

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(DOKTORA TEZİ)

**PETROL ARAMA ÇALIŞMALARINDA YERALTI
TELSİZ DUYARGA AĞLARI İÇİN KANAL
MODELLEME**

Mustafa Alper AKKAŞ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Radosveta SOKULLU

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu: 609.02.00

Sunuş Tarihi: 5/12/2014

Bornova-İZMİR

2014

Mustafa Alper AKKAŞ tarafından Doktora tezi olarak sunulan “Petrol Arama Çalışmalarında Yeraltı Telsiz Duyarga Ağları için Kanal Modelleme” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesinin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 5/12/2014 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı : Yrd. Doç. Dr. Radosveta SOKULLU

Raportör Üye : Prof. Dr. Gökalgp KAHRAMAN

Üye : Prof. Dr. Levent TOKER

Üye : Doç. Dr. Orhan DAĞDEVİREN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Berna ÖZBEK



EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “Petrol Arama Çalışmalarında Yeraltı Telsiz Duyarga Ağları için Kanal Modelleme” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

5/12/2014

Mustafa Alper AKKAŞ

ÖZET**PETROL ARAMA ÇALIŞMALARINDA YERALTI TELSİZ****DUYARGA AĞLARI İÇİN KANAL MODELLEME**

Akkaş, Mustafa Alper

Doktora Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Radosveta SOKULLU

Aralık 2014, 116 sayfa

Petrol çıkarmak maliyeti yüksek bir iştir. Yeraltının haritalanması, mevcut petrolün kalitesi, petrolün sıcaklığı, petrolün ne yöne aktığı ve yeraltındaki koordinat bilgilerinin yer üstüne gönderilmesi, petrol çıkarımda önemlilik arz etmektedir. Petrol sondajı vurulduktan sonra yeraltında patlatılan kuvvetli patlayıcılar sayesinde, genişliği 5 metre, uzunluğu 100 metre civarında katmanlar oluşur, fakat bu katmanların derinliği ancak 1-2 cm civarındadır. 1-2 cm derinliğindeki bir katmanda, kablosuz bir düğümün haberleşebilmesi için anten boyutunun oldukça küçük olması gerekmektedir ki bu da yüksek bantlardaki elektromanyetik frekanslarda mümkündür.

Bu tezin amacı, patlama sonucu oluşan dar alanlarda, kablosuz yeraltı duyarga ağlarının haberleşebilmesi için, yüksek bantlarda elektromanyetik dalgaların kanalını modellemektir. Kanal modeli, çoklu sistemlerin etkisini, frekans, iletişim mesafesi, sıvılar ve petrol kuyularının sıcaklığı gibi çevresel parametreleri analitik olarak ifade eder. Karmaşık olan “petrol, su, toprak ve gaz” ortamları düşünülerek yol kaybı modeli önerilmiştir. Yüksek bantlardaki elektromanyetik dalgaların, petrol yataklarında karşılaştıkları “petrol, su, toprak ve gazlar” nedeniyle oluşan yol kayıpları belirlenip, haberleşme performansı incelenmiştir. Ayrıca geliştirilen bu kanal modeli ile su ortamının kanal modellenmesi de incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Telsiz Duyarga Yeraltı Ağları, Kanal Analizi, Kanal Modeli, Elektromanyetik Emilim, Bit Hata Oranı, Terahertz Bant.

ABSTRACT

CHANNEL MODELLING FOR WIRELESS UNDERGROUND

SENSOR NETWORK USED IN OIL RECOVERY

AKKAŞ, Mustafa Alper

PhD in Electrical-Electronics Eng.

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Radosveta SOKULLU

December 2014, 116 pages

The process of oil retrieval and extraction is quite an expensive operation. An important part of this complicated operation process is the mapping of the reservoir and collecting information about the quality, temperature, the exact details of the petrol flow and concentration underground and sending that information to the systems above the ground. The initial results in forming layers in an area of around 5 meters of width and length of about 100 meters, constituting numerous cracks depth of 1-2 cm. The usage of a WSUN network, consisting of very small wireless sensors can be utilized to provide information about the vital parameters of the oil reservoir. Such a network will require positioning the sensors in the cracks and ensuring their communication in the reservoir area underground. To meet these requirements THz band EM communication can be used.

The goal of this thesis is to investigate the complex underground communication channel and provide and inside into its possible performance. A channel model, the channel model has to analytically capture the effects of multiple system and environmental parameters, such as the operating frequency, the transmission distance, the fluid makeup and the temperature inside the reservoir. Based on that model the optimal modulation and the bit error rate of the THz EM wave communication system in the oil reservoir is examined. Furthermore, the suggested model is extended to include the case of a different environment, namely shallow and deep salty underwater environment.

Keywords: Wireless Underground Sensor Networks, Channel Analysis, Channel Model, Electromagnetic Absorbance, Bit Error Rate, Terahertz Band.

TEŞEKKÜR

Doktora çalışması kapsamında, yapmış olduğu katkılardan dolayı Georgia Teknoloji Enstitüsü Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Kürsüsü Profesörü ve Geniş Bant Kablosuz Ağlar Laboratuvarı Direktörü Prof. Dr. İan F. AKYILDIZ' a ve bu süreçte her aşamada katkı, yardım ve yönlendirmelerini bana esirgemeyen, bilgileriyle beni yönlendiren, tez çalışmamı severek tamamlamamı sağlayan danışmanım Yrd. Doç. Dr. Radosveta SOKULLU' ya çok teşekkür ederim.

Tüm yaşamım boyunca bana destek olan, eğitim-öğretim yaşamımın her döneminde maddi ve manevi her zaman varlıklarını hissettiğim, beni ben yapan çok sevgili aileme ve ikinci ailem AKDOĞAN ailesine sonsuz teşekkür ederim. Bu uzun süreçte beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan, büyük bir sabır ve anlayışla benden her türlü desteğini esirgemeyen sevgili eşim Arş. Gör. Elif Nur AKKAŞ' a ve hayatımın en güzel yanı, bir gülüşüyle tüm sıkıntıları unutturan, doktora sürecinde aramıza katılan biricik oğlum Hasan Hüseyin AKKAŞ' a sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xxiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Telsiz Duyarga Ağları (TDA).....	2
1.2 Petrol Çıkarma Aşamaları ve Telsiz Duyarga Önerileri.....	7
1.2.1 Birinci aşama	7
1.2.2 İkinci aşama	8
1.2.3 Üçüncü aşama.....	9
1.2.4 Petrol çıkarımında TDYA' larda sistem mimarisi.....	9
1.2.5 Petrol çıkarımında TDYA' ların özellikleri ve düğüm önerileri	10
1.3 Tez Ana Problemi	12
1.4 Tez Ana Hatları	14

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM	23
3.1 Toprak Altı İletişim Kanal Modellemesi	25
3.1.1 Toprak-Toprak kanalı	25
3.1.2 Toprak-Hava kanalı.....	27
3.1.3 Hava-Toprak kanalı.....	28
3.2 Çok Atomlu Moleküllerin Titreşimleri	29
3.2.1 Gerilme titreşimi	31
3.2.2 Açık bükülme titreşimleri	31
3.3 Petrolün Kimyasal Oluşumu ve Yapısı.....	32
3.3.1 Hidrokarbonlar	34
4. PETROL REZERVUARLARINDA EM DALGALARIN THZ BANTLARINDAKİ YOL KAYBI MODELLEMESİ	35
4.1 Petrol Ortamının Yüksek Bantlardaki Yol Kaybı Modeli	35
4.2 Su Ortamının Yüksek Bantlardaki Yol Kaybı Modeli.....	45
4.3 Petrol-Su Karışımının Yüksek Bantlardaki Yol Kaybı Modeli	49
4.4 Toprak Ortamının Yüksek Bantlardaki Yol Kaybı Modeli	55

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.5 Karbondioksitin Yüksek Bantlardaki Yol Kaybı Modeli	61
4.6 Tuzlu Suyun Yüksek Bantlardaki Yol Kaybı Modeli	66
5. KANAL MODELİNİN TANIMLANMASI	73
5.1 Karışık Yeraltı Petrol Yataklarının Kanal Modeli (KYPY-KM)	73
5.2 Su/Petrol, Karbondioksit ve Toprak Yüzdelere Bağlı Olarak Bit Hata Oranları (BHO)	83
5.3 Kanal Kapasitesi	87
6. SU ORTAMININ 300 İLE 700 MHZ BANTLARI ARASINDAKİ KANAL MODELİ.....	90
6.1 Su Ortamının Modellenmesi ve Modele Göre Bit Hata Oranının (BHO) Hesaplanması	91
6.2 Derin Su Ortamının 300 ile 700 MHz Bantları Arasındaki Kanal Modeli.....	96
6.3 Sığ Su Ortamının 300 ile 700 MHz Bantları Arasındaki Kanal Modeli	99
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	105
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	108
ÖZGEÇMİŞ.....	115

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Duyarga Ağ Topolojisi	3
1.2 TDYA' nın akıllı tarımda kullanımı	5
1.3 TDYA' nın golf sahalarında kullanımı	5
1.4 TDYA' nın yeraltı sulama kanallarında kullanımı	6
1.5 TDYA' nın maden ocaklarında kullanımı	6
1.6 TDYA' nın sınır güvenliğinde kullanımı.....	7
1.7 Birinci Aşama: Petrol kuyusunun açılıp patlatılması	8
1.8 İkinci Aşama: Ana sondaj etrafına 2 adet sondajdan periyodik olarak CO2 ve su verilmesi.....	8
1.9 Üçüncü Aşama: Petrol'ün CO2 ve su' dan ayrıştırılıp bir tank da biriktirilmesi.....	9
1.10 EM metodu ile petrol çıkarımda TDYA' nın yerleşim mimarisi.....	10
1.11 Nano duyarga ağı mimarisi ve Ecomote.....	11
1.12 Mica2Dot duyarga ağı	12
2.1 Mİ metodu ile petrol çıkarımda TDYA' nın yerleşim mimarisi.....	15
2.2 Mİ yönteminde halkalarının kaybolması ya da yer değiştirmesi.....	16
2.3 Mİ dalda kılavuzu yapısı ve iletişim mesafesi.....	16

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.4	Mİ haberleşmesi kanal modeli.....17
2.5	Farklı VWC' lere sahip toprakta ki Mİ metodu ve EM dalga yönünden mesafeye göre yol kaybı 19
2.6	Telsiz duyarga düğümün yeraltına gömülmesi.....20
2.7	Telsiz duyarga düğümün yeraltına farklı açılarda gömülmesi ve paket hata oranları 20
2.8	Difüzyona dayanan moleküler haberleşme 21
2.9	Saf suda 2 GHz, 2.4 GHz ve 2.8 GHz frekanslarında mesafeye göre yol kaybı 22
3.1	Topraktan toprağa yansıma 25
3.2	Topraktan havaya yansıma 27
3.3	Havadan toprağa yansıma.....28
3.4.	Moleküllerde titreşim türleri.....32
4.1	Oktanin kızılötesi spektroskopikorelasyon tablosu 37
4.2	1-Oktanin kızılötesi spektroskopikorelasyon tablosu) 38
4.4	1-Tolüen kızılötesi spektroskopikorelasyon tablosu 40
4.5	Karbon atomu kızılötesi spektroskopikorelasyon tablosu 41

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

4.6	Karbon atomu kızılötesi spektroskopikorelasyon tablosu birleşik görünümü	41
4.3	1-Heksin kızılötesi spektroskopikorelasyon tablosu.....	38
4.7	Petrolün kızılötesi spektroskopikorelasyon tablosu.....	42
4.8	1 mikro metre kalınlığındaki suyun kızılötesi spektroskopikorelasyon tablosu.	43
4.9	Soğurma ile geçirgenlik arasındaki bağlantı.....	43
4.10	1 mikrometre kalınlığındaki saf suyun emilme spektrumu	46
4.11	1 mikrometre kalınlığındaki saf suyun emilme spektrumu	47
4.12	1 mm kalınlığındaki farklı sıcaklıklarda ki saf suyun frekansa göre soğurma kaybı.....	48
4.13	1-10 mm kalınlığındaki 45 derecedeki saf suyun frekansa göre soğurma kaybı	49
4.14	Uzaklığa göre geçiş penceresinde farklı sıcaklıklardaki su ve petrol karışımında EM dalgaların soğurma kaybı	51
4.15	Uzaklığa göre geçiş penceresinde farklı sıcaklıklardaki su ve petrol karışımında EM dalgaların yol kaybı.....	52
4.16	Uzaklığa göre geçiş penceresinde farklı sıcaklıklardaki su ve petrol karışımında EM dalgaların soğurma kaybı 3 boyutlu gösterimi.....	53

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.17 Uzaklığa göre geçiş penceresinde farklı sıcaklıklardaki su ve petrol karışımında EM dalgaların yol kaybı 3 boyutlu gösterimi	54
4.18 Geçiş bandındaki yayılım kaybı	55
4.19 Toprak ortamının yüksek bantlardaki yol kaybı modeli adımları	58
4.20 Düğüm aralığına göre THz bantlarındaki yol kaybı.....	59
4.21 Düğüm aralığına göre THz bantlarındaki yol kaybı 3 boyutlu görünümü	60
4.22 Kil ve kum yüzdelere göre yol kaybı 3 boyutlu görünümü.....	61
4.23 CO ₂ titreşim hareketleri	62
4.24 CO ₂ 'in kızıl ötesi spektroskopisi analiz sonucu	63
4.25 Geçiş penceresinde CO ₂ 'nin kızıl ötesi spektroskopisi analiz sonucu .	64
4.26 Geçiş penceresinde CO ₂ ' in 10mm' ye kadar olan soğurma kaybı	64
4.27 CO ₂ ' nin 0-120 THz aralığında 1 metreye kadar olan soğurma kaybı ..	65
4.28 Geçiş penceresinde CO ₂ ' nin 1 metreye kadar olan soğurma kaybı.....	65
4.29 1 cm kalınlığındaki %41 tuzluluk oranına sahip farklı sıcaklıklardaki suyun geçiş penceresindeki emilme katsayısı	70
4.30 1 mm kalınlığında farklı sıcaklıklarda saf ve %41 tuzluluk oranına sahip tuzlu suyun geçiş penceresindeki emilme katsayısının aynı grafik üstünde gösterimi	71

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

4.31	1 mm kalınlığında farklı sıcaklıklarda saf ve %41 tuzluluk oranına sahip tuzlu suyun geçiş penceresindeki emilme katsayısının farklı grafik üstünde gösterimi.....	71
4.32	1 mm kalınlığında 25 °C sıcaklığında saf ve %41 tuzluluk oranına sahip tuzlu suyun geçiş penceresindeki emilme katsayısının aynı grafik üstünde gösterimi.....	72
4.33	Tuzun (Na-Cl) emilim katsayısının frekansa göre değişimi.....	72
5.1	2 yönlü kanal modeli.....	74
5.2	Toprak ortamının yüksek bantlardaki yol kaybı modellenmesine hata fonksiyonu eklenmiş hali	77
5.3	Farklı modülasyon türleri kullanılarak, farklı hacimsel su içeriği olan topraktaki iki sensor arasındaki iletişim mesafesi.....	78
5.4	ASK, FSK ve PSK modülasyon şekillerinde SGO değeri.....	79
5.5	Farklı PSK modülasyon şekillerinde SGO değeri	79
5.6	Toprakta 70-85 THz geçiş penceresi aralığındaki mesafeye göre BHO	80
5.7	Topraktaki %15, %20 ve % 25 hacimsel su içeriğine göre BHO'ların frekansa göre değişimi	81
5.8	10-30 dBm iletişim gücüne göre, 80 THz frekansında toprak ortamında mesafeye göre BHO	82
5.9	80 THz'de kil ve kum parçacıkları yüzdesine göre BHO.....	83

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.10 A,B,C ve D karışımların yol kaybı.....	85
5.11 A, B, C ve D karışımların 10 dBm iletim gücünde, mesafe ve frekansa göre BHO' ı	86
5.12 A, B, C ve D karışımların 30 dBm iletim gücünde, mesafe ve frekansa göre BHO' ı	86
5.13 A karışımının 10dBm iletim gücünde mesafeye göre kapasitesinin 2 ve 3 boyutlu gösterimi.....	88
5.14 B karışımının 10dBm iletim gücünde mesafeye göre kapasitesinin 2 ve 3 boyutlu gösterimi.....	88
5.15 C karışımının 10dBm iletim gücünde mesafeye göre kapasitesinin 2 ve 3 boyutlu gösterimi.....	89
5.16 D karışımının 10dBm iletim gücünde mesafeye göre kapasitesinin 2 ve 3 boyutlu gösterimi.....	89
6.1 Saf suda ϵ' dielektrik gerçek parça sabiti.....	93
6.2 Saf suda ϵ'' dielektrik hayali parça sabiti.....	93
6.3 3 yollu kanal modeli	95
6.4 Derin su ortamının 300 ile 700 MHz bantlarında TDA'lar arası mesafeye göre yol kaybı	96
6.5 Derin su ortamının 300 ile 700 MHz bantlarında TDA'lar arası mesafeye göre yol kaybı 3 boyutlu gösterimi.....	97

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

6.6	Derin su ortamının 300 ile 700 MHz bantlarında TDA' lar arası mesafeye göre BHO' ı.....	98
6.7	Derin su ortamının 400 MHz' de iletim gücüne 10-30 dBm' e göre BHO' ı	99
6.8	Sığ su ortamının 300 ile 700 MHz bantlarında TDA' lar arası mesafeye göre yol kaybı	100
6.9	Sığ su ortamının 300 ile 700 MHz bantlarında TDA' lar arası derinliğe göre yol kaybı	101
6.10	Sığ su ortamının derinliğe ve TDA' lar arası mesafeye göre yol kaybı	102
6.11	Sığ su ortamının 300 ile 700 MHz bantlarında TDA' lar arası mesafeye göre BHO	103
6.12	Sığ su ortamının 400 ile 700 MHz bantlarında TDA' lar arası derinliğe göre BHO' ı.....	104
6.13	Sığ su ortamının pt iletim gücü 10-30 dBm arasında TDA' lar arası mesafeye göre BHO	105

ÇİZELGELER DİZİNİÇizelgeSayfa

4.1 Soğurma katsayısı 0.02, kalınlığı ise 25 mikrometre olan ham petrolün soğurma büyüklüğünü	44
4.2 25 °C ve %41 tuzluluk oranına kadar olan suyun kırılma katsayıları	69
6.1 Frekansa göre saf suda ϵ' ve ϵ'' dielektrik gerçek ve hayali parça sabitleri ...	93

