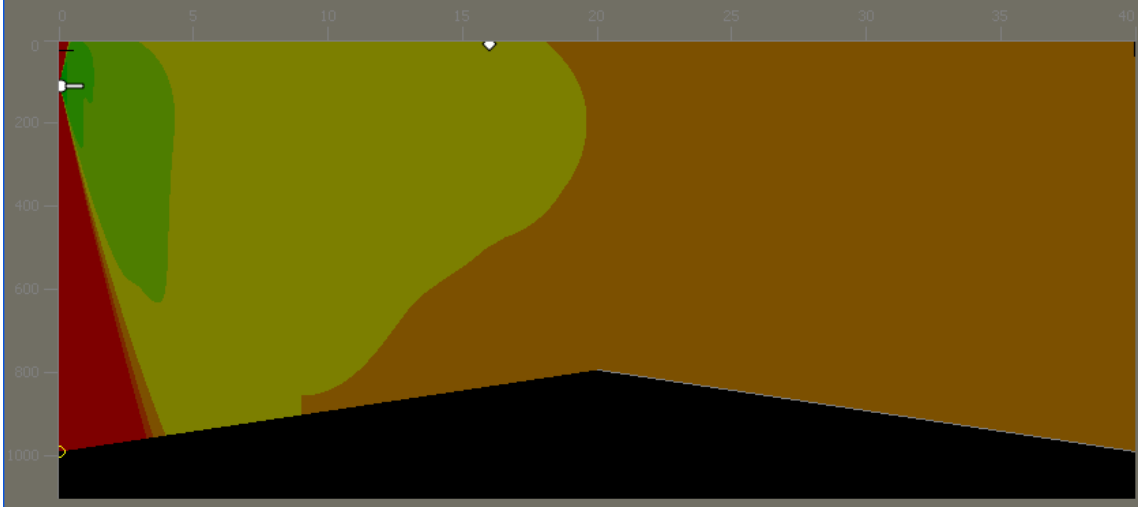
Şekil 4-5 2. Test Senaryosu Bellhop Işın İzleri Grafiği



Şekil 4-6 2. Test Senaryosu ARTS Işın İzleri Grafiği



Şekil 4-7 2. Test Senaryosu Bellhop Yayılım Kaybı Grafiği



Şekil 4-8 2. Test Senaryosu ARTS Yayılım Kaybı Grafiği

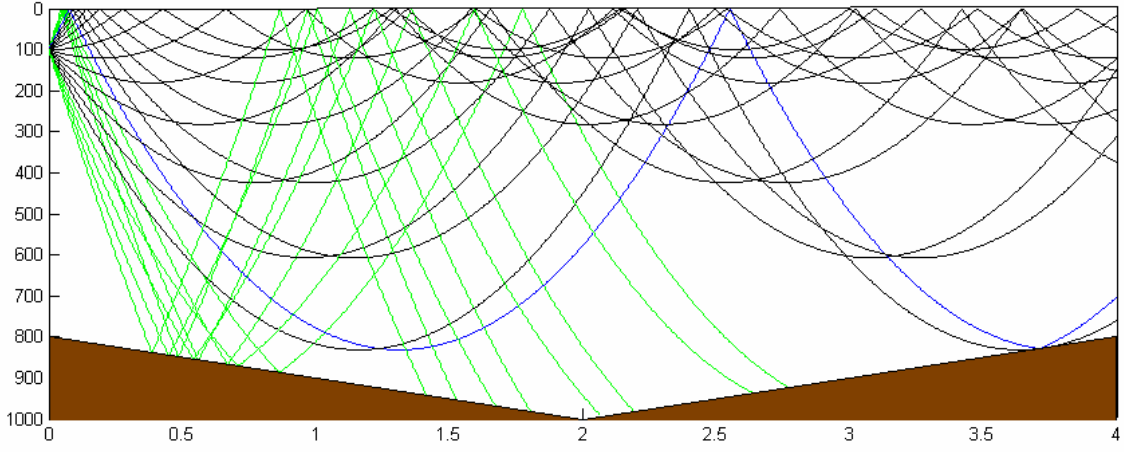
Üçüncü senaryoda dip profili üzerinde değişiklik yapılmış ve deniz dibi profilinde değişiklik yapılarak deniz dibinde çukur olması durumunda algoritmanın doğruluğu incelenmiştir. Ayrıca lineer bir şekilde artan ses hızı profili kullanılmıştır ve sıcaklık ise profil boyunca sabit tutulmuştur.