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
CO ₂	Karbondioksit
THz	Terahertz
MHz	Megahertz
ν	Bağ gerilme titreşimleri
δ	Açı bükülme titreşimleri
δ_s	Makaslama titreşimleri
ρ_r	Sallanma titreşimleri
W	Dalgalanma titreşimleri
t	Kıvrırma titreşimleri
τ	Burulma titreşimleri
γ	Düzlem dışı açı bükülme
C	Karbon
H	Hidrojen
N	Nitrojen
O	Oksijen
T	Soğurma büyüklüğü
A	Geçirgenlik

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$\text{abs}(\tilde{\nu})$	Soğurma spektrumu
$k(\tilde{\nu})$	Soğurma katsayısı
H_2O	Su
μm	Mikrometre
nm	Nanometre
dB	Desibel
ϵ	Elektriksel geçirgenlik
μ	Manyetik geçirgenlik
α	Alfa
β	Beta
ϵ	Kompleks dielektrik sabiti
ϵ'	Dielektrik gerçekte parça
ϵ''	Dielektrik hayali parça
ω	Açısal frekans
erfc	Hata fonksiyon

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Kısaltmalar

TDA	Telsiz duyarga ağı
TDYA	Telsiz duyarga yeraltı ağı
WUSN	Telsiz duyarga yeraltı ağı
TDSA	Telsiz duyarga su ağı
FTIR	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
BHO	Bit hata oranı
SGO	Sinyal gürültü oranı
SHO	Sembol hata oranı
MI	Manyetik İndüksiyon
CD-ROM	Kompakt disk - okunur belleği
NIR	Yakın kızılötesi
MWIR	Orta dalga boyu kızılötesi
LWIR	Uzun dalga boyundaki kızıl ötesi
FIR	Uzak Kızılötesi
IR	Kızılötesi
IrDA	Kızılötesi veri birliği
LED	Işık yayan diyot

ATR	Zayıflatılmış toplam yansıtma
SI	Uluslararası standart
PSK	Faz kaydırmalı anahtarlama
KYPY-KM	Karışık yeraltı petrol yataklarının kanal modeli
VWC	Hacimsel su içeriği

1. GİRİŞ

Telsiz Duyarga Ağlarının (TDA) uygulama alanları ve önemi her geçen gün artmakta ve farklı dallara ayrılmaktadır. Bunlardan başlıcaları, Telsiz Duyarga Yeraltı Ağları (TDYA) ve Telsiz Duyarga Su Ağları (TDSA)'dır. İnsanın ulaşamayacağı yerlerde, çevre şartlarının incelenmesi, yeraltı hareketliliğinin incelenmesi, deniz ve okyanusların hareketlerinin ve su ortamının incelenmesi, orman yangınlarının önceden haber verilmesi, vb. gibi birçok yararlı uygulama alanları olan TDA'ların verimli tasarlanması, yaygınlaşmasını da beraberinde getirmiştir. TDA'larda kullanılan düğüm noktalarının, enerji, işlem kapasitesi ve hafıza kısıtlamalarının olması, kablolu ve diğer kablosuz ağlarda kullanılanlardan daha farklı bir tasarım yönteminin belirlenmesini ihtiyaç göstermektedir ki bu tasarım TDA'lara has olmalıdır. TDA'ların alanda giderek daha çok kullanılması nedeniyle, daha verimli tasarlanması, birçok alanda daha uzun ömürlü, daha performanslı, ekonomik yönden daha hesaplı duyarga ağlarının kurulumuna imkân verecektir. Son yıllarda ortaya çıkan ve dikkat çeken bir uygulama ise TDA'ların yeraltında kullanılmasıdır.

Bir bölgede petrol çıkarma çalışmalarına başlamadan önce o bölge teknolojik aletlerle uzun bir süre gözlemlenir. Çünkü petrol çıkarmak maliyeti yüksek olan bir iştir. Petrol araması yapılan bölgenin öncelikle havadan ve karadan fotoğrafları çekilir ve yer yapısı incelenir. Yeryüzünden ve yerin altından alınan kayaç örneklerine, X ışınları yardımıyla kimyasal çözümleme yapılır ve oluşum belirlenir. Daha sonra yer hareketlerini belirlemek amacıyla sismograf gibi sismik cihazlar kullanılır ve genellikle dinamit patlatılarak yer hareketleri belirlenir. Eğer herhangi bir rezervuara rastlanırsa, sondajlama yapmadan önce rezervuar içerisindeki petrol miktarı ölçülür. Eğer bulunan petrol, maliyeti karşılayamayacak durumda ise kuyu terk edilir. Ancak rezervuardaki petrol oranı fazla ise sondajlama yapılır ve yer kabuğunu deleyecek güçteki araçlardan faydalanılır. Çağımızın en önemli yeraltı kaynaklarından biri kuşkusuz petroldür. Fakat günümüzdeki sistemler petrol rezervlerini tam olarak bulamamakta, sondaj vurulsa bile ana rezerv tüketildikten sonra sondaj etrafındaki yan rezervler bulunamamaktadır. Dünyada petrol kuyularındaki rezervin ancak yüzde 30' u çıkartılabilmektedir. Yeraltını sürekli ve detaylı gözlemleyebilen sistemler geliştirildiğinde, bu oranın yüzde 75'lere çekilmesi hedeflenmektedir (Akyıldız I. F., 2013). Bu çalışmanın amacı ise, petrol kaynaklarının düzgün bir şekilde

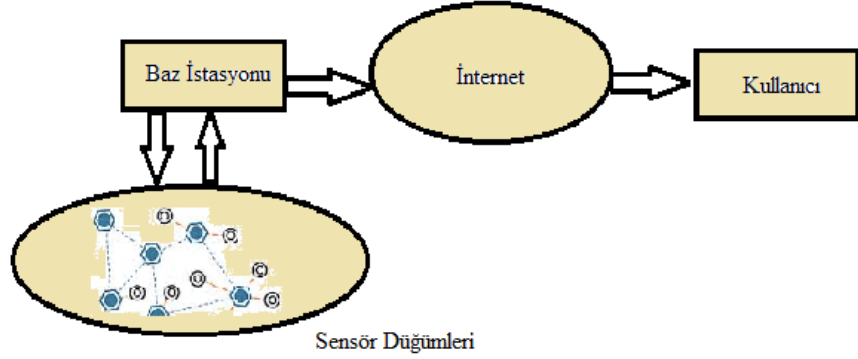
boşaltılabilmesi için yeraltındaki durumun sürekli ve detaylı olarak bilinip haritalanmasını sağlamaktır. Yeraltının haritalanması, mevcut petrolün kalitesi, sıcaklığı, akımı ve koordinatı gibi istenilen değerlerin TDYA' lar vasıtası ile yer üstüne gönderilmesini sağlamaktadır.

1.1 Telsiz Duyarga Ağları (TDA)

TDYA' lar geçmişten günümüze, çok kısa bir süre içinde uygulama alanları açısından büyük bir çeşitliliğe ulaşmıştır. Bu uygulama alanları; askeri, çevre izleme, habitat takibi, hedefin tespiti ve takibi, ticari ve endüstriyel uygulamalar, sağlık uygulamaları olmak üzere geniş bir yelpaze oluşturmaktadır. Uygulamalar, belirli olaylara ve çalıştırıcıların bölgesel kontrolüne, algılama ve izlemenin sürekliliğine göre çeşitlilik göstermektedir. Son bir kaç sene içinde bu uygulamalara iki özel alan daha eklenmiştir. Bunlardan ilki, vücut içi haberleşme ve diğeri ise yeraltı haberleşmesidir. Vücut içi haberleşme, TDA' lar sayesinde, nano ölçekteki düğümler vasıtasıyla, vücudun içinde gerçekleşen haberleşmedir. Yeraltı uygulamaları ise, daha büyük ölçülere sahip kablosuz düğümlerin yeraltında haberleşmesini sağlamaktadır. TDYA' lar, yeraltı koşullarına göre tasarlanmakta ve programlanmaktadır. Uygulamanın çeşitliliğine göre yer üstüne de düğümler yerleştirilebilir. TDYA' ların maliyeti, diğer TDA' lara göre farklılık gösterebilir. TDYA' nın yerleşimi, modellenen toprağa ve toprağın içerisinde ki suya göre değişiklik arz edebilir. TDYA' ların kullanım alanları ise, sınır güvenliği, doğal madenlerin bulunması ve çıkarılması, petrol araştırma teknikleri, golf sahaları, futbol sahaları, tarımsal faaliyetler ve sulama alanları şeklindedir.

Duyarga ağ temel elemanları, sezme, veri işleme ve haberleşme özelliğine sahip, duyarga düğümleridir. Duyarga düğümler genelde, herhangi bir kablo olmaksızın, izleyecekleri ortama rastgele saçılmış halde bulunurlar. Şekil 1.1' de bir duyarga ağ mimarisi karakterize edilmektedir. Veri genelde 3 seviye de işlenmektedir. Bunlar;

1. İzlenilecek ortamdaki olaylar, duyarga düğümler tarafından algılanır. Her bir duyarga düğüm, elde ettikleri veriyi ayrı ayrı işlemektedir.
2. İkinci seviye de, her düğüm veriyi algılayıp, işledikleri veriyi komşularına yollamaktadır.
3. Duyarga ağ haberleşmesinde ki en üst katman, işlenmiş verinin "baz istasyonu" olarak adlandırılan merkeze yollanılmasıdır.



Şekil 1.1 Duyarga Ağ Topolojisi

Duyarga düğümler ve toplayıcı düğümler (Sink) tarafından kullanılan protokol yapısı, güç ve yol bulma gibi özellikleri de içinde barındırır. Kullanılan protokol yapısı, güç kullanımını dikkate alarak, telsiz ortam tarafından sunulan iletim ortamını haberleşmek için kullanır. Bu şekilde tüm duyarga düğümlerin ağda ortak çalışması sağlanmıştır.

TDA' lar yapısı itibariyle çeşitli iletişim kanalına ve fazla sayıda düğümlerden oluştuğu için karmaşık bir yapıya sahiptirler. TDYA' lar da ise düğüm sayısı yüzlerce, bazen binlerce sayıya çıkmaktadır. Bu düğümler önemli ölçüde sınırlı kaynaklara sahiptir. Bu kaynaklar; işlemci, depolama, haberleşme ve enerji üniteleridir. Sınırlı enerji, teknolojik gelişmelerin önündeki en büyük engellerden biridir. Bu etken zaten sınırlı kaynaklara sahip olan düğümlerde daha hayati öneme kavuşmaktadır. Bundan dolayı düğümlerin enerjilerini bilinçli kullanmaları gerekmektedir. Sensor ağ teknolojilerini gerçekleştirmede; donanım tasarımı, iletişim protokolleri ve uygulama tasarımı zorluklar çıkmaktadır. Sensor ağının yaşam ömrünü uzatmak ve zeki veri toplama sistemleri kurmak bu zorluklardan ikisi olarak belirlenmektedir. Diğer zorluklar şu şekilde listelenebilir:

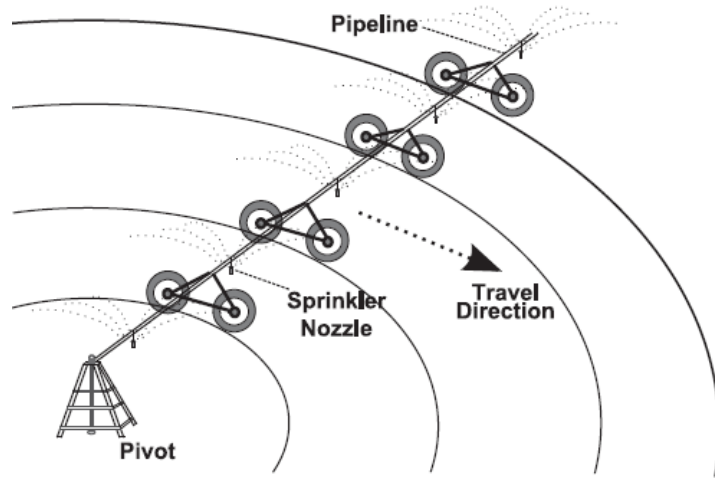
- Düğümler noktadan noktaya iletişime dayanan ağlarda yayım iletişim paradigmasını kullanır.
- Düğümler çok kısıtlı güç, hesaplama yeteneğine ve hafızaya sahiptir.
- Düğümler bozulmaya yatkındır.

- Düğümler çok fazla yükten dolayı, genel kimlik (ID) sahibi olmayabilir.
- Düğümler çok fazla sayılarda kurulur, bu nedenle kalabalıktan kaynaklanan tıkanma ve çarpışmalar olabilir. Bu çarpışmayı önlemek için birbirine yakın düğümler eşzamanlı iletişim yapmamalıdır.
- Değişken ortam durumları, sistemin zamanla bağlantılık ve sistem uyarlamasını gerekli kılar.

Gereksinimler: fazla sayıda düğüm düşük enerji kullanımı, düşük belleğin verimli kullanımı, veri toplama, ağ örgütlenmesi, işbirlikçi sinyal işleme ve sorgulama yeteneği olarak belirtilmektedir (Dong X. et. al., 2011; Foth H. D., 1990; Giacomini J. et. al., 2006).

TDYA' ların günümüzde birçok yönden TDA' lara getirdiği yeni uygulama alanları vardır. Bu uygulama alanlarından başlıcaları: TDYA' nın akıllı tarımda kullanımı (Şekil 1.2), TDYA' nın golf sahalarında kullanımı (Şekil 1.3), yeraltı sulaman kanallarında kullanımı (Şekil 1.4), maden ocaklarında kullanımı (Şekil 1.5), TDYA' nın sınır güvenliğinde kullanımı (Şekil 1.6) şeklinde sıralanabilir. Ayrıca Şekil 2.1 ve Şekil 1.10'da TDYA' ların petrol çıkarımında kullanılması uygulamaları da, bu uygulama alanlarına örnek gösterilebilir.

Şekil 1.2 (Dong X.et al., 2013)’ de gösterildiği gibi TDYA’ ların tarımsal faaliyetlerde de kullanılması hedeflenmiştir. Bu uygulamalarda, TDYA düğümlerinin, belli bir mesafede yeraltına gömülerek toprakta ki nem, sıcaklık, mineral oranı vb. bilgileri, yer üstündeki toplayıcı düğümlere göndermesi hedeflenmiştir. Bu sayede topraktaki su miktarı azaldığında, otomatik olarak sulama başlayacaktır. Sera ortamı gibi sıcaklığın önemli olduğu tarımsal faaliyetlerde de toprağın sıcaklığına göre seranın kapıları açılacak ya da kapanabilecektir. Mineral miktarı azaldığında ise, otomatik gübreleme yapılabilecek sistemler geliştirilebilecektir.



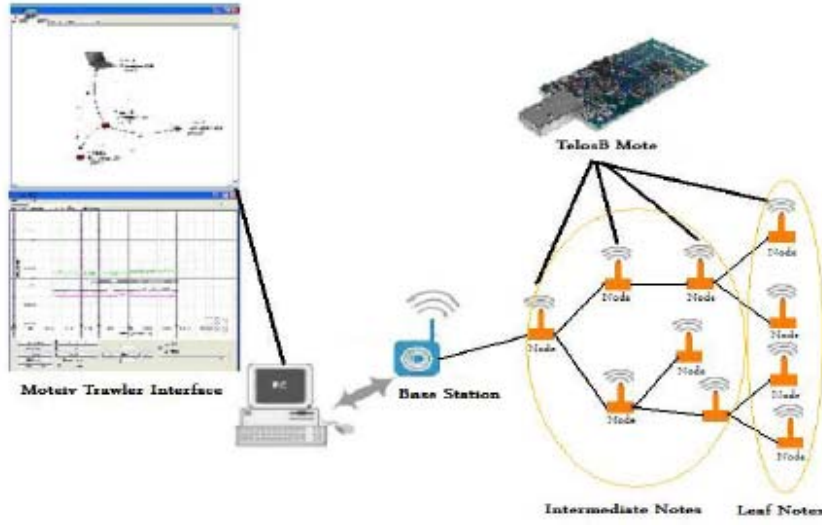
Şekil 1.2 TDYA' nın akıllı tarımda kullanımı

TDYA' ların bir başka kullanım alanı ise golf sahalarıdır. Golf sahalarında çimin durumu çok önemlidir. TDYA' lar kullanılarak, çimin en uygun nem, sıcaklık ve tuzluluk oranında yetişmesi sağlanmaktadır. Bu uygulamaya yönelik geliştirilmiş TDYA' lar da mevcuttur (UgMO, 2014).



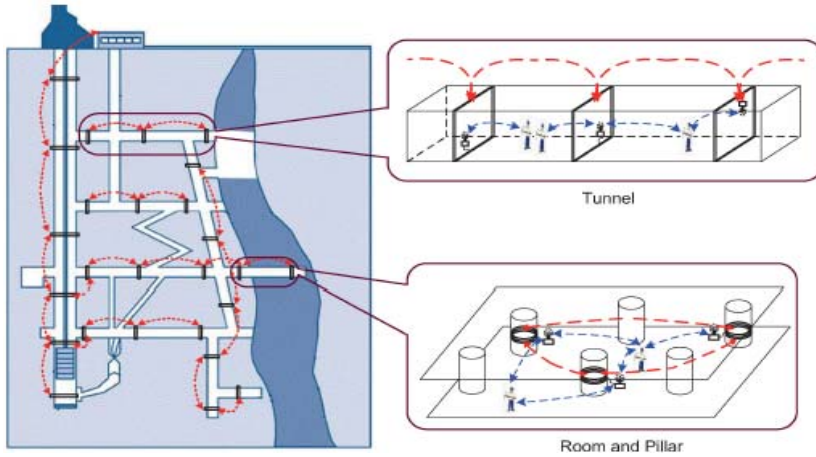
Şekil 1.3 TDYA' nın golf sahalarında kullanımı

TDYA' nın yeraltı sulama kanallarında kullanımı, (Sokullu R. et. Al., 2011) makalesinde anlatılan yer üstü sulama kanalları için yapılan uygulamanın, yeraltına sulama kanalları için yapılmış halidir. Petrol, su ve fabrika atıkları özellikle yeraltı borularından geçmektedir. Yeraltında, borulardaki herhangi bir kaçak, büyük zararlara neden olmaktadır. Bu zararların önüne geçmek ve yeraltı borularının kontrolünde insan kullanımı azaltmak için sürekli ve detaylı bilgi gönderen TDYA' lar geliştirilmeye çalışılmaktadır.



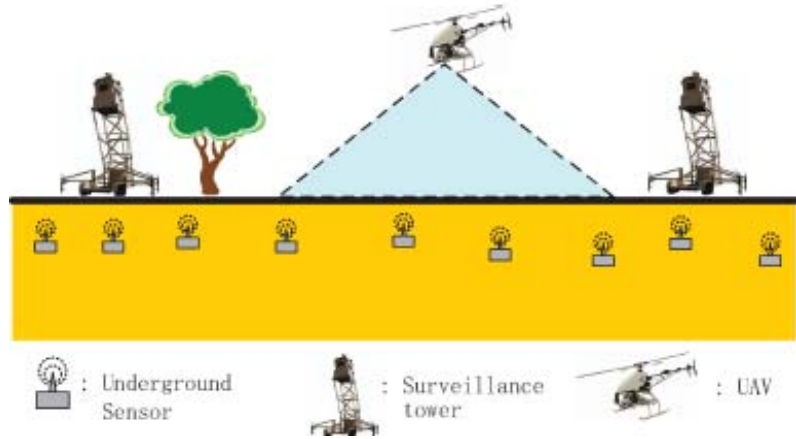
Şekil 1.4 TDYA' nın yeraltı sulama kanallarında kullanımı

Dünyada ve ülkemizde de sık karşılaştığımız facialardan biri ise maden ocaklarında meydana gelen göçük, patlama ve su baskınlarıdır. Bu faciaların önüne geçmek için çeşitli uygulamalar geliştirilmiştir. Bu uygulamalardan bir tanesi ise TDYA' nın maden ocaklarında kullanımıdır. Şekil 1.5 (Sun Z. et al., 2010) bu uygulamanın tasarım şekli verilmiştir. Bu sayede, hangi hücrede kaç maden işçisi var?, maden işçilerin çalıştığı ortamın sıcaklık, karbondioksit, nem ve basınç miktarı nedir?, gibi bilgilerin, anlık ve detaylı bir şekilde gözlem merkezlerine iletilmesi hedeflenmektedir. Bu tarz uygulamalarda toprak altında maden işçilerinin kalması durumunda bile, bu düğümlerin çalışmaya devam etmesi ve işçilerin, yerin, madenin durumu hakkında, gözlem merkezine bilgi vermesi hedeflenmektedir.



Şekil 1.5 TDYA' nın maden ocaklarında kullanımı

TDYA' ların en önemli uygulamalarından biri ise, sınır güvenliği uygulamasıdır. Şekil 1.6 (Sun Z. et al., 2010). Sınır güvenliğinde TDYA' ların kullanılması güvenlik açısından kullanışlıdır fakat bu uygulamada çözümü bekleyen bazı sorunlar vardır. TDYA' ların yer üstünde insan mı yoksa bir hayvan mı geçtiğini ayırt etmesi gerekmektedir. Ayrıca istenmeyen kişiler tarafından yerlerinin bulunup, imha edildiklerinde, gözlem merkezlerine bu durumun iletip, geride kalan düğümlerle de güvenliğin sağlanması gerekmektedir.



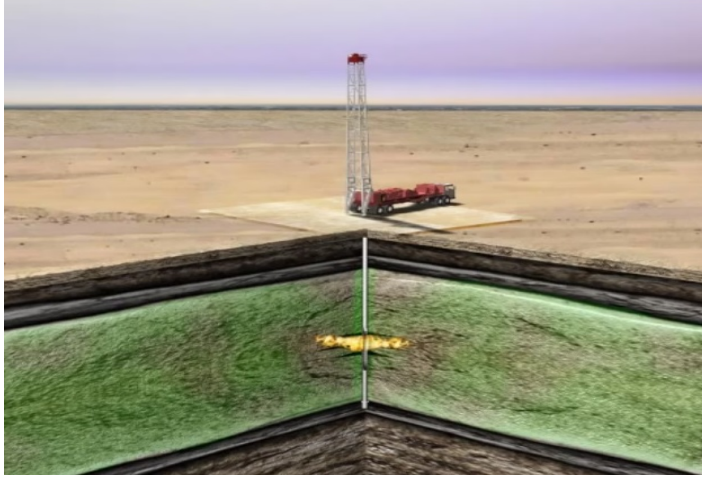
Şekil 1.6 TDYA' nın sınır güvenliğinde kullanımı

TDYA' ların hala hayata geçmemiş, fakat potansiyel olarak faydalı, ileriye yönelik, kârlı, bir başka uygulama alanı ise petrol kaynaklarının durumunu detaylı ve sürekli gözlemleyebilen petrol araştırma tekniğidir. Bu çalışmada da petrol çıkarımında TDYA' lar ile kanal modelleme incelenmiştir.

1.2 Petrol Çıkarma Aşamaları ve Telsiz Duyarga Önerileri

1.2.1 Birinci aşama

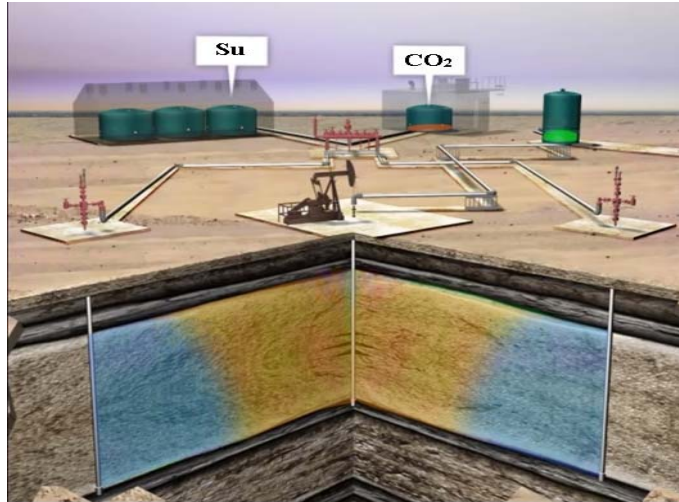
Bu aşamada eğer bulunan petrol, maliyeti karşılayacak durumda ise kuyu sondajlama yapılmaya başlanmaktadır. Şekil 1.7' de gösterildiği gibi petrole ulaşıldığı yere kadar, yer kabuğunu delme işlemi devam etmektedir. Petrolün elde edildiği derinlikte sondajlama işlemi durdurulur ve kuvvetli patlayıcılar sayesinde yeraltında çalışma alanları oluşturulur. Bu çalışma alanlarının genişliği 5 metre, uzunluğu 100 metre derinliği ise 1-2 cm civarındadır.



Şekil 1.7 Birinci Aşama: Petrol kuyusunun açılıp patlatılması

1.2.2 İkinci aşama

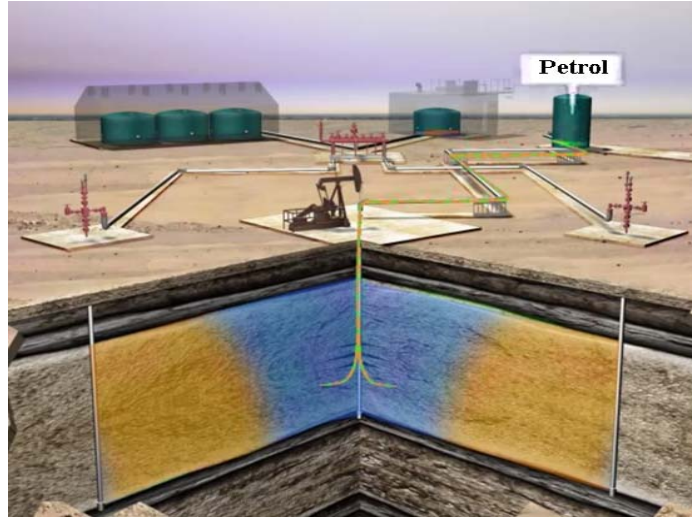
Petrol, ilk aşamadaki tek sondaj ile belli bir süre çıkarılır, fakat bir süre sonra çıkarılan petrol miktarı azalır. İkinci aşamada ise ana sondajın etrafına iki adet sondaj daha atılır. Bu yan sondajlardan periyodik olarak CO_2 ve su basılarak, yeraltındaki petrol, CO_2 ve suyun basıncı ile yer üstüne çıkarılır. Şekil 1.8’ de ikinci aşama gösterilmektedir.



Şekil 1.8 İkinci Aşama: Ana sondaj etrafına 2 adet sondajdan periyodik olarak CO_2 ve su verilmesi

1.2.3 Üçüncü aşama

Yan sondajlardan periyodik olarak CO₂ ve su basılarak, yeraltındaki petrol, CO₂ ve suyun basıncı ile yer üstüne çıkarılır. Yer üstüne petrol, su ve CO₂ karışımı çıkar. Çıkan CO₂ ve su tekrar kullanılmak üzere petrolden ayrılarak kendi tanklarına gönderilir. Petrol ise Şekil 1.9’ deki gibi ayrılarak damıtılmak üzere rafineriye gönderilir.

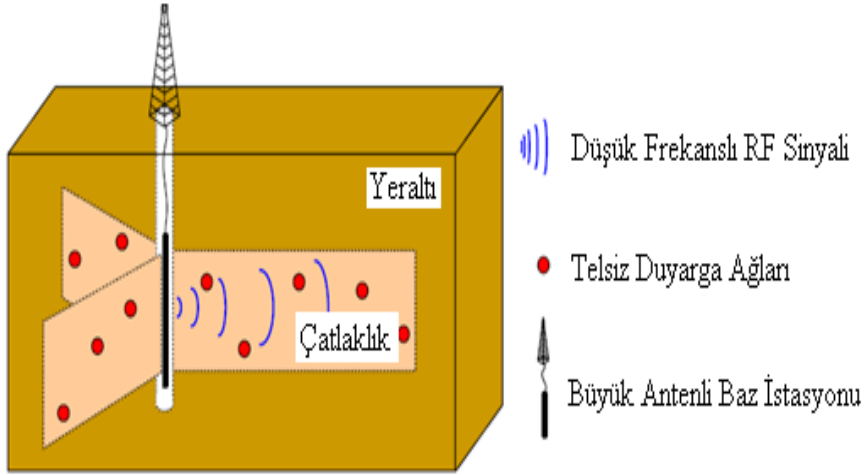


Şekil 1.9 Üçüncü Aşama: Petrol’ün CO₂ ve su’ dan ayrıştırılıp bir tank da biriktirilmesi

1.2.4 Petrol çıkarımında TDYA’ lar da sistem mimarisi

Petrol çıkarma işlemi maliyeti yüksek bir işlemdir. Sondaj yapıldıktan sonra yeraltındaki petrol durumunu sürekli ve detaylı olarak takip edebilecek, çevresindeki rezervleri bulabilecek herhangi bir sistem bulunmamaktadır. Çalışmanın amacı, bu eksikliği tamamlamak için patlama sonucu oluşan dar alanlarda, antenleri küçük kablosuz TDYA’ nın haberleşmesi için, yüksek bantları modellemektir. Yüksek bantlarda bulunan petrol, su, toprak ve gazları teker teker modelleyip, içlerinde bir geçiş penceresi bulmaktır.

Sistemin mimarisi Şekil 1.10’te gösterilmektedir. Patlamalarla oluşan alana TDYA’ lar yerleştirilerek, yeraltındaki hareketliliği yer üstüne iletmesi hedeflenmektedir. Yer üstüne verilerin gönderilmesi ise, yapılan ana sondajdaki borudan, büyük antenli bir baz istasyonuna veriler gönderilerek istenilen bilgilerin yer üstüne gönderilmesiyle gerçekleştirilecektir.



Şekil 1.10 EM metodu ile petrol çıkarımında TDYA' nın yerleşim mimarisi

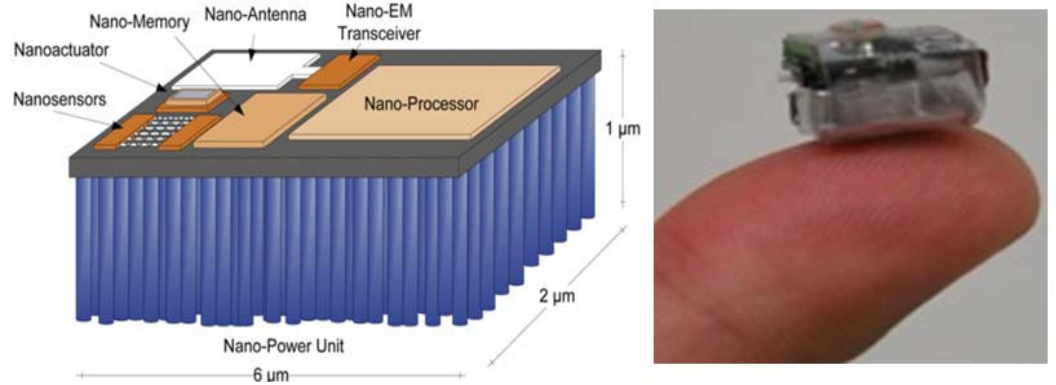
Petrol sondajı vurulduktan sonraki patlamada, Şekil 1.10 (Akkaş M. A. et al., 2012; Akkaş M. A. et al., 2013) da temsili turuncu bölgede gösterildiği gibi yeraltında genişlik 5 metre, uzunluk 100 metre civarında katmanlar oluşmaktadır, fakat bu katmanların derinliği ancak 1-2 cm civarındadır. 1-2 cm yüksekliğindeki bir katmanda haberleşebilmek için anten boyutunun oldukça küçük olması gerekmektedir, bu da yüksek frekanslarda mümkündür. Fakat frekans yükseldikçe elektromanyetik dalgaların emilimi artar ve ortamı oluşturan moleküllere göre elektromanyetik dalgaların emilimi değişiklik gösterir. Bu çalışmanın amacı da, uygun pencere geçişleri yakalandığı zaman, TDA' nın haberleşmesini en üst seviyeye çıkarmaktır. Bu pencerelerin bulunması sadece petrol kaynaklarının bulunması için değil, aynı zamanda yeraltının sürekli ve detaylı izlenmesini sağladığı için depremin önceden tahmini gibi uygulamalara yardımcı olmakta ve yeraltı kaynaklarının bulunmasında da etkin bir rol oynamaktadır.

1.2.5 Petrol çıkarımında TDYA' ların özellikleri ve düğüm önerileri

Petrol çıkarımında yeraltı için kullanılabilecek özel bir duyarga ağı bulunmamaktadır. Fakat bu yapıya uygun tasarım aşamasında nano duyarga ağları ve hali hazırda satılan mili TDA' lar mevcuttur. Nano TDA' lar, mevcut TDA birimlerinin hepsini içermektedir ve bunlar mikro metreler (en fazla 6 μm) boyutundadır (Akyıldız I. F. et al., 2010). Bu sistemin en önemli birimi ise haberleşme birimi olan anten kısmıdır. Bu konuda yapılan çalışmalar, iletişim biriminde grafen bazlı nano antenlerin kullanılmasını önermektedir (Jornet, J. M. et al., 2013). Nano duyarga ağının algılayıcı kısmında da yine grafen bazlı yapı ya

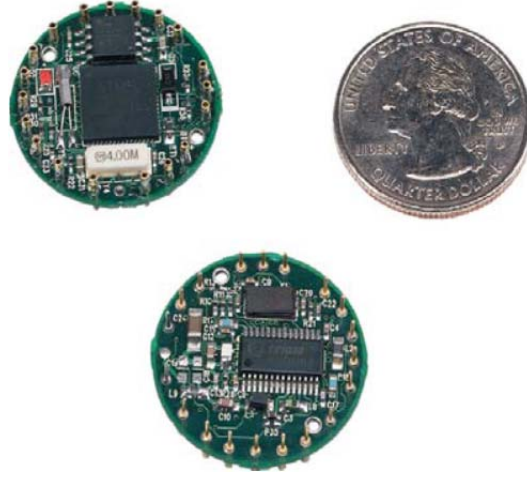
da karbon nano tüpleri kullanılarak algılayıcıların tasarlanması düşünülmektedir. Nano TDA' nın güç biriminin, genellikle hareket enerjisinden elde edilmesi hedeflenmekte ya da çinko oksit kılcal tüplerinin hareket ettirilmesi ile elde edilmesi hedeflenmektedir. Hafıza birimi ise klasik CD-ROM'lardaki mantığa benzer şekilde, altın plakalar üstüne 0'lar ya da 1'lerin olması şeklinde düşünülmüştür. Mili TDA' lar ise günümüzde üretilmekte olup, boyutu ise santimetreler (en fazla 5 cm) civarındadır (Crossbow Mica2Dot node, <http://www.xbow.com>), (Monnit Wireless Sensors, <http://www.monnit.com/products/wireless-sensors>), (Wireless Nodes, <http://www.microstrain.com/wireless/sensors>).

Bu çalışma için nano TDA' lardan ziyade mili TDA' lar baz alınmıştır. Piyasada bulunan mili TDA' ların anten kısmı hariç diğer bölümleri bu çalışma için uygundur. Örneğin (Crossbow Mica2Dot node, <http://www.xbow.com>), (Monnit Wireless Sensors, <http://www.monnit.com/products/wireless-sensors>), (Wireless Nodes, <http://www.microstrain.com/wireless/sensors>) 49\$'dan başlayan fiyatlarla, farklı firmaların ürettiği santimetreler boyutunda çok küçük kablosuz TDA' lar mevcuttur. Mili TDA' lar (ecomote, <http://www.ecomote.net/>) boyutları ile dikkat çekmektedir. Şekil 1.11'da Ecomote şeklin sağ tarafında gösterilmektedir. Ecomote' un ölçüleri ise 13*17*11 mm' dir. Ağırlığı ise pil dahil 1,8 gramdır.



Şekil 1.11 Nano duyarga ağı mimarisi ve Ecomote

Crossbow Mica2Dot duyarga ağı ise oldukça gelişmiş bir mili duyarga ağı olup, 25 mm civarında ve yaklaşık 3 gramdır. Şekil 1.12' de Mica2Dot duyarga ağı gösterilmektedir.