Tablo 4-5 3. Test Senaryosu Profil Bilgileri

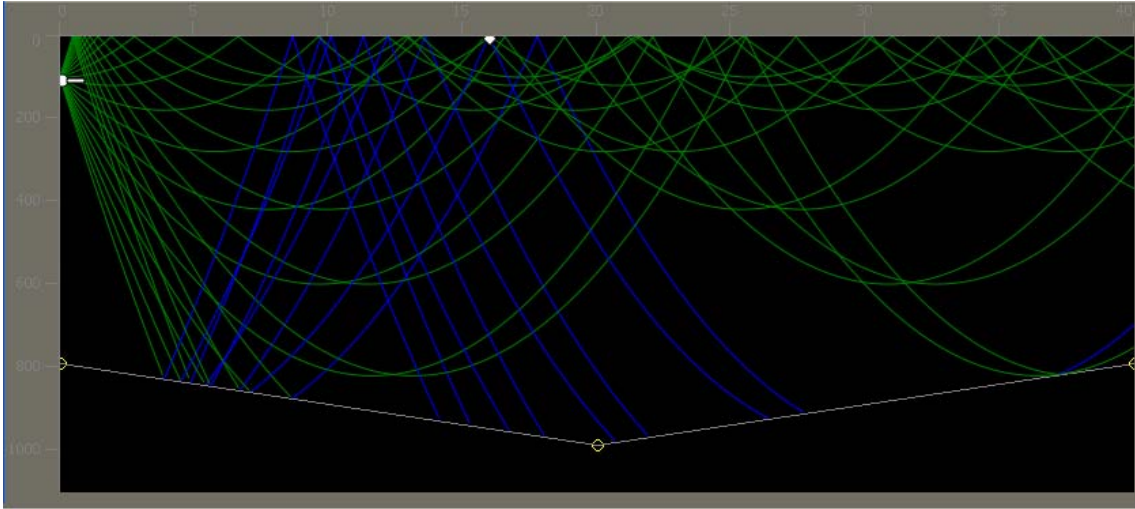
Ses Hızı		Sıcaklık		Dip Profili	
Derinlik	Ses Hızı	Derinlik	Sıcaklık	Uzaklık	Derinlik
0.0	1470.6	0.0	4.0	0.0	800.0
1000.0	1486.6	0.0	4.0	20.0	1000.0
				40.0	800.0

Tablo 4-6 3. Test Senaryosu Saha Bilgileri

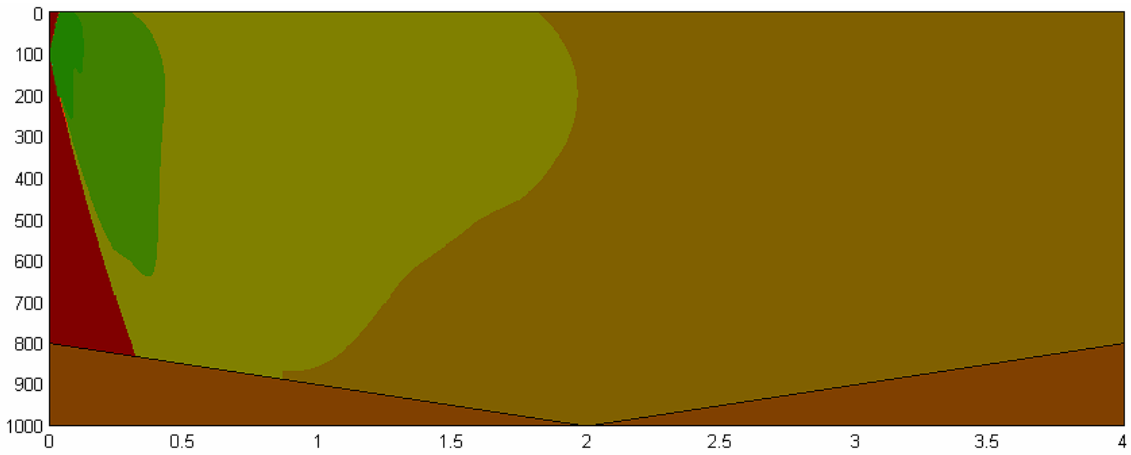
Range	Depth	Transmitter Depth	Centre Frequence	Tilt Angle	Ray Count
40.0	1000.0	100.0	5.0	0.0	20



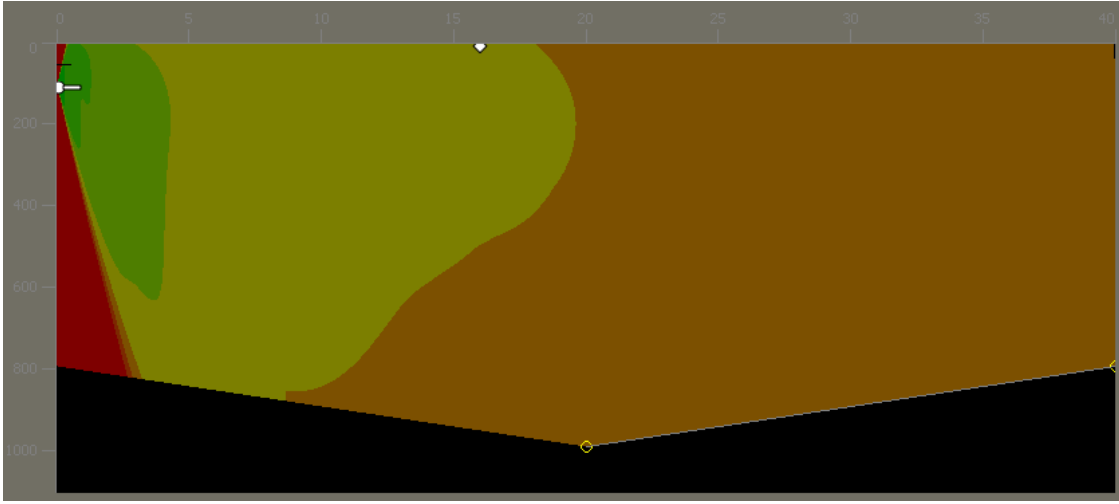
Şekil 4-9 3. Test Senaryosu Bellhop Işın İzleri Grafiği