Şekil 1.12 Mica2Dot duyarga ağı

1.3 Tez Ana Problemi

Çağımızın en önemli yeraltı kaynaklarından biri kuşkusuz petroldür. Fakat günümüzdeki sistemler petrol rezervlerini tam olarak bulamamakta, sondaj vurulsa bile ana rezerv tüketildikten sonra sondaj etrafındaki yan rezervler bulunamamaktadır. Dünyada petrol kuyularındaki rezervin ancak yüzde 30' u çıkartılmaktadır. Yeraltını sürekli ve detaylı gözlemleyebilen sistemler geliştirildiğinde, bu oranının yüzde 75' lere çekilmesi hedeflenmektedir (Akyildiz I. F., 2013). Petrol kaynaklarının düzgün bir şekilde boşaltılabilmesi için yeraltındaki durumun sürekli ve detaylı olarak bilinip haritalanması gerekmektedir. Yeraltının haritalanması, mevcut petrolün kalitesi, sıcaklığı, akımı ve koordinatı gibi istenilen değerlerin yer üstüne gönderilmesi ihtiyacını karşılamaktadır. Petrol sondajı vurulduktan sonraki patlamada, Şekil 1.10' da temsili turuncu bölgede gösterildiği gibi yeraltında genişlik 5 metre, uzunluk 100 metre civarında katmanlar oluşmaktadır, fakat bu katmanların derinliği ancak 1-2 cm civarındadır. 1-2 cm derinlikteki bir katmanda haberleşebilmek için anten boyutunun oldukça küçük olması gerekmektedir. Bu da yüksek frekanslarda mümkündür. Fakat frekans yükseldikçe elektromanyetik dalgaların emilimi artmakta ve ortamı oluşturan moleküllere göre elektromanyetik dalgaların emilimi değişiklik göstermektedir. Çalışmanın amacı da uygun pencere geçişleri yakalandığı zaman, TDA' nın haberleşmesini en uygun seviyeye çıkarmaktır. Bu pencerelerin bulunması sadece petrol kaynaklarının bulunması için değil, aynı zamanda yeraltının sürekli ve detaylı izlenmesini sağladığı için depremin önceden

tahmini gibi uygulamalara yardımcı olmakta ve yeraltı kaynaklarının bulunmasında da etkin bir rol oynamaktadır.

Yüksek bantlarda moleküllerin hareketleri farklılık gösterir ve içerisindeki bileşenlere göre çeşitli frekanslarda farklı hareketler yapar. Bu hareketlilik elektromanyetik dalgaların dağılımı açısından uygun değildir. Elektromanyetik dalgaların rahat ilerleyebilmesi için titreşimsiz ortamlar yakalanmalıdır. Bu titreşimsiz ortamların, dalgaların ilerleme mesafelerini en ideal ve uzağa olacak bir şekilde kestirebilmeleri için ortamda bulunan bütün maddeleri kapsamalıdır. Bu nedenle, titreşimsiz frekans aralıklarının yani taşıma pencerelerinin tespit edilmesi ve mümkün olan en uygun frekans aralığı, araştırılması gereken önemli bir konudur.

Çalışmanın ana problemi, yüksek bantlarda titreşimsiz frekans bölgelerinin bulunmasıdır. Petrol, yeraltında toprak, su ve arada verilen karbondioksit karışımından ibarettir. Bu çalışmada, bu karışımı oluşturan maddelerin yüksek frekanslarda emilim karakteristikleri incelenerek, haberleşme için uygun ortama sahip olan geçiş pencereleri bulunmuştur. Petrol sondajı vurulduktan sonra yeraltında oluşan katmanların genişlik 5 metre, uzunluğu 100 metre ve derinliği ancak 1-2 cm civarındadır. Önceki paragraflarda da bahsedildiği gibi, 1-2 cm derinlikteki bir katmanda haberleşebilmek için anten boyutunun oldukça küçük olması gerekmektedir. Bu da yüksek frekanslarda mümkündür. Bu nedenle, yapılan çalışmalar için THz bantları ele alınmıştır. Belli aralıklarda uygun sinyal taşıma penceresi belirlendikten sonra, petrol yatakları için kullanabilecek yol kaybı modeli ve kanal modeli geliştirilmiştir. Bu modeller bazında belirlenen geçiş penceresi aralığına göre en uygun haberleşme metodu seçilmiş, Bit Hata Oranları (BHO) ve kanal kapasitesi hesaplanmıştır (Akkaş M. A. et al., 2012; Akkaş M. A. et al., 2013).

Yeraltında elde edilen sinyalin, yer üstüne çıkarılması günümüz teknolojilerinde problem değildir. Çünkü petrol, yeraltından geniş bir boru vasıtası ile çıkarılmaktadır. Bu geniş boruya toplayıcı telsiz duyurga düğümü bağlanarak, yer üstüne kablolu ya da frekansı borunun genişliğine göre ayarlanan TDA' lar ile veri taşınabilmektedir. Veri yer üstüne çıktığında, yine ister kablolu, istenirse de kablosuz olarak gözetleme merkezlerine veri iletilmektedir.

Çalışmanın alana başlıca katkıları, karışık yeraltı petrol ortamları için kanal modeli oluşturulması ve bu kanal modeline bağlı olarak yol kaybının belirlenmesidir. THz bantlarında oluşturulan haberleşme kanalı, ortamın değişenleri de göz önüne alınarak, BHO' nun belirlenmesi ve kanal kapasitesi bulunmasını sağlamıştır. Geliştirilen kanal modellemesinin petrol çıkarma çalışmalarına büyük katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca çalışmada kullanılan modelleme, sadece petrol çıkarımdan değil depremin önceden tahmini, petrol dışında doğal gaz gibi diğer yeraltı kaynaklarının bulunması ve izlenmesi gibi yeraltının gözlemine dayanan başka uygulamalara da kılavuz niteliğindedir. Bu nedenler göz önünde bulundurarak, geliştirilen modellerin farklı bir ortamda kullanımına yönelik değişiklikler yapılarak, derin ve sığ su ortamı için de yol kayıpları modellemesi yapılmıştır.

1.4 Tez Ana Hatları

İlk bölümde, TDYA' lar ve TDYA' ların uygulamaları hakkında bilgi verilmiş, çalışmanın neye çözüm getirmesi hedeflendiği anlatılmış ve petrol çıkarma aşamaları adım adım anlatılmıştır.

İkinci bölümde, çalışmaya yakın olan, literatürde yapılan çalışmalar anlatılmış ve önerdikleri yöntemler incelenmiş, özetlenmiştir.

Üçüncü bölümde, çalışmada kullanılan yöntemler incelenmiştir.

Dördüncü bölümde, Petrol, Su, Petrol-Su, Toprak, CO₂, Tuzlu Su ortamının yüksek bantlarda yol kaybını hesaplamak için geliştirilen modeller anlatılmıştır.

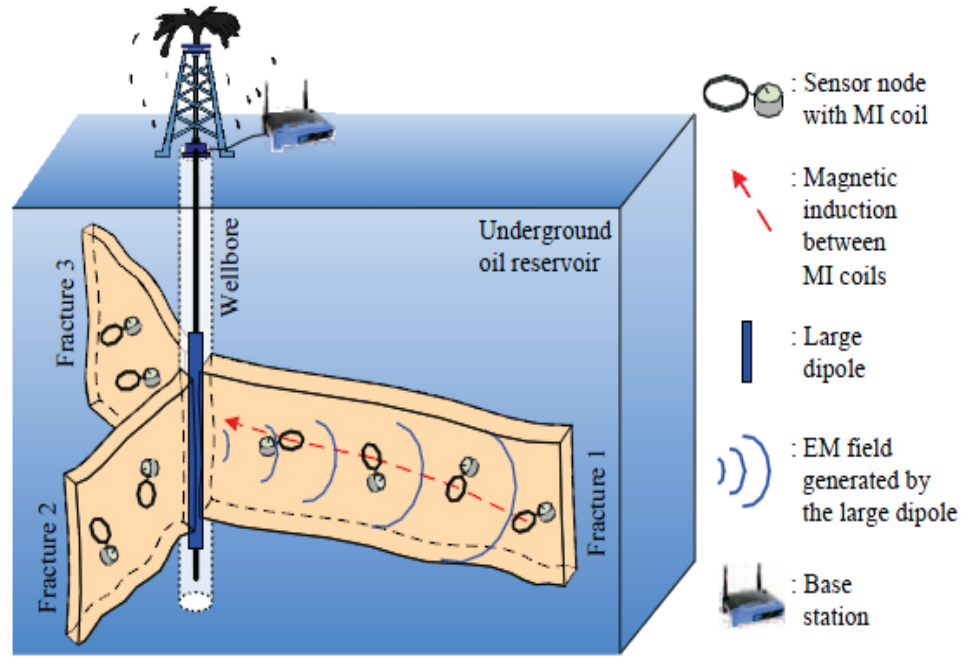
Beşinci bölümde, yeni oluşturulan Karışık Yeraltı Petrol Yataklarının Kanal Modeli (KYPY-KM) açıklanmıştır

Altıncı bölümde, önerilen modelin, farklı bir ortam olan, derin su ve sığ su için kullanımı ve derin su ve sığ suyun soğurma özellikleri incelenmiştir.

Yedinci bölümde, çalışmanın sonucu anlatılmış ve gelecekte yapılabilecek çalışmalara yönelik öneriler ile bölüm sonlandırılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

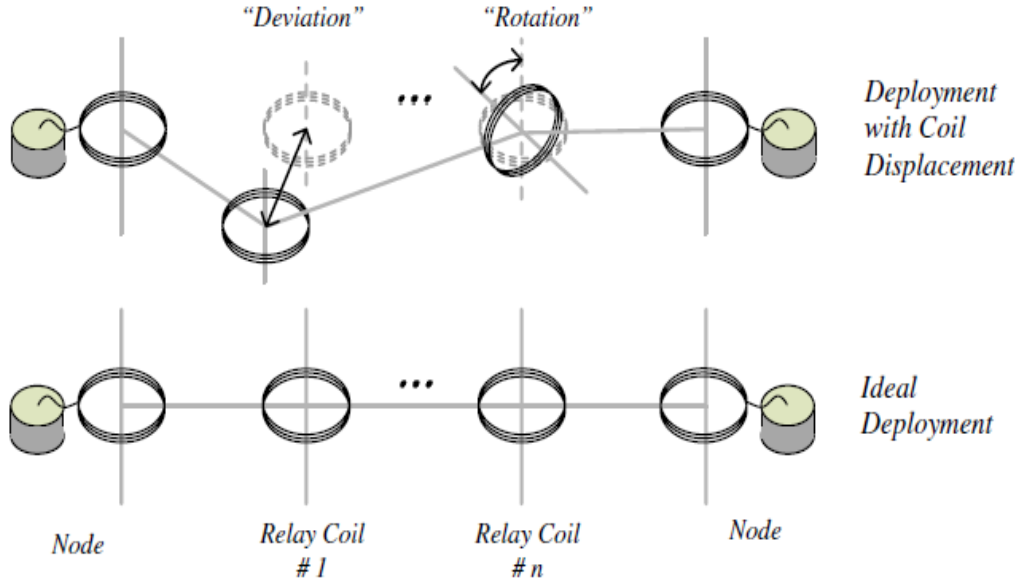
Petrol çıkarımında TDYA' lar ile kanal modelleme uygulamaları, yeni bir araştırma konusu olduğundan, literatürde benzer çalışmalar bulunmamaktadır. Petrol çıkarımında TDYA' lar ile kanal modelleme araştırmasına iki farklı açıdan yaklaşılabilmektedir. Bunlardan ilki, TDYA' ların yeraltında haberleşebilmesi için metotlar arama, ikincisi ise petrol çıkarımı bileşenlerinin modellemesini inceleyen çalışmalardır. Birinci çalışmaya örnek (Sun Z. et al., 2013) çalışması verilebilir. Fakat Sun Zhi çalışmasında aynı problemi Manyetik İndüksiyon (Mİ) metodu ile Şekil 2.1' deki gibi çözmeye çalışmıştır. Şekil 2.1 (Sun Z. et al., 2012; Sun Z. et al., 2013), Şekil 1.10' a benzerdir. Şekil 2.1' deki tek fark, kablosuz düğümler arasına manyetik halkaların eklenmesidir. Manyetik halkaların sabit kalması ve yerleştirilmesi petrol çıkarma aşamasında çözülmesi gereken diğer bir sorundur.



Şekil 2.1 Mİ metodu ile petrol çıkarımında TDYA' nın yerleşim mimarisi

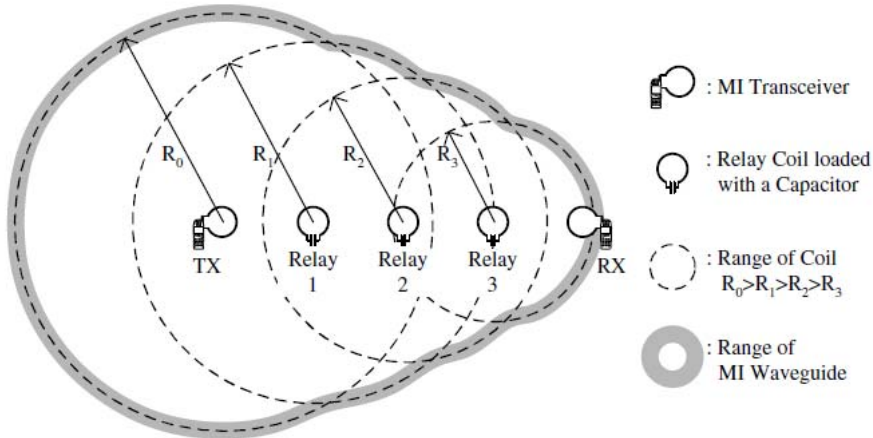
Mİ metodu, yol kaybının düşmesini ve iletişim mesafesinin artmasını sağlamaktadır, fakat her düğüm arasına manyetik halkaların yerleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca bu metotta da uygulama yönünden çeşitli kısıtlamalar vardır. Bunlardan başlıcaları, metal halkaların yönünün değişmesinin iletişim mesafesini büyük ölçüde etkilemesidir ki, bu durumda da, yeraltında özellikle petrol aramada ki yeraltı hareketliliğinde, metal halkaları sabit tutmak oldukça

zordur. Mİ yönteminde halkanın kaybolması ya da yer değiştirmesi Şekil 2.2’ de (Sun Z. et al., 2012) gösterilmektedir. Bir metal halkanın dahi yönünü değiştirmesi ya da kaybolması iletişim mesafesini büyük ölçekte düşürmekte hatta iletişimi koparmaktadır.



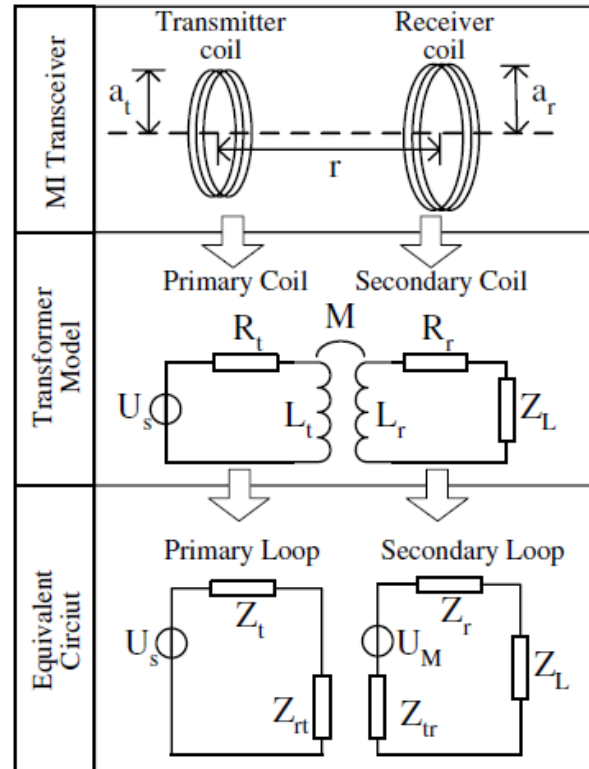
Şekil 2.2 Mİ yönteminde halkalarının kaybolması ya da yer değiştirmesi

Şekil 2.3’ de (Sun Z. et al., 2012) gösterildiği gibi, her Mİ halkasının iletişim mesafesi aynı değildir. Bu nedenle Mİ dalga kılavuzunu modelleme, klasik TDA’ ları modellemekten daha zordur. TDA’ larda Mİ metodunu detaylı bir şekilde (Sun Z. et al., 2012) kitabında anlatmıştır.



Şekil 2.3 Mİ dalda kılavuzu yapısı ve iletişim mesafesi

Mİ haberleşme kanal modeli Şekil 2.4' de (Sun Z. et al., 2012) verilmektedir. Alıcı ve verici manyetik halkaları temsili olarak Şekil 2.4' ün (Sun Z. et al., 2012) birinci kısmında verilmiştir. Burada a_t ve a_r sırasıyla alıcı ve verici halkanın yarıçaplarını simgelemekte, r ise bu iki halka arasında ki mesafeyi göstermektedir. Sistem tasarlanırken, verici halkanın üzerinde sinüzoidal bir akım olduğu varsayılmıştır. Bu akım formül 2.1 şeklinde ifade edilmektedir.



Şekil 2.4 Mİ haberleşmesi kanal modeli

$$I = I_0 \cdot e^{-j\omega t} \quad (2.1)$$

Formül 2.1' de, ω , vericinin açısal frekansını simgelemektedir. Bu, $\omega=2\pi f$ dir, f ise çalışma frekansını simgelemektedir. Verici halkadaki bu akım, alıcı dalgada yine bir sinüzoidal akım oluşturmaya sebep olmaktadır. Bu nedenle modelleme iki halka üzerinde gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.4' ün ikinci kısmında iki halkanın birbirini nasıl etkilediği modellenmiştir. M alıcı ve verici halkaların karşılıklı indüksiyonu, U_s verici halkanın bataryasının gerilimini, L_t ve L_r alıcı ve verici halkaların öz indüktansını, R_t ve R_r ise alıcı ve verici halkaların direncini, Z_L ise alıcı halkanın yükleme empedansını göstermektedir. Şekil 2.4' ün üçüncü

kısımındaki modellemenin yapılabilmesi için formül 2.2' deki adımlar izlenmelidir.