Şekil 4-10 3. Test Senaryosu ARTS Işın İzleri Grafiği



Şekil 4-11 3. Test Senaryosu Bellhop Yayılım Kaybı Grafiği



Şekil 4-12 3. Test Senaryosu ARTS Yayılım Kaybı Grafiği

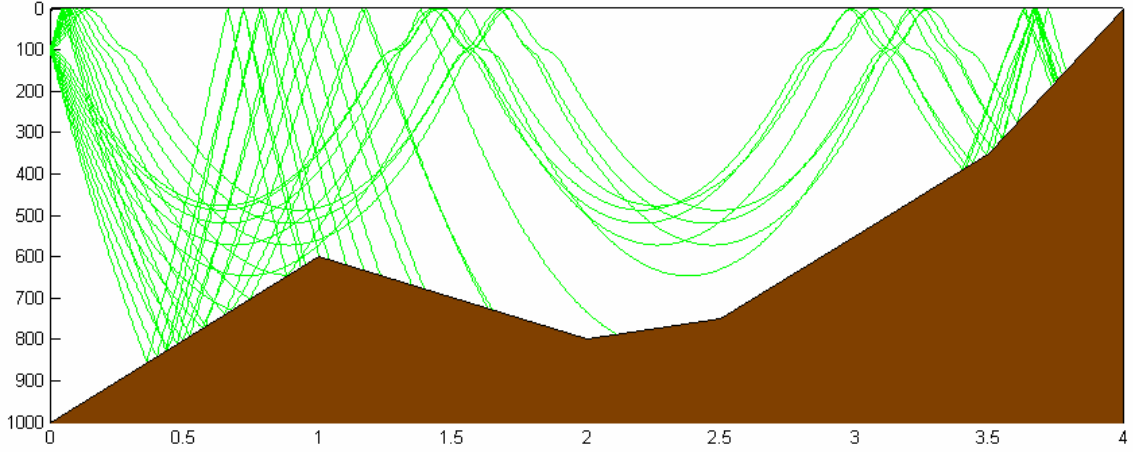
Dördüncü senaryoda dip profili üzerinde yapılan değişiklikle gerçek deniz dibi değerlerinin benzetimi yapılmış ve deniz dibi profilinde çukur, tepe ve kıyı şeridi olması durumunda algoritmanın doğruluğu incelenmiştir. Ayrıca lineer bir şekilde artan ses hızı profili değiştirilerek farklı yönlerde lineerlik gösteren ses hızı profili kullanılmıştır. Sıcaklık ise profil boyunca sabit tutulmuştur.

Tablo 4-7 4. Test Senaryosu Profil Bilgileri

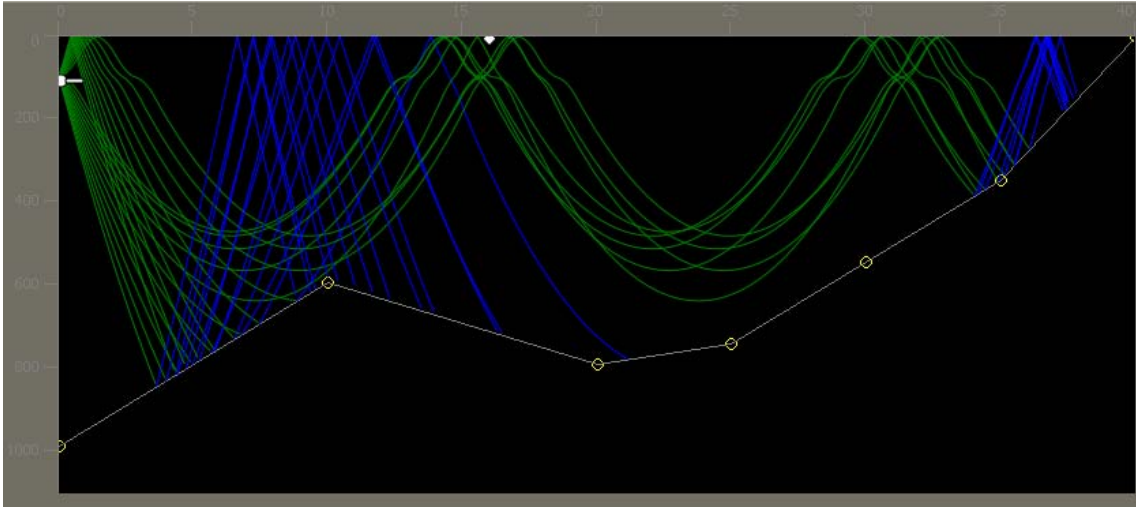
Ses Hızı		Sıcaklık		Dip Profili	
Derinlik	Ses Hızı	Derinlik	Sıcaklık	Uzaklık	Derinlik
0.0	1470.6	0.0	4.0	0.0	1000.0
50.0	1460.60	0.0	4.0	10.0	600.0
100.0	1470.60			20.0	800.0
150.0	1460.60			25.0	750.0
1000.0	1486.60			30.0	550.0
				35.0	350.0
				40.0	0.1

Tablo 4-8 4. Test Senaryosu Saha Bilgileri

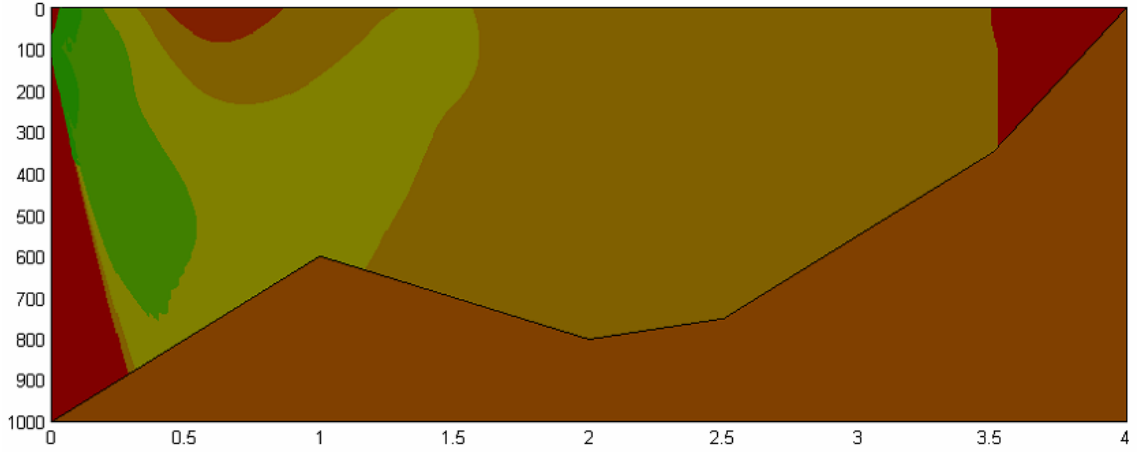
Range	Depth	Transmitter Depth	Centre Frequence	Tilt Angle	Ray Count
40.0	1000.0	100.0	5.0	0.0	20



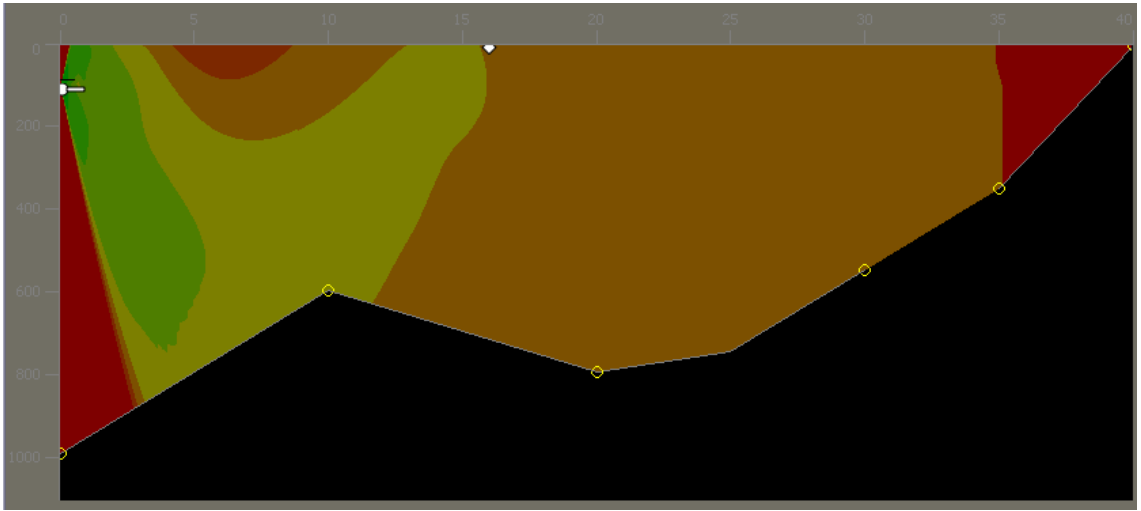
Şekil 4-13 4. Test Senaryosu Bellhop Işın İzleri Grafiği