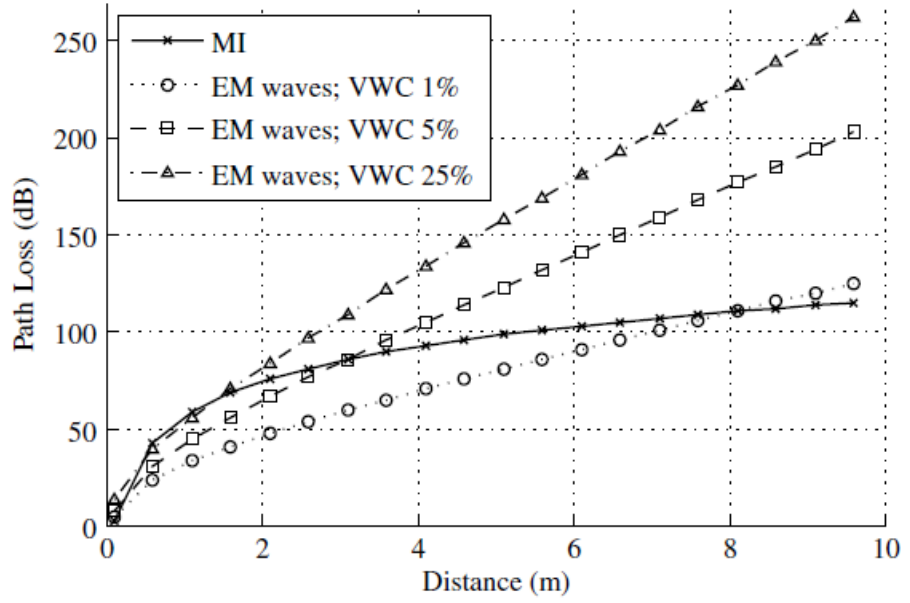
$$\begin{aligned}
 Z_t &= R_t + j\omega L_t \\
 Z_{rt} &= \frac{\omega^2 M^2}{R_r + j\omega L_r + Z_L} \\
 Z_r &= R_r + j\omega L_r \\
 Z_{tr} &= \frac{\omega^2 M^2}{R_t + j\omega L_t} \\
 U_M &= -j\omega M \frac{U_s}{R_t + j\omega L_t}
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

Burada Z_t ve Z_r alıcı ve verici halkaların öz empedansını, Z_{rt} alıcının verici üzerindeki etkisini, Z_{tr} ise vericinin alıcı üzerindeki etkisini göstermektedir. U_m ise alıcı halkadaki indüklenen gerilimdir.

Bu eşdeğer devrede iletişim gücü ise formül 2.3 şeklinde hesaplanmaktadır. Formül 2.3' te alıcı ve verici halkaların r iletişim mesafesinde iletişim gücü gösterilmiştir. Z_L alıcı halkanın yükleme empedansının iletişim gücüne eşittir.

$$\begin{aligned}
 P_r(r) &= \text{Re} \left\{ \frac{Z_L + U_M^2}{(Z'_r + Z_r + Z'_L)^2} \right\} \\
 P_t(r) &= \text{Re} \left\{ \frac{U_s^2}{Z_t + Z'_t} \right\}
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

Şekil 2.5' de (Sun Z. et al., 2012), VWC (hacimsel su içeriği) %1, %5 ve % 25 olan topraktaki EM dalgaları ve Mİ metodu yönünden iletişim mesafesine göre yol kaybı verilmiştir. Grafik incelendiğinde Mİ metodunun %1 VMC oranı olan toprakla 8 metrede aynı yol kaybına uğradıkları gözlenmektedir. 8 metreden sonra ise EM dalgaların yol kaybı biraz daha artmıştır. %5 ve % 25 VMC oranı olan toprakta ise yol kaybı, Mİ metoduna göre EM dalga metodunda artmıştır. İncelenen toprağın özelliklerinde ise % 5 olarak hacimsel su içeriğini, % 50 kum parçacığı, yüzde % 15 kil, yüzde 1,5 g/cm³ kütle yoğunluğu ile 2,66 g/cm³ katı toprak parçacık yoğunluğu alınmış ve frekans 300 MHz' de değerler hesaplanmıştır.



Şekil 2.5 Farklı VWC' lere sahip toprakta ki Mİ metodu ve EM dalga yönünden mesafeye göre yol kaybı

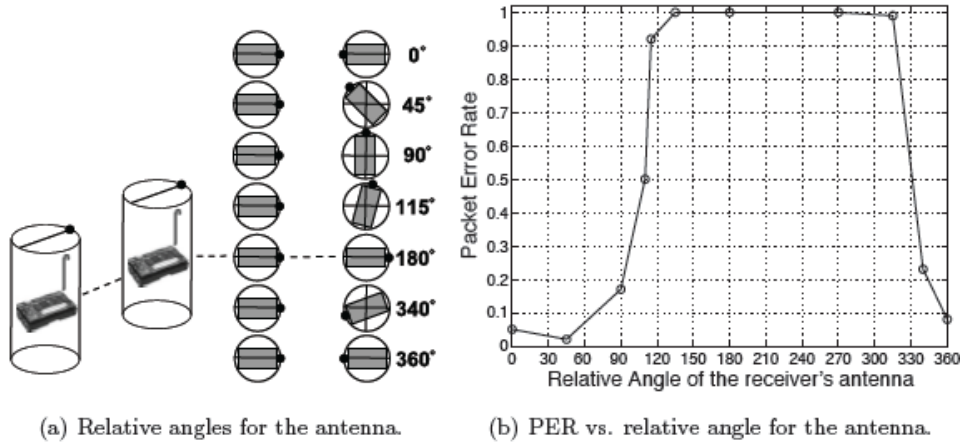
(Agnelo R. S., 2010) yüksek lisans tezinde, toprak ortamında EM dalgalarının MHz frekans aralığında geçiş penceresini araştırmıştır. Bu çalışma TDYA' ların toprak ortamında nasıl çalıştıklarını detaylı bir şekilde anlatmaktadır. Tezde Şekil 2.6' da (Agnelo R. S., 2010) gösterildiği gibi uygulama da yapılmış ve yeraltı duygalarının farklı açılarda ve derinliklerde yeraltına gömülüp, pratik sonuçları da Şekil 2.7' deki (Agnelo R. S., 2010) gibi tezde paylaşılmıştır. Tez de ayrıca, bu çalışmada nasıl petrol çıkarmak için 0.1 THz ile 120 THz ve su ortamında 300 ile 700 MHz bantları aralığında geçiş penceresi araştırıldıysa, (Agnelo R. S., 2010) 300 MHz ve 1.3 GHz bant aralığının TDYA' larının toprak ortamı için yol kaybını ve BHO' ları incelemiş ve geçiş penceresi araştırılmıştır.

Toprak ortamını elektromanyetik dalga tabanlı inceleyen diğer çalışmalar ise (Akyildiz I. F., et al., 2009; Vuran M. C. et al., 2010; Li L. et al., 2010, Wang P., et al., 2011)' dir. Bu çalışmalarda ise TDYA' da üç yönlü iletişim incelenmiştir. Bunlar havadan havaya klasik Friss denklemi ile hesaplanmaktadır ve topraktan toprağa, topraktan havaya ve havadan toprağa olarak değişmektedir. Toprakdan toprağa, topraktan havaya ve havadan toprağa matematiksel açılımlarından, bu çalışmayı en çok ilgilendiren ise, topraktan toprağa yansısız olanıdır. Toprakdan toprağa, topraktan havaya ve havadan toprağa yansımalarının

matematiksel açılımı 3.1,1 3.1.2. ve 3.1.3 bölümlerinde verilmektedir. Bu çalışmada modelleme ise toprakta gerçekleşmektedir yani topraktan toprağa yansımasız EM dalgalar, toprak yüzeyine çıkacak kadar ilerleyemezler.



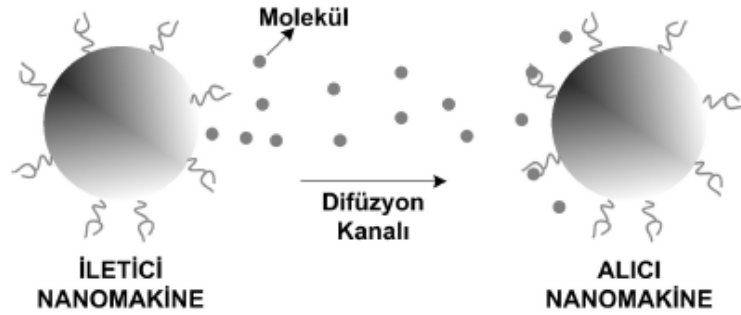
Şekil 2.6 Telsiz duyarga düğümün yeraltına gömülmesi



Şekil 2.7 Telsiz duyarga düğümün yeraltına farklı açılarda gömülmesi ve paket hata oranları

THz bantlarında, benzer çalışmalardan bir tanesi ise (Akyildiz I. F. et al., 2010; Jornet, J. M. et al., 2013) kitabında bahsettiği Elektromanyetik dalga tabanlı moleküler haberleşmedir. Bu kitapta 0,1 THz ile 10 THz bant aralığı incelenerek, bu aralığın vücut içi haberleşme tekniklerinde nasıl kullanılabileceği

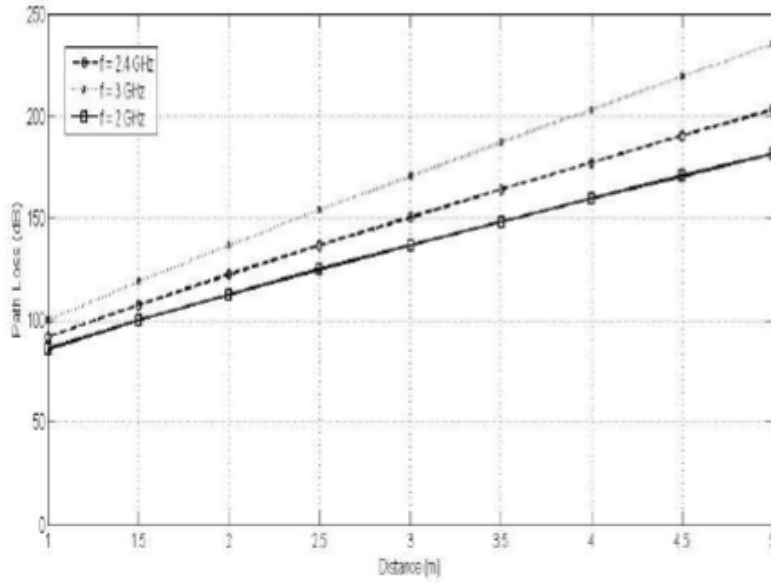
araştırılmıştır. Kitapta, nano duyurga ağlarının kullanımı ve uygulamaları hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Kitap, THz bantlarının sadece yeraltı petrol arama tekniklerinde değil, daha birçok uygulamalarda kullanılabileceğini teorik olarak anlatmıştır. Bu uygulamalardan başlıcası vücut içi haberleşmedir. Vücut içi haberleşmede, nano boyutunda telsiz duyurgalar vücut içine çeşitli yollarla gönderilerek, vücudun hastalıklara karşı tedavisinde kablosuz nano teknoloji kullanımı hedeflenmektedir. Fakat moleküler haberleşme, mevcut haberleşme paradigmalarından çok farklıdır ve moleküler haberleşme sistemlerinin hayata geçirilmesi birçok yeni zorluğu da beraberinde getirmektedir. Şekil 2.8’ de (Atakan B., 2013) difüzyona dayanan moleküler haberleşme gösterilmektedir. Nano ölçekli vücut ağlarından, nano ölçekli moleküler bilgisayarlara, birçok yeni nano teknoloji uygulamasının hayata geçirilebilmesi için bu zorluklar ile baş edebilecek yeni teori ve tekniklerin geliştirilmesi çok büyük öneme sahiptir. Özetle, bu zorluklar nano makinelerin çok sınırlı olan algılama, hareket, ve işlem yeteneklerinden ve bilgi taşıyıcısı olarak kullanılan moleküllerin kullanıldığı moleküler haberleşme kanalının çok değişken kanal, sinyal, gürültü, ve yayılma özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Atakan B., 2013).



Şekil 2.8 Difüzyona dayanan moleküler haberleşme

THz yeraltı ortamlarındaki çalışmalara paralel olarak, benzer çalışmalar THz su ortamında da yapılmıştır. Su ortamında THz bant aralığında yapılan çalışmalardan bir tanesi ise (Maréchal, Y., 2011; Max J .J. et al., 2009) makaleleridir. Bu makalelerde 1 mikron kalınlığındaki saf su ve türevlerinin 0,1 ile 4200 (0,1 ile 120 THz) dalga boyundaki davranışları incelenmiştir. Diğer bir çalışma olan (Elrashidi A. et al., 2012)’de ise su ortamında yeraltı duyurga ağlarının davranışları 2.4 GHz’ de incelenmiştir. (Elrashidi A. et al., 2012) çalışmasının, sonuçları, bu çalışmaların farklı dalga boylarında suyun modellenmesini incelemektedir. (Elrashidi A. et al., 2012)’nın 2.4 GHz’ de yol

kayıbı grafikleri incelendiğinde (Şekil 2.9, (Elrashidi A. et al., 2012)), bu çalışmada 6. bölümde yapılan su ortamının, 300 ile 700 MHz bantları arasındaki soğurma özellikleri, grafik sonuçlarının daha az yol kaybına neden olduğunu, bu sebepten dolayı ise daha çok iletişim mesafesine sahip olduğunu göstermektedir (Akkaş M. A. et al., 2015). (Elrashidi A. et al., 2012) çalışmalarında, 2.5 GHz 100 dB’lik bir kayıpta, iletişim mesafesi 1 metre civarındayken, bu çalışmada iletişim mesafesi 300 MHz’de ve 100 dB’lik bir kayıpta, 5 metreyi geçmektedir. Su ortamın kanal modellemesi çalışmanın 6. bölümünde detaylı olarak verilmektedir.



Şekil 2.9 Saf suda 2 GHz, 2.4 GHz ve 2.8 GHz frekanslarında mesafeye göre yol kaybı

Bu çalışmanın diğer bir yanı, petrolün özelliklerini ve modellenmesi inceleyen pek çok kaynak vardır. Bunlardan başlıcaları; (Aske N. et al., 2001; Silva S. L. et al., 2011; Perez-Caballero et al., 2009; De Peinder P. et al., 2008; Basta J. S., 2010; L. Shaoping et al., 2010; De Peinder P. et al., 2009; Rosales P. I et al., 2010; Lu T. et al., 2011)’dir. Araştırmalar hiçbir sahanın ham petrolünün, tam olarak öteki bir sahanın ham petrolüne uymayacağını; muhakkak az çok farklar bulunacağını da göstermektedir. Hatta bu durum, aynı bir petrol sahasında bile, çoğu zaman görülebileceğini göstermektedir. Bu çalışmaların hepsi tek başına petrolü incelemiş ve petrolün farklı özelliklerinden bahsetmiştir. Ortak noktaları ise bu çalışmanın analizlerinde kullanılan geçiş penceresinde (70 THz ile 85 THz aralığında) $k(\tilde{\nu})$ soğurma katsayısı petrol için 0,02 alınabilmesidir.

Yukarıda bahsedilen çalışmalar, Georgia Teknoloji Enstitüsünde; TDYA' larla ilgili olan, National Science Foundation, tarafından desteklenen (Akyildiz I. F., 2013), TDYA' larda petrol çıkarılması ile ilgili olan, Aramco tarafından desteklenen (Akyildiz I. F., 2013) ve grafen destekli THz bantlarında nano haberleşme ile ilgili olan, Samsung & Finnish Academy of Science & Catalan Government tarafından desteklenen (Akyildiz I. F., 2013) her birinin bütçesi en az 1 milyon dolar olan büyük projelerle ilerlemektedir.

Yukarıda özetlenen çalışmalar; vücut içi, toprak, su ya da petrol ortamında yapılan çalışmalardır. Bu çalışmalardan hiç birinin toprak, su ya da petrol ortamlarını bir arada incelemediği görülmektedir. Petrol çıkarırken, petrolün bulunduğu yeraltı ortamı modellenmeli ve bu modelleme yapılırken, petrol rezervlerinin bileşenleri olan toprak, su ve petrol bir arada düşünülmelidir. Bu çalışmanın amacı ise yukarıda bahsedilen çalışmalardan farklı olarak su, toprak, petrol ve karbondioksitten oluşan karmaşık petrol ortamında kullanılabilecek ve petrol araştırmalarında faydalı olacak modellemeyi gerçekleştirmektir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmanın birinci bölümünde bahsedildiği gibi, petrol çıkarılması karmaşık ve maliyetli bir işlemdir. Petrolün, yeraltının yüzlerce metre altından çıkarılması ise, işi daha da zorlaştırır. Bu çalışmada bahsedildiği gibi petrol çıkarılması sadece sondajın yeraltına vurulmasıyla elde edilmez, petrol çıkarma aşamalarında bahsedildiği gibi farklı adımlardan geçmektedir. Petrol çıkarımında su ve karbondioksitte kullanılmaktadır. Bu nedenle, su ve karbondioksitin modellemeye etkisi araştırılmıştır.

Modelleme sırasıyla; petrol, su, petrol-su karışımı, toprak, karbondioksit ve tuzlu su ortamı olarak ilerlemiştir. Bu modellemelerin nasıl yapıldığı 4. bölümde ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. İlk adımda, su modellenirken yüksek frekanslar tercih edilmiştir, bunun en büyük sebebi, düğümlerin dar alanda çalışılmasından dolayı, anten boyutunun da küçültülmek istenmesidir. Su ortamı modellenirken, çok geniş bir frekans aralığı tercih edilmiştir. Frekans aralığının geniş tutulmasının sebebi bu aralıkta geçiş pencereleri ya da penceresi yakalamaktır. Geçiş pencereleri titreşimin az olduğu frekans aralığındaki bölgelerdir. Eğer tek geçiş penceresi bulunursa mecburen bu geçiş penceresi üzerinde kanal

modellenecektir. Birden fazla pencere aralığı bulunduğunda ise en az yol kaybına sebep olan karbondioksit ve petrol' ün de kaybının az olduğu aralık seçilecektir. EM dalgalarının, çalışmanın çeşitli bölümlerinde bahsedildiği gibi özellikle THz bantlarında yayılımı zorlaşmaktadır. Ortamı oluşturan bileşenler gaz bile olsa, bazı noktalarda soğurma kaybı çok büyük değerlere ulaşır, sonuçları etkileyebilecek büyüklüklere gelebileceği düşünülmüştür. Bu nedenle karbondioksitinde soğurma özelliklerinin incelenmesi gerekmektedir. Petrol çıkarımında bazı bölgelerde su yerine deniz suyu kullanılmaktadır. Çalışmanın son bölümünde, petrol çıkarılırken özellikle deniz kenarındaki rafinelerde tuzlu su kullanılmasından dolayı, tuzlu suyun çalışma sonuçlarını ne derecede etkilediği araştırılmıştır.