Şekil 4-14 3. Test Senaryosu ARTS Işın İzleri Grafiği

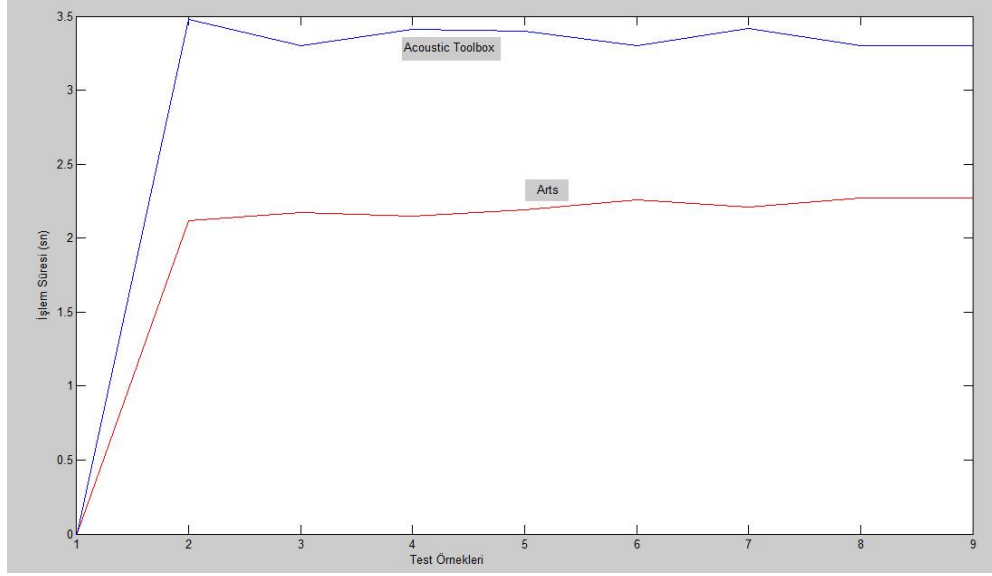


Şekil 4-15 4. Test Senaryosu Bellhop Yayılım Kaybı Grafiği



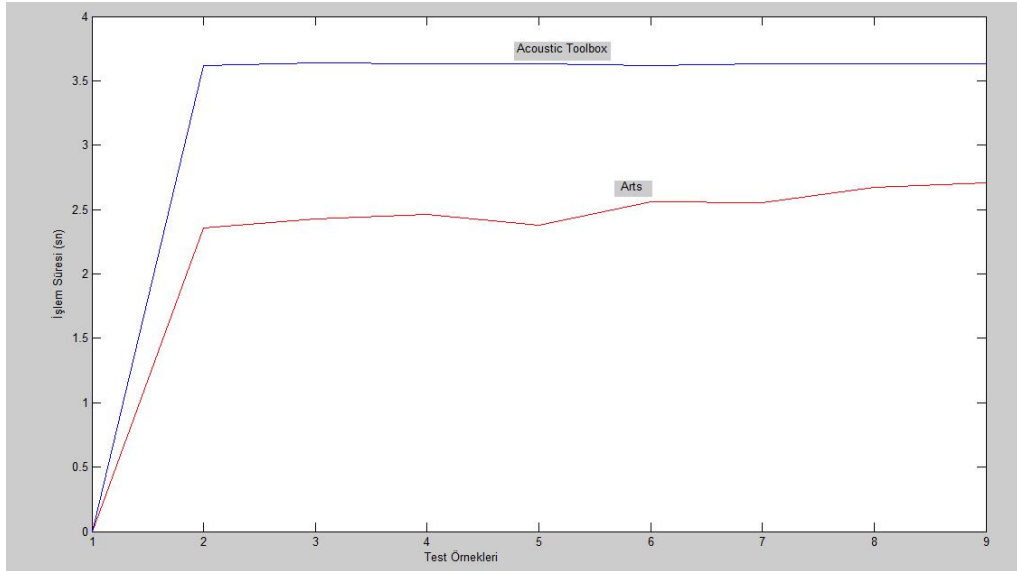
Şekil 4-16 4. Test Senaryosu ARTS Yayılım Kaybı Grafiği