Petrol çok derin ortamlardan çıkarıldığı için yeraltındaki toprak ortamından yer üstüne kadar EM dalgaları ilerleyemezler. Bu nedenle toprak ortamının soğurma özellikleri incelenirken tek yönlü iletişim hesaplamaları düşünülmüştür, fakat yüzeye yakın bölgelerde EM dalgalarının toprak ortamında yansıması farklılık göstermektedir. Tek yönlü iletişim dördüncü bölümün alt başlığında toprak ortamının yüksek bantlardaki yol kaybı modeli kısmında detaylı olarak anlatılmaktadır. Yüzeye yakın bölgelerde ise üç yönlü iletişim vardır. Bunlar havadan havaya klasik Friss denklemi ile hesaplanır ve topraktan toprağa, topraktan havaya ve havadan toprağa olarak değişmektedir. Topraktan toprağa, topraktan havaya ve havadan toprağa kanal modeli (Li L. et al., 2010, Wang P., et al., 2011) referanslarında verilmektedir.

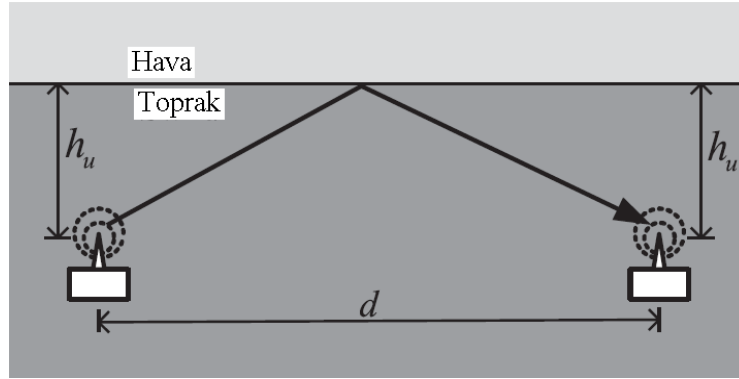
Çalışma, TDA' lar ve kanal modelleme gibi birçok konuyu içinde barındırmaktadır. Çalışmada kanal modelleme, sadece bir ortamda değil birçok bileşen ve madde içerisinde gerçekleşmektedir. Bu nedenle modellenen madde ve bileşenlerin kimyasal karakteristikleri ve özellikleri de önem arz etmektedir. Bu nedenle bu bölümde modellenen maddelerin çalışmayı ilgilendiren kimyasal karakteristikleri ve özellikleri anlatılmıştır. Bu bölümde ayrıca sırasıyla, bölüm 3.1' de toprak altı iletişim kanalı modellemesi incelenmiştir. Bölüm 3.2' de çok atomlu moleküllerin titreşimleri hakkında bilgi verilmiş ve bölüm 3.3' de ise petrolün kimyasal oluşumu ve yapısı anlatılmıştır.

3.1 Toprak Altı İletişim Kanal Modellemesi

Bu bölümde sırasıyla toprak toprak, toprak hava ve hava toprak modellemesi anlatılmıştır.

3.1.1 Toprak-Toprak kanalı

Telsiz duyarga düğümlerinin yüzeye yakın olduğu bölgelerde, bir kısım EM dalgası toprak yüzeyinde alıcı düğüme yansımaktadır. Bu bölümde yansımanın modellemeye olan etkisi incelenmektedir.



Şekil 3.1 Topraktan toprağa yansıma

$$L_{UG}(d) = 6.4 + 20 \log d + 20 \log \beta + 8.69 \alpha d \quad (3.1)$$

Formül 3.1' de d' nin birimi metre, α zayıflama sabitinin birimi 1/m ve β faz kayma sabitinin birimi ise radyan/metre' dir.

α ve β ise aşağıdaki denklemlerden elde edilir.

$$\alpha = 2\pi f \sqrt{\frac{\mu \epsilon'}{2} \left[1 + \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'} \right)^2 - 1 \right]} \quad (3.2)$$

$$\beta = 2\pi f \sqrt{\frac{\mu \epsilon'}{2} \left[1 + \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'} \right)^2 + 1 \right]}$$

Sırasıyla, toprak-su karışımı göreceli kompleks dielektrik sabiti ϵ' 'dir. m_v su hacmi fraksiyonu (veya karışımının hacimsel nem içeriği)'dir, ρ_b yığın

yoğunluktur (santimetre küp başına gram), $\rho_s = 2.66 \text{ g/cm}^3$, katı toprak parçacıklarının özel yoğunluğu, $\alpha' = 0.65$.

$$\begin{aligned}\epsilon &= \epsilon' - j\epsilon'' \\ \epsilon' &= 1.15 \left[1 + \frac{\rho_b}{\rho_s} (\epsilon_s^{\alpha'}) + m_v^{\beta'} \epsilon_{fw}^{\alpha'} - m_v \right]^{1/\alpha'} - 0.68 \\ \epsilon'' &= [m_v^{\beta'} \epsilon_{fw}^{\alpha'}]^{1/\alpha'}\end{aligned}\quad (3.3)$$

ϵ'_{fw} ve ϵ''_{fw} suyun bağıl dielektrik sabitinin gerçek ve hayali parçalarıdır. Peplinski prensibine göre topraktaki EM dalganın kompleks propogasyon sabiti: $\gamma = \alpha + j\beta$, $\omega = 2\pi f$ açısal frekans, μ manyetik geçirgenliği ve ϵ' ve ϵ'' dielektrik gerçek ve hayali parça sabitlerine göre değişir

Eğer düğümler yüzeye yakın bir bölgeye 2 metreden fazla olmamak şartı ile gömülürse, Şekil 3.1' deki gibi EM dalgaların bir kısmı yer yüzünden geri yansımaktadır. Düğümlerin derinliği h_u şeklinde ifade edilirse, toplam yol kaybı formül 3.4' teki şekilde ifade edilir.

$$\begin{aligned}V^2(d_{sand}) &= 1 + (\Gamma \cdot \exp(-\alpha\Delta r))^2 - 2\Gamma \exp(-\alpha\Delta r))^2 \times \cos(\pi - (\phi - \frac{2\pi f}{c\sqrt{\epsilon'}} \Delta r)) \\ &\Downarrow \\ L_{UG-UG}(d) &= L_{UG}(d) - 10 \log V(d, h_u)\end{aligned}\quad (3.4)$$

Buradaki $V(d, h)$ ikinci yansımadan kaynaklanan zayıflama katsayısıdır. Γ ve ϕ sırasıyla yansıma katsayısının genliği ve fazı, $\Delta(r)$ ise formül 3.5 şeklindedir.

$$\Delta r = \sqrt{d^2/4 + h_u^2} - d \quad (3.5)$$

Yeraltı düğümünün iletim gücü, P_t^u olarak kabul edilirse, alıcı ve verici düğümlerin anten kazançları g_r ve g_t şeklinde olur. Bu sayede alınan güç P_t^{U-U} alıcı düğümde d metre uzaklıkta formül 3.6 şeklinde ifade edilir.

$$P_r^{U-U} = P_r^u + g_r + g_t - L_{UG-UG} \quad (3.6)$$

Bu sayede, toprak-toprak kanalının iletişim mesafesi formül 3.7 ile gösterilir.

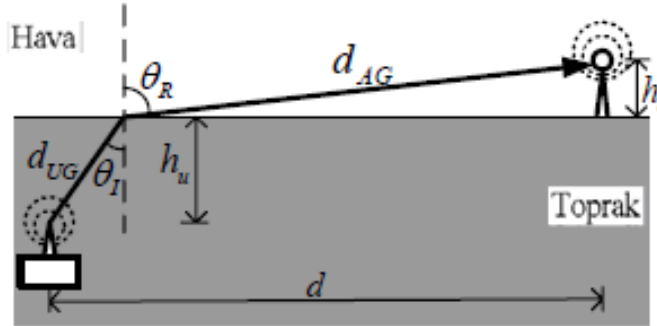
$$R_{UG-UG} = \max \left\{ d : P_r^{U-U} / P_n > SNR_{th} \right\} \quad (3.7)$$

P_n gürültünün gücünü, SNR_{th} alıcı düğüm tarafından ihtiyaç duyulan minimum sinyal gürültü oranını simgeler (Vuran M. C. et al., 2010).

3.1.2 Toprak-Hava kanalı

Telsiz duyarga düğümlerinin yüzeye yakın olduğu bölgelerde, topraktan havaya yansımada yol kaybında, 3 bölüm vardır. Bunlar, toprakta ki yol kaybı, havadaki yol kaybı ve kırılmadan kaynaklanan yol kaybı olarak tanımlanır. Formül 3.8, bu 3 kaybın toplamı olan toprak-hava kanalı yol kaybını göstermektedir.

$$L_{UG-UG} = L_{UG}(d_{UG}) + L_{AG}(d_{AG}) + L_{UG-AG}^R \quad (3.8)$$



Şekil 3.2 Topraktan havaya yansımaya

Şekil 3.2’ de gösterildiği gibi d_{UG} toprak kısmındaki, d_{AG} ise hava kısmındaki mesafedir. L_{UG} formül 3.1’den elde edilir. L_{AG} ise formül 3.9 şeklinde gösterilir.

$$L_{AG}(d) = -147.6 + 20 \log d + 20 \log f \quad (3.9)$$

Toprağın dielektrik sabiti havadan büyük olduğu müddetçe, θ_i açısı θ_c açısından büyük olduğunda, dalga tam olarak yansır. d_{UG} ve θ_c nin eşitlikleri Şekil 3.2’den faydalanarak formül 3.10 şeklinde verilmiştir.

$$d_{UG} \approx \frac{h_u}{\cos \theta_c}; \quad \theta_c \approx \arcsin \frac{1}{\sqrt{\epsilon'}} \quad (3.10)$$

Yansıma kaybı ise formül 3.11 şeklinde hesaplanır.

$$L_{UG-AG}^R \approx 10 \log \frac{(\sqrt{\epsilon'} + 1)^2}{4\sqrt{\epsilon'}} \quad (3.11)$$

Yer üstündeki düğümde alınan gücün değeri formül 3.12 şeklindedir.

$$P_r^{U-A} \approx P_t^u + g_r + g_t - L_{UG-AG} \quad (3.12)$$

Bu sayede, toprak-hava kanalının iletişim mesafesi formül 3.14 ile gösterilmektedir.

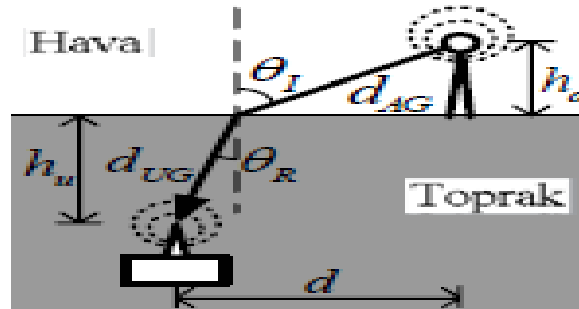
$$R_{UG-AG} \approx \max \{ d_{AG} : P_r^{U-A} / P_n > SNR_{th} \} \quad (3.14)$$

P_n gürültünün gücünü, SNR_{th} alıcı düğüm tarafından ihtiyaç duyulan minimum sinyal gürültü oranını simgeler (Vuran M. C. et al., 2010).

3.1.3 Hava-Toprak kanalı

Telsiz duyarga düğümlerinin yüzeye yakın olduğu bölgelerde, havadan toprağa yansıma, topraktan havaya yansımaya benzerdir. Formül 3.15 hava-toprak kanalı yol kaybı gösterilmiştir.

$$L_{AG-UG} = L_{UG}(d_{UG}) + L_{AG}(d_{AG}) + L_{AG-UG}^R \quad (3.15)$$



Şekil 3.3 Havadan toprağa yansıma

Şekil 3.3’ de gösterildiği gibi d_{UG} toprak kısmındaki, d_{AG} ise hava kısmındaki mesafedir. L_{UG} formül 3.1’ den elde edilir. L_{AG} ise formül 3.9’dan elde edilmiştir.

Toprağın dielektrik sabiti havadan büyük olduğu müddetçe, θ_i açısı θ_c açısından büyük olduğunda dalga tam olarak yansır. d_{UG} ve θ_i nin eşitlikleri Şekil 3.3’den faydalanarak formül 3.16 şeklinde verilmiştir.

$$d \approx \sqrt{d_{AG}^2 - h_a^2}; \quad \cos \theta_1 = \frac{h_a}{d_{AG}} \quad (3.16)$$

Yansıma kaybı ise formül 3.17 şeklinde hesaplanır.

$$L_{AG-UG}^R \approx 10 \log \frac{(\cos \theta_1 + \sqrt{\epsilon' - \sin^2 \theta_1})^2}{4 \cos \theta_1 \sqrt{\epsilon' - \sin^2 \theta_1}} \quad (3.17)$$

Yer üstündeki düğümden alınan gücün değeri formül 3.18 şeklindedir.

$$P_r^{A-U} \approx P_t^a + g_r + g_t - L_{AG-UG} \quad (3.18)$$

Bu sayede, toprak-hava kanalının iletişim mesafesi formül 3.19 ile gösterilir.

$$R_{AG-UG} \approx \max \left\{ d : P_r^{A-U} / P_n > SNR_{th} \right\} \quad (3.19)$$

P_n gürültünün gücünü, SNR_{th} alıcı düğüm tarafından ihtiyaç duyulan minimum sinyal gürültü oranını simgeler (Vuran M. C. et al., 2010).

3.2 Çok Atomlu Moleküllerin Titreşimleri

Yüksek bantlarda moleküllerin hareketleri farklılık gösterir ve içerisindeki bileşenlere göre çeşitli frekanslarda farklı hareketler yapar. Bu hareketlilik elektromanyetik dalgaların dağılımı açısından uygun değildir. Elektromanyetik dalgaların rahat ilerleyebilmesi için titreşimsiz ortamlar yakalanmalıdır. Bu titreşimsiz ortamlar, dalgaların ilerleme mesafesinin artması için ortamda bulunan bütün maddeleri kapsmalıdır. Bu çalışmada önemli olan, titreşimsiz frekans

aralıklarının tespit edilmesi ve mümkün olan en uygun frekans aralığından TDYA' nın haberleşmesini sağlamaktır. Bu titreşimsiz alanlara, geçiş penceresi de denebilir.

Basit iki ve üç atomlu moleküllerdeki titreşimlerin sayısını, çeşidini ve bu titreşimlerin emilime neden olup olmayacağı önceden belirlemek çoğunlukla mümkündür. Atom sayısı daha fazla olan karmaşık moleküllerde, çeşitli tipte bağlar ve atomlar bulunabilir; bu moleküllerde çok sayıda titreşim söz konusudur. Çok atomlu moleküllerin titreşim hareketi genel olarak karmaşıktır. Böyle bir molekülün bütün atomlarının aynı frekans ve aynı fazda basit harmonik hareket yaptıkları titreşimlere temel titreşimler veya normal kipler denilmektedir (Gans P., 1971).

Çok atomlu bir moleküldeki olası titreşimlerin sayısı şu şekilde hesaplanabilir: Uzayda herhangi bir nokta belirlemek için üç koordinat gerekir. N adet noktayı belirlemek için ise her biri için üç koordinatlı toplam $3N$ tane bir koordinat takımı gerekir. Her bir koordinat, çok atomlu bir moleküldeki atomların biri için bir serbestlik derecesine karşılık gelir. Bu yüzden N atomlu bir molekülün serbestlik derecesi $3N$ ' dir. Bir molekülün hareketi tanımlanırken: Molekülün uzayda bir bütün hareketi yani kütle merkezinin ötelenmesi, kütle merkezi etrafında molekülün bir bütün olarak dönmesi, moleküldeki her bir atomun diğer atomlara göre bağıl hareketi veya diğer bir deyimle moleküldeki atomların bireysel titreşimleri göz önüne alınır. Moleküldeki bütün atomların uzayda takım halinde hareketinden dolayı, öteleme hareketini tanımlayabilmek için üç koordinat gerekir. Bu yüzden bu hareketin serbestlik derecesi $3N$ ' dir. Molekülün bir bütün olarak dönmesini tanımlamak için ise üç serbestlik derecesi daha gerekir. Geri kalan $3N - 6$ serbestlik derecesi, atomlar arası hareketle ilgilidir. Bu ise molekül içindeki olası titreşim sayısını gösterir. Bütün atomları tek bir doğrultuda yerleşmiş olan doğrusal bir molekül, özel bir durumu ifade eder. Burada bağ eksen etrafında atomun dönmesi mümkün değildir. Dönme hareketini tanımlamak için iki serbestlik derecesi yeterlidir. Bu yüzden doğrusal bir molekül için titreşim sayısı $3N - 5$ ' dir. $3N - 6$ veya $3N - 5$ titreşimlerinin her biri normal mod olarak adlandırılır. Özetle N atomlu bir molekül kapalı bir halka oluşturuyorsa, N-1 bağı oluşacağından $3N-6$ titreşimden $2N-5$ tanesi açılı bükülme titreşimi geri kalan N-1 tanesi de bağ gerilme titreşimidir. $3N-5$ titreşime sahip olan moleküllerde ise $2N-4$ tanesi açılı bükülme geri kalan N-1 tanesi de bağ

gerilme titreşimidir. Çok atomlu moleküllerin titreşimi üçe ayrılır (Kutlu, N., 2007; Akar İ., 2011).

3.2.1 Gerilme titreşimi

Gerilme titreşimi, bağ eksenini doğrultusunda bulunan atom, molekül veya molekül guruplarının bağ doğrultusunda yer değiştirmesidir. Bu yer değiştirme vektörleri bağ uzunluğundaki değişimi verir. Bir molekülde bulunan bütün bağların aynı anda uzaması veya kısılması (Şekil 3.4.a) simetrik gerilme titreşimi, eğer bağların bir kısmı uzarken diğer kısımları kısılıyorsa (Şekil 3.4.b) bu da asimetrik titreşimi olarak tanımlanır. Asimetrik titreşimin frekansı simetrik titreşimin frekansından daha büyük olduğundan enerjisi de büyüktür. Bağ gerilme titreşimleri ν ile gösterilir.

3.2.2 Açık bükülme titreşimleri

Açık bükülme titreşimleri, iki bağ arasındaki açının periyodik olarak değişim hareketidir. Yer değiştirme vektörleri bağ doğrultusuna diktir. Şekil 3.4.c (Akar İ., 2011) de atomların hareketi ile bir düzlemin (simetri düzleminin) yok edilmesi hareketi olarak tanımlanır ve δ ile gösterilir. Açık bükülmenin özel şekilleri ise:

Makaslama: İki bağ arasındaki açının bağlar tarafından kesilmesi ile periyodik olarak oluşan değişim hareketidir. Şekil 3.4.d (Akar İ., 2011) de yer değiştirme vektörleri bağa dik doğrultuda ve zıt yöndedir. δ_s ile gösterilmektedir.

Sallanma: Yer değiştirme vektörleri birbirini takip edecek yöndedir. İki bağ arasındaki veya bir bağ ile bir grup atom arasındaki açının yer değiştirmesidir. Şekil 3.4.e (Akar İ., 2011) de bağ uzunluğu ve bağ açısının değeri değişmez kalır. ν_r ile gösterilmektedir.

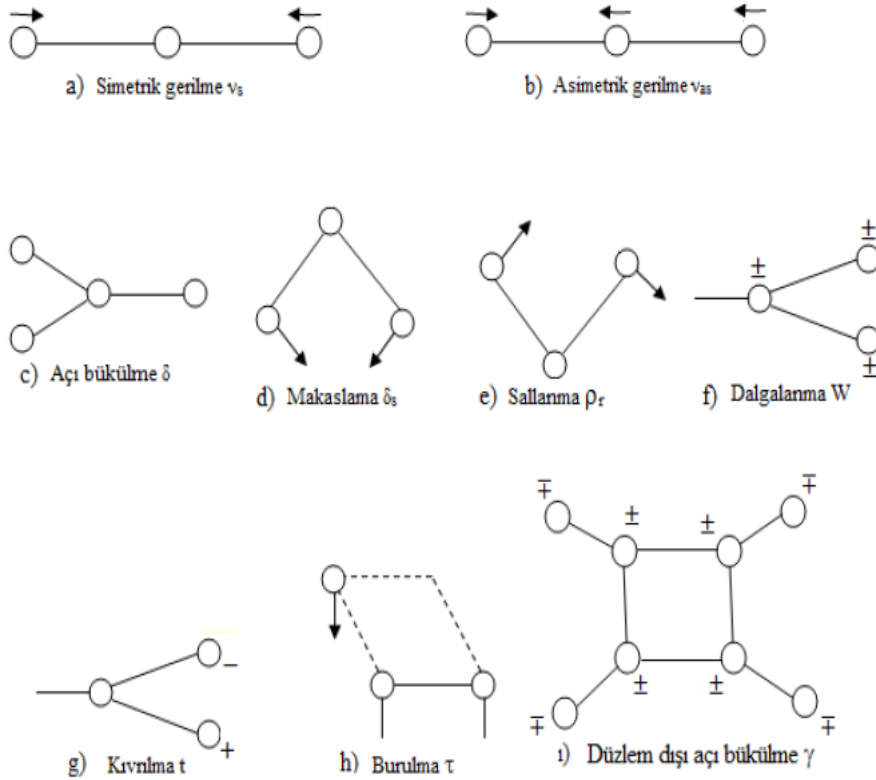
Dalgalanma: Bir bağ ile iki bağ tarafından tanımlanan bir düzlem arasındaki açının değişim hareketidir. Şekil 3.4.f (Akar İ., 2011) de molekülün tüm atomları denge durumunda düzlemsel ise bir atomun bu düzleme dik hareket etmesidir. ω ile gösterilmektedir.

Kıvrılma: Doğrusal ve düzlemsel olmayan moleküllerde bağların atomlar tarafından bükülmesidir. Şekil 3.4.g (Akar İ., 2011) de yer değiştirme vektörleri,

bağ doğrultusuna diktir. Burada bağın deformasyonu söz konusu değildir. t ile gösterilmektedir.

Burulma: Şekil 3.4.h (Akar İ., 2011) de iki düzlem arasındaki açının bir bağ veya açığı deforme ederek, periyodik olarak değişim hareketidir ve τ ile gösterilmektedir.

Düzlem dışı açı bükülme: Atomların hareketi ile bir düzlemin (genellikle bir simetri düzlemi) yok edilmesi hareketidir. Şekil 3.4.ı (Akar İ., 2011) da genelde kapalı bir halka oluşturan moleküllerde görülür ve hareketin biçimi şemsiye biçimindedir ve γ gösterilmektedir (Akar İ., 2011).



Şekil 3.4. Moleküllerde titreşim türleri

3.3 Petrolün Kimyasal Oluşumu ve Yapısı

Petrol, petrol ya da yer yağı, hidrokarbonlar oluşmuş, sudan yoğun kıvamda, koyu renkli, arıtılmamış, kendisine özgü kokusu olan, yeraltından çıkarılmış doğal yanıcı mineral yağdır. Petrol, hidrokarbonların karışımından meydana gelmiş

olup, petrolün her zaman sabit bir kimyevî bileşimi yoktur. Doğal akaryakıt olan ham petrol, bulunduğu memleketlere göre değişen bileşimler göstermektedir.

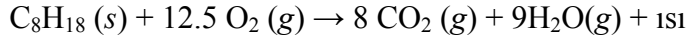
Çeşitli tipteki petrolerin kendine has ağırlıkları 0,80-0,96; alevlenme noktaları 15-120 °C ve ortalama ısıtma kuvvetleri 10,500 kcal/kg' dır. Ortalama elementel bileşimlerde ise; karbon %84, hidrojen %12, oksijen %1 olup, çok az miktarda da kükürt bulunmaktadır. Değişik kimyasal içeriğe sahip hidrokarbonların bir araya gelerek oluşturduğu değişik kimyevi bileşimde olan çok sayıda petrol tipi bulunmaktadır (Örneğin: parafin bazlı petrol, asfalt bazlı petrol gibi).

Hidrokarbonların ve dolayısıyla petrol ve gazın yeraltında nasıl oluştuğu kesinlikle bilinmemekle birlikte, 20. yüzyılın başından beri süregelen bilimsel araştırma sonuçları, tüm hidrokarbonların yaşamını yitirmiş canlıların artıklarının durgun deniz ve göl gibi ortamların tabanında birikmesiyle oluşmaya başladıklarını ortaya koymaktadır. Deniz, göl veya akarsularda yaşamını yitirmiş olan bitkisel ve hayvansal canlılar, akarsuların bu ortamlara taşıdığı kum, kil ve mineral tanecikleri ile birlikte dibe çökerek yığılmaktadırlar. Milyonlarca yıl süren bu çökme ve yığılma olayı tüm çökel malzemenin kalınlığının artmasına neden olur. Ancak, artan kalınlıkla birlikte çökellerin tabana uyguladıkları ağırlık da artmaktadır. Önce çökelen ve altta kalan kayaç bileşenleri sürekli artan üst ağırlık etkisi altında sıkışmaya ve birbirlerine tutunmaya başlarlar. Organik artıklar da, sıkışan katı tanecikler arasında, gözenek adı verilen çok küçük boşluklarda ve çalışma alanlarında su ile birlikte sıkışır ve yeraltındaki ısı, radyoaktif element ışıması, bakteri etkisi ve üst ağırlık baskısı gibi etkenler altında kimyasal bozulmaya ve moleküler değişime uğrarlar. Yüz binlerce, milyonlarca yıl sürebilen ve katajenez adı verilen bu bozulma sürecinde organik kökenli katılar, sıvılar ve gazlar oluşmuştur. Bunlardan sıvılar ve gazlar bozulmalarını sürdürerek algılandığı anlamda ham petrole ve doğal gaza dönüşmüşlerdir. Yüz milyonlarca yıl önce, denizlerde yaşayan ya da suların denizlere sürüklediği hayvan ve bitki kalıntıları anaeorabik bir ortamda, gerekli şartlar altında (ısı basınç ve mikroorganizmaların etkisiyle), ham petrole benzer kerojeni meydana getirmiştir. Kerojen sonradan, yukarı tabakalara doğru göç etmesi esnasında gittikçe değişmiş ve ham petrolü meydana getirmiştir. Bu yüzden de hiçbir sahanın ham petrolü, tam olarak öteki bir sahanın ham petrolüne uymamaktadır ve muhakkak az çok farklar bulunmaktadır. Hatta bu durum, aynı bir petrol sahasında

bile, çoğu zaman görülmektedir (İ.T.Ü Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü,2013).

Petrolün kimyasal yapısı farklı uzunluklardaki hidrokarbon zincirlerinden oluşmaktadır. Bu zincirler, petrolün arıtım sürecinde, damıtma sayesinde ayrıştırılıp, bu zincirlerden; benzin, jet yakıtı, kerosen gibi ürünler elde edilmektedir.

Bu alkanların genel gösterimi C_nH_{2n+2} biçimindedir. Örneğin, benzinde yaygın olarak bulunan 2,2,4-Trimetilpentanın ifadesi: C_8H_{18} biçiminde olup oksijen ile ısıveren tepkimesi şöyledir:



3.3.1 Hidrokarbonlar

Hidrokarbon, sadece karbon ve hidrojen C_xH_y atomlarından oluşan kimyasal bileşiklerin genel adıdır. Örneğin metan, bir karbon ve dört hidrojen atomundan oluşan bir hidrokarbondur.

Doymuş alifatik hidrokarbonlara alkanlar veya parafinler de denilmektedir. Genel formülü C_nH_{2n+2} ' dir (n: karbon sayısı). Alkanlar bir homolog seri meydana getirir ki, bu seride birbirini takip eden bileşikler arasında (CH_2) kadar fark vardır. Bu fark nedeniyle homolog (aynı) seri oluştururlar. Karbon sayısının Latincesinin sonuna (AN) eki getirilerek adlandırılır. Bileşikler birbirine yakın benzerlikler göstermektedir.

Doymamış hidrokarbonlar ise akenler ve alkinlerdir. Alkenler sınıfına olefinler sınıfı da denilmektedir. Bu sınıfta hiç olmazsa iki karbon arasında çift bağ vardır. Karbon sayısının Latincesinin sonuna “-EN” ve “-İLEN” eki getirilerek adlandırılmaktadır. Çift bağın hangi karbonlar arasında olduğunu belirtmek için rakam kullanılmaktadır. Genel formülleri C_nH_{2n} ' dir. Alkinler ise doymamış diğer hidrokarbon grubudur. Karbonlardan bir çiftinin arasında üç bağ vardır. Karbon sayısının Latincesinin sonuna “-İN” eki getirilerek adlandırılmaktadır. Alkinler kimyasal olarak alkenlere göre çok daha aktiftir ve genel formülü C_nH_{2n-2} 'dir

Aromatik hidrokarbonlar ise bir veya daha çok benzen halkası ihtiva ederler. Benzen halkasının yapısı çok çeşitli şekilde gösterilmiştir. Benzen halkasına çeşitli grupların eklenmesi ile çeşitli bileşikler elde edilmektedir. Bunlara, Toluen, ksilen, naftalin gibi örnekler vermek mümkündür.

4. PETROL REZERVUARLARINDA EM DALGALARIN THZ BANTLARINDAKİ YOL KAYBI MODELLEMESİ

Petrol, yeraltında toprak, su ve arada verilen karbondioksit karışımından ibarettir. Bu çalışmada, bu karışımı oluşturan maddelerin yüksek frekanslarda karakteristikleri ve özellikleri araştırılarak, yol kaybı modellenmesi yapılmıştır. Petrol kuyularında, TDYA' ların yerleştirilebilmesi için çok dar alanlar bulunmaktadır. Bu nedene ve literatür taraması bölümünde anlatılan araştırmalara dayanarak, çalışma, THz bantlarında yapılmıştır. THz bantlarında geçiş penceresi yakalandıktan sonra, geçiş penceresinde toprak, su, petrol ve karbondioksitin davranışları incelenmiştir. Geçiş pencerelerinin nasıl elde edildiği detaylı bir şekilde takip eden bölümlerde anlatılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde toprak, su ve karbondioksit geçiş penceresinin bulunduğu bant aralığı modellenmiştir. Ayrıca petrol çıkarımında bazı bölgelerde su yerine deniz suyu kullanılmaktadır. Çalışmanın en son bölümünde ise tuzlu suyun çalışma sonuçlarını ne derecede etkilediği araştırılmıştır.

4.1 Petrol Ortamının Yüksek Bantlardaki Yol Kaybı Modeli

Petrol, hidrokarbon bileşimlerinden oluşmaktadır. Bu hidrokarbonların içinde en çok bulunan moleküller alkanlar, sikloalkanlar, aromatik hidrokarbonlar veya asfaltenler gibi daha karmaşık kimyasallardır. Petrolü oluşturan bu moleküller, teker teker kızılötesi spektroskopisinde analiz edildiklerinde, aşağıdaki grafikleri vermektedirler. Bu bölümde, kızılötesi spektroskopi prensibinden bahsedildikten sonra, petrolün yapısındaki hidrokarbonların, kızılötesi spektroskopi sonuçları incelenmiştir.

Kızılötesi spektroskopi atomlar arasındaki bağları analiz ederek molekülleri tanımlamaya yarayan bir tekniktir. Her kimyasal bağ kendine has bir frekansta titreşir. Bir moleküldeki bir grup atom (mesela CH₂) bağların esneme ve bükülme hareketlerinden dolayı birden fazla titreşim moduna sahip olabilir. Eğer

bir titreşim, molekülün dipol momentinde değişime yol açarsa molekül aynı frekansa sahip bir foton soğurur. Çoğu molekülün titreşim frekansları, kızılötesi ışığın frekanslarına denk düşer. Genellikle bu teknik 4000-400 cm^{-1} 'lik orta-kızılötesi ışınım kullanarak organik bileşikler analiz etmekte kullanılır. Örneğin soğurduğu tüm frekanslar kaydedilir. Bu tayf kullanılarak örneğin, içeriği ve saflığı hakkında bilgi edinilebilir.

Spektroskopi en çok tanınan hali ile maddenin özelliklerini, soğrulan ve salınan parçacıklar, ışık veya ses aracılığı ile incelenmesidir. Ancak spektroskopinin esası bu değildir, çünkü spektroskopi ne kimyasal analize mahkûmdur ne de kimyasal analizin tamamı spektrumsal analizden oluşmaktadır. Sonuçta spektroskopi fizik/fotonik/optik bazlı teknikler bütünüdür ve uygun düştüğü her yerde kullanılmaktadır.

Spektroskopi ayrıca ışık ile maddenin etkileşiminin incelenmesi olarak da tanımlanabilir. Spektroskopik analiz yöntemlerinde örnek üzerine bir uyarıcı tanecik gönderilir ve örneğin, bu uyarıcı taneciğe (elektron, nötron, proton, atom, molekül, gibi) karşı davranışı ölçülür. Bunlar dışında, elektromanyetik olan ve olmayan ışınım da kullanılmaktadır (mikrodalgalar, radyo dalgaları, X ışınları, vs. gibi). Spektroskopik yöntemlerde maddenin elektromanyetik radyasyonu yayması, emilimi, saçması, saptırması, genel olarak maddenin elektromanyetik radyasyonla etkileşimi ve bu etkileşimin sonuçları analitik amaçlara dönük olarak incelenir. Spektroskopi, gökbilim ve uzaktan algılamada da ayrıca yoğun olarak uygulanan yöntemlerdendir.

Hidrokarbonlar C-H ve C-C bağları içerir. Bu bağlar çeşitli frekans aralıklarında titreşim gösterirler. Alkanlarda bu titreşimler Kızılötesi Spektroskopi aşağıda belirtildiği şekilde titreşim gösterir; (Stuart B., 2004; Barbara A., 2004; John C., 2000; Ingle J. D. J. et al., 1988)

C-H bağı 3000–2850 cm^{-1} arasında titreşim hareketi oluşturur.

C-H bağı 1470-1450 cm^{-1} arasında kıvrılma ya da makaslama hareketi oluşturur.

C-H bağı doymuş hidrokarbon kökleri serisinin ilk basamağında 1370-1350 cm^{-1} arasında sallanma hareketi oluşturur.

C–H bağı doymuş hidrokarbon kökleri serisinin ilk basamağında 725-720 cm^{-1} arasında uzun zincirlerde sadece sallanma hareketi oluşturur.

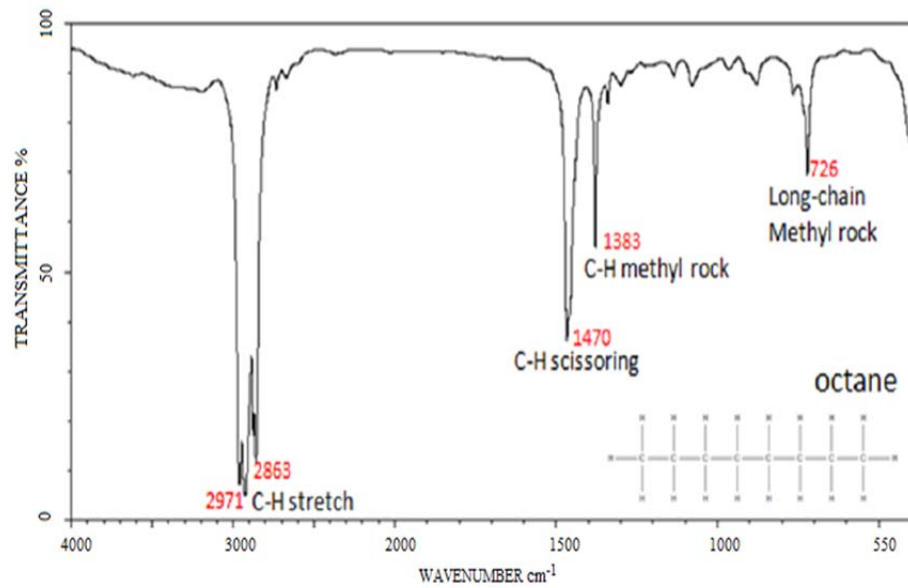
Şekil 4.1’de Oktanin Kızılötesi Spektroskopi Korelasyon Tablosunu göstermektedir.

Alkenlerde:

C=C bağı 1680-1640 cm^{-1} arasında titreşim hareketi oluşturur.

=C–H bağı 3100-3000 cm^{-1} arasında titreşim hareketi oluşturur.

=C–H bağı 1000-650 cm^{-1} arasında kıvrılma ya da makaslama hareketi oluşturur.