Yazılım hesap hızını veren birçok test gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen testlerin sonuçlarının Bellhop yazılımı sonuçları ile karşılaştırıldığında ortaya değişik sonuçlar çıkmaktadır. 20 km mesafeli bir menzile için gerçekleştirilen hesapta 40 örnekle temsil edilen ses hızı profili sabit tutulmuş ve dip profili örnek sayısı değiştirilerek testler gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen testler sonucunda yazılım hızı performansı açısından aşağıdaki grafiksel sonuç elde edilmiştir.



Şekil 4-17 20 Km. Menzilde İşlem Zamanı Sonuçları

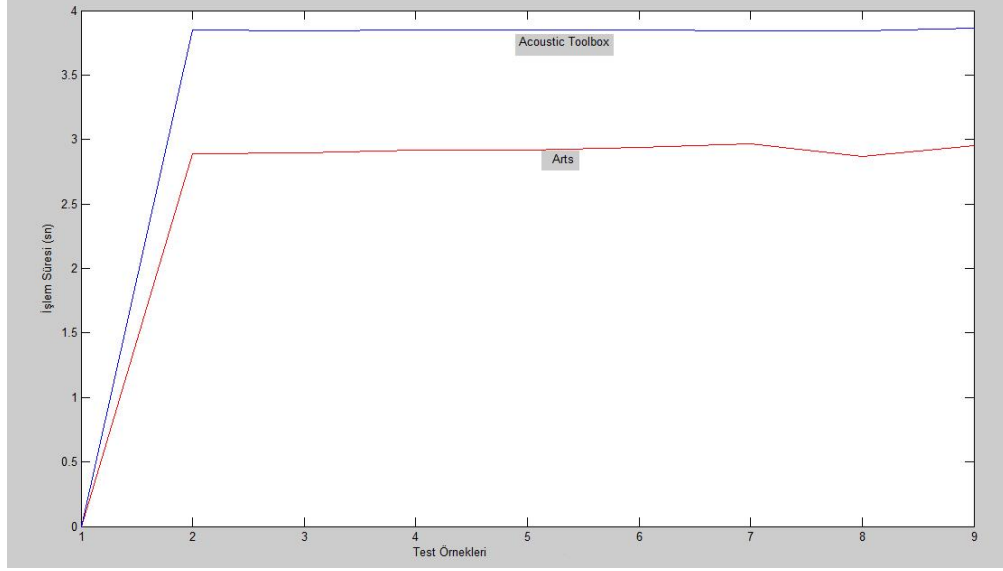
Bir diğer örnekte, 40 km mesafeli bir menzil için gerçekleştirilen hesapta 40 örnekle temsil edilen ses hızı profili sabit tutulmuş ve dip profili örnek sayısı değiştirilerek testler gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen testler sonucunda yazılım hızı performansı açısından aşağıdaki grafiksel sonuç elde edilmiştir.



Şekil 4-18 40 Km. Menzilde İşlem Zamanı Sonuçları

Farklı bir testte ise 60 km mesafeli bir menzil için gerçekleştirilen hesapta 40 örnekle temsil edilen ses hızı profili sabit tutulmuş ve dip profili örnek sayısı değiştirilerek

testler gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen testler sonucunda yazılım hızı performansı açısından aşağıdaki grafiksel sonuç elde edilmiştir.



şekil 4-19 60 Km. Menzilde İşlem Zamanı Sonuçları

5. SONUÇ

Tez kapsamında geliştirilen yazılım sayesinde analiz ihtiyaçları karşılandı. Işın İzleme ve Yayılım Kaybı hesaplarının temel problemi olan kullanılacak verinin hazırlanması ve kullanılması geliştirilen yazılımla sağlanarak kullanıcıya rahat bir analiz ortamı sağlanmış oldu. Geliştirilen yazılımda kullanılan C++ kodları yazılım geliştirme standartlarına uygun olarak gerçekleştirildi. Beta testlerini gerçekleştirilmesi amacıyla son kullanıcıya yazılımın örnekleri verildi. Son kullanıcı tarafından gelecek geri bildirimlere göre gerekli değişiklikler gerçekleştirilecektir. Işın İzleme algoritmasının test işlemlerinin gerçekleştirilmesi için literatürde kabul gören, dünya üzerinde yaygın olarak kullanılan ve Prof. Michael E. Porter tarafında geliştirilen *Acoustic Toolbox*'taki Bellhop yazılımı karşılaştırma amaçlı kullanılmıştır. Geliştirilen ARTS yazılımı basitten karmaşığa birçok senaryo ile test edilmiş ve sonuçları incelenmiştir. Geliştirilen yazılım sonuçlarının Bellhop yazılımı ile uyumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Gelecek geri bildirimlerin yazılım üzerinde yaratacağı değişikliklerin yerine getirilmesi sağlanacaktır. Ayrıca geliştirilen algoritmanın devamı olarak Hedef Tespit Olasılığı hesabının ve grafiğinin yazılıma entegre edilmesi planlanmaktadır. Işın İzleme ve Yayılım Kaybı hesaplarında oluşabilecek yeni gelişmelerin de tez kapsamında geliştirilen yazılıma entegre edilmesi düşünülmektedir. Tez kapsamında geliştirilmiş olan yazılıma farklı dip çeşitlerinin ve deniz yüzeyindeki dalgalılık bilgisinin nasıl etki edeceği incelenecek ve gerektiğinde yazılıma entegre edilecektir. Hesap hızı bakımından tez kapsamında geliştirilen yazılım Bellhop algoritmasının sonuçlarına göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Fakat gerekli olması durumunda paralel programlama kullanılarak geliştirilmesi gerçekleştirilecek adımlardandır.

KAYNAKLAR

BATI, B., Serim, H.A., v.d., (2008) Sualtı Akustik Problemlerinde Işın İzleme Yöntemi Uygulaması ve Arayüz Tasarımı, 8. Ulusal Akustik Kongresi, Antalya, pp.1-9.

Berktaş O., (1979), Underwater Acoustics and Sonar, Tübitak Internal Report, No: UI-79/07, (ELE 50), Turkey.

Eckart C., (1953), The scattering of sound from the sea surface, JASA, 25, 566 -70.

Yrd. Doç Dr. Serkan Aksoy, Sualtı Akustiği ve Sonar Sistemleri, 2008, <http://www.gyte.edu.tr/gytenet/Dosya/102/~saksoy/Ana.html>

Kinsler L. E. v.d., (1982), Fundamentals of Acoustics, 3 ed., John & Wiley Sons Inc.

Porter M. B. & Bucker H. P.,(1987), Gaussian beam tracing for computing ocean acoustic fields, JASA, 82, 1349-59.

QT Online Reference Documentation, <http://doc.trolltech.com/>

Urick R. J., (1982), Sound Propagation in the Sea, Peninsula Publishing.

Weinber N. L. & Dunderdale T., (1972), Shallow Water Ray Tracing with Nonlinear Velocity Profiles, JASA, 52, 1000-10.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad	Baki BATI
Doğum Tarihi	24.03.1983
Doğum Yeri	Kocaeli
Lise	Ankara Cumhuriyet Süper Lisesi
Üniversite	Ege Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Çalıştığı Yerler	TUBİTAK M.A.M (3.5 Yıl)
Staj Yaptığı Yerler	TUBİTAK M.A.M. BTE – Kocaeli (4 Hafta) Koç Holding AYGAZ A.Ş Bilgi İş. Gen. Md.–İstanbul (4 Hafta) Koç Holding AYGAZ A.Ş Bilgi İş. Bölge Md.-Kocaeli(8 Hafta)