Şekil 4.1 Oktanin kızılötesi spektroskopi korelasyon tablosu

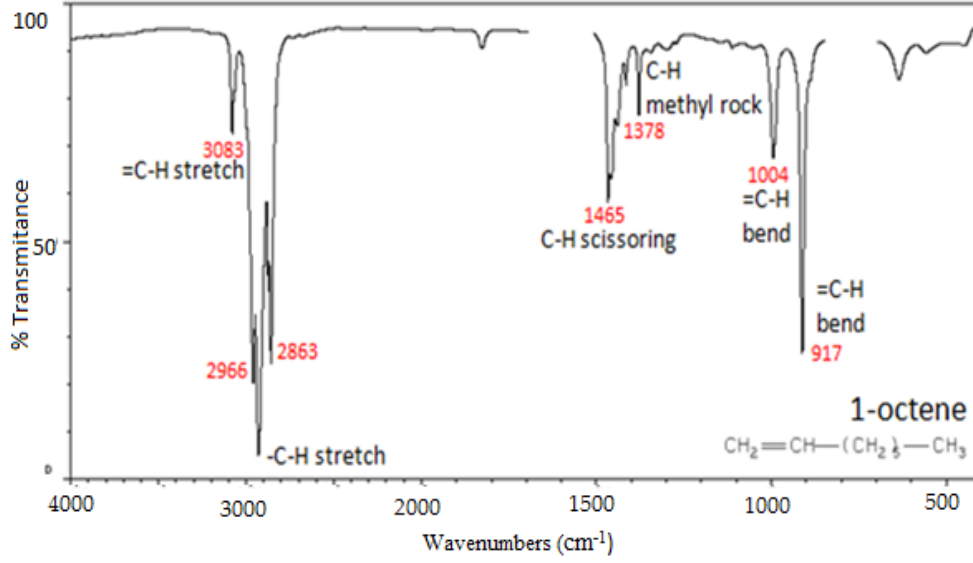
Şekil 4.2 1-Oktanin Kızılötesi Spektroskopi Korelasyon Tablosunu göstermektedir. Alkenlerde olduğu gibi bu bantlar spesifik değildir ve neredeyse tüm organik moleküllerin mevcut olması nedeniyle genellikle dikkat edilmez.

Alkinlerde ise:

–C≡C– bağı 2260-2100 cm^{-1} arasında titreşim hareketi oluşturur.

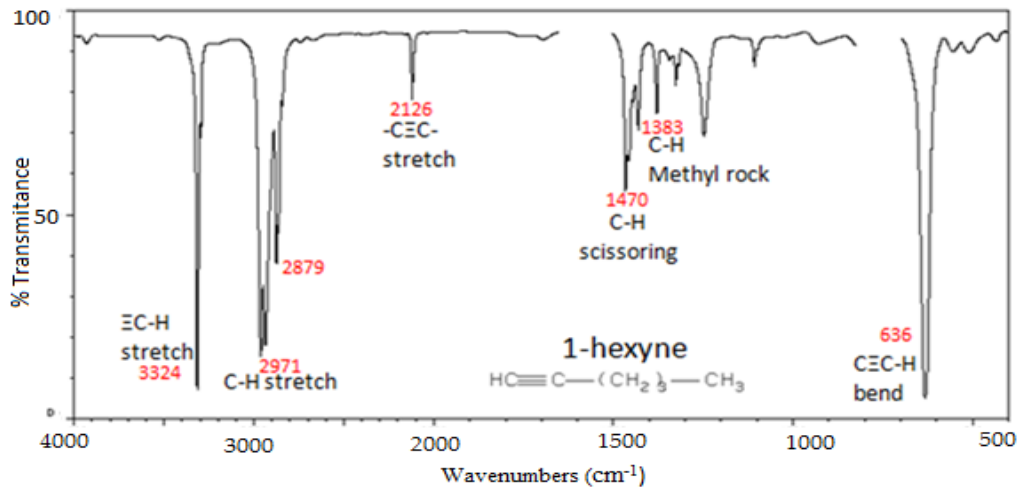
$\text{--C}\equiv\text{C--H}$: C–H bağı $3330\text{--}3270\text{ cm}^{-1}$ arasında titreşim hareketi oluşturur.

$\text{--C}\equiv\text{C--H}$: C–H bağı $700\text{--}610\text{ cm}^{-1}$ arasında kıvrılma hareketi oluşturur.



Şekil 4.2 1-Oktanın kızılötesi spektroskopikorelasyon tablosu

1-heksin, bir terminal Alkin, spektrumu aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4.3 1-Heksin kızılötesi spektroskopikorelasyon tablosu

Aromatik birleşiklerde ise:

C–H bağı 3100-3000 cm^{-1} arasında titreşim hareketi oluşturur.

Titreşimler 2000-1665 cm^{-1} arasında zayıflar.

C–C bağı (halka içindeki) 1600-1585 cm^{-1} arasında titreşim hareketi oluşturur.

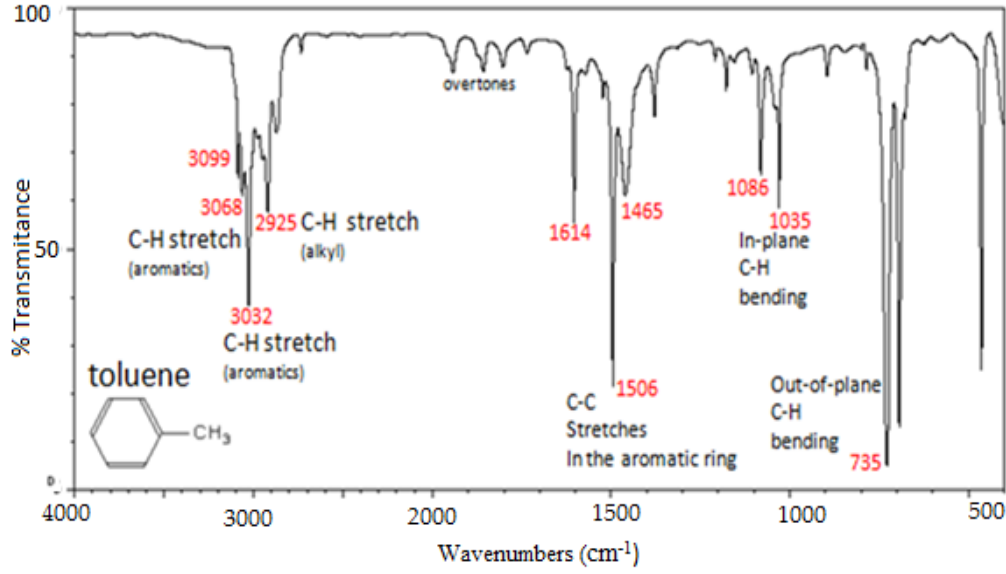
C–C bağı (halka içindeki) 1500-1400 cm^{-1} arasında titreşim hareketi oluşturur.

C–H bağı 900-675 cm^{-1} arasında burulma hareketi oluşturur.

Alkanlar içinde –C–H geriliminin biraz daha yüksek bir frekansta olduğu görülmektedir. Bu IR, spektrumları yorumlamak için çok yararlı bir araçtır. Sadece alkenler ve aromatik hidrokarbonlar 3000 cm^{-1} ’ de biraz daha yüksek bir C-H gerilme göstermektedir.

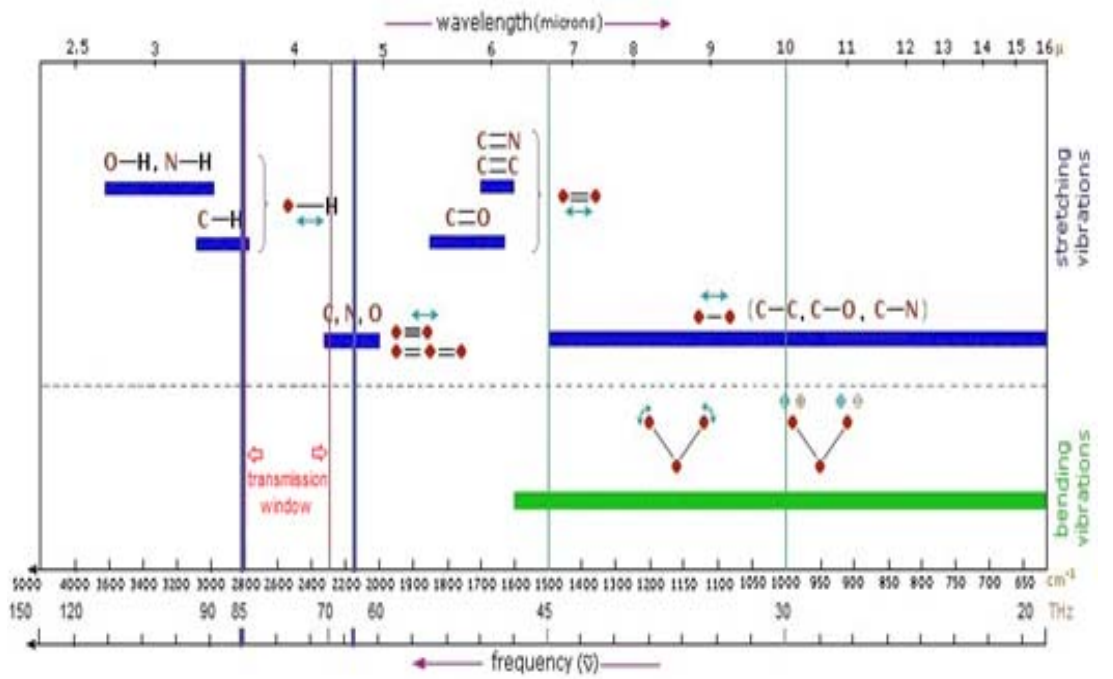
Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’ daki kızılötesi spektroskopi korelasyon tablosunda görüldüğü gibi karbon bağları THz aralığında belirli hareketler sergilemektedir. Bu hareketlik EM dalgaları tarafından istenmez, çünkü moleküllerin hareketli olduğu bölümlerde EM dalgalar rahat ilerleyemez. Karbon bağları ise 70 ve 85 THz aralığında titreşim göstermezler.

Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 incelendiğinde aynı şekilde Karbon bağları 70 ve 85 THz aralığında titreşim göstermezler. Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 bu durumu detaylı bir şekilde özetlemektedir.



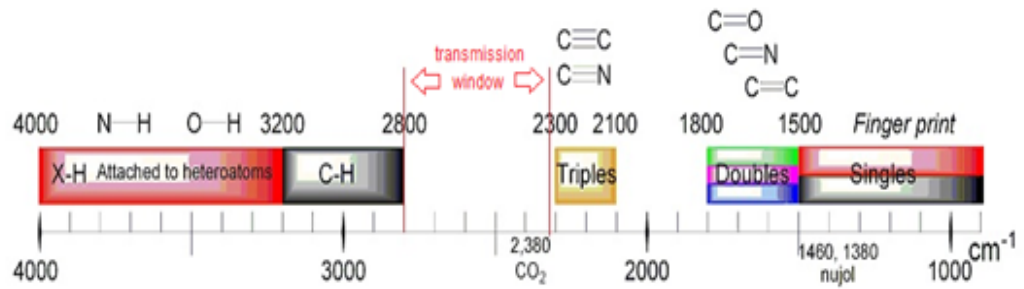
Şekil 4.4 1-Tolüen kızılötesi spektroskopi korelasyon tablosu

Şekil 4.5’ deki mavi renkler, Karbon ve Hidrojen atomlarının germe hareketini, yeşil renk ise bükme hareketini göstermektedir (Stuart B., 2004; Barbara A., 2004). Yeşil ve mavi bölgelerin sürekliliğine bakıldığında, süreklilik tüm frekans aralığı boyunca devam etmektedir, fakat 70 THz ve 85 THz aralığında herhangi bir titreşim yoktur. Bu aralık petrolün geçiş penceresidir ve suyun geçiş penceresi ile çakışmaktadır. Şekil 4.12 ve Şekil 4.13 incelendiğinde ise, suyun çeşitli geçiş pencereleri gözlemlenir. Bunların 0,1- 10 THz, 30 - 45 THz ve 55 - 80 THz arasında emilimi azalmıştır. Fakat grafik yaklaştırıldığında en az kayıp görülen pencere aralığı ise 70 - 85 THz aralığıdır. Bu yüzden haberleşme için 70 - 85 THz pencere aralığı kullanılabilir.



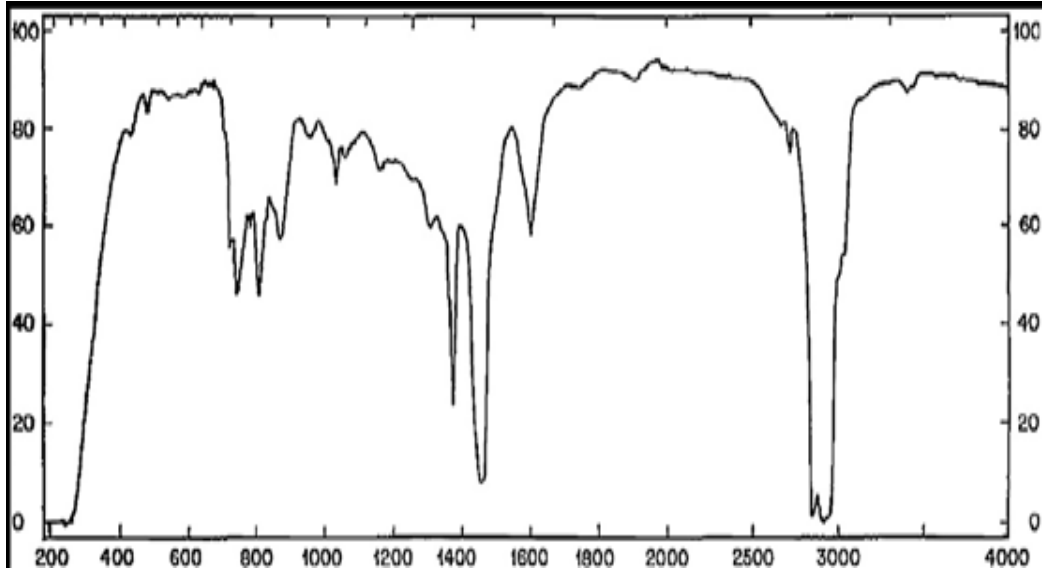
Şekil 4.5 Karbon atomu kızılötesi spektroskopisi detaylı korelasyon tablosu

Şekil 4.6 ise şekil 4.5' in sadeleştirilmiş bir şekilde gösterilmiş halidir. Şekil 4.6' da 3200 cm^{-1} - 4000 cm^{-1} dalga numaraları aralığında Hidrojen atomu bileşenleri, 2800 cm^{-1} - 3200 cm^{-1} dalga numaraları aralığında Karbon-Hidrojen atomu bileşeni, 2100 cm^{-1} - 2300 cm^{-1} dalga numaraları ve 1000 cm^{-1} - 1800 cm^{-1} dalga numaraları aralığında ise karbon atomunun yaptığı diğer bileşenleri göstermektedir. Şekil 4.6 incelendiğinde ise 2300 cm^{-1} - 2800 cm^{-1} dalga numaraları ve 1800 cm^{-1} - 2100 cm^{-1} dalga numaraları aralığında hiçbir titreşimin olmadığını görülür. Bu titreşimsiz alanlardan 2300 cm^{-1} - 2800 cm^{-1} dalga numaraları yani 70 THz ve 85 THz aralığı suyla çakışan frekans aralığı ve çalışmanın geçiş penceresidir.



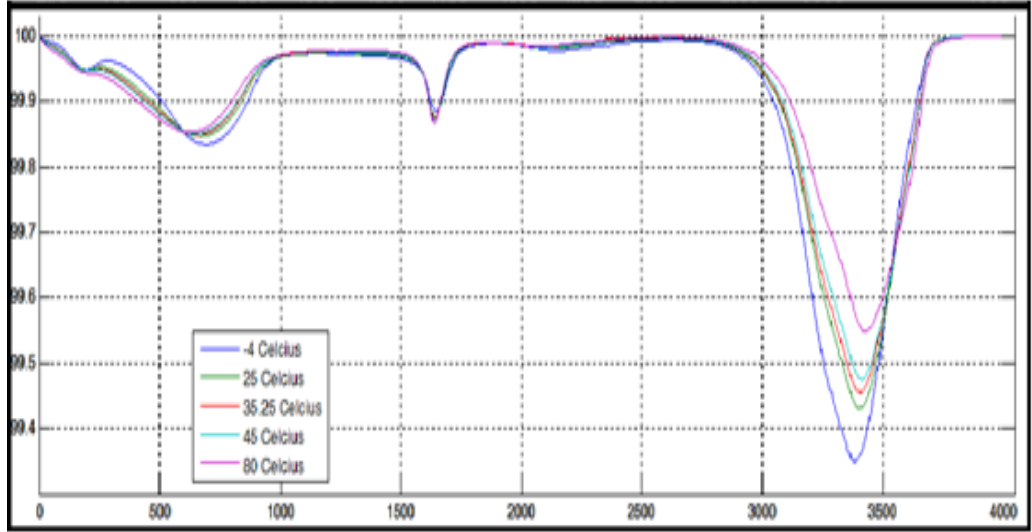
Şekil 4.6 Karbon atomu kızılötesi spektroskopisi korelasyon tablosu birleşik görünümü

Şekil 4.7 'de (Silva S. L., et al. 2011) Petrolün kızılötesi spektroskopikorelasyon tablosu (Silva S. L., et al. 2011), Şekil 4.8'de ise 1 mikro metre kalınlığındaki suyun kızılötesi spektroskopikorelasyon tablosu (Max J .J. et al., 2009) verilmiştir. 2300 cm^{-1} - 2800 cm^{-1} dalga numaraları yani 70 THz ve 85 THz aralığı, her iki şekilde emilimin en az olduğu bölümlerdir. Geçirgenlik ve soğurma arasındaki orantı bu bölümün sonunda formül 4.1 ve Şekil 4.9' da verilmektedir.



Şekil 4.7 Petrolün kızılötesi spektroskopikorelasyon tablosu

Telsiz düğümleri arasında oluşturulacak haberleşme kanalı çok karmaşık bir yapıya sahiptir, çünkü petrol, yeraltında toprak, su ve arada verilen karbondioksit karışımından oluşmaktadır. Geçiş penceresi bulunması adımlarına, ilk olarak sudan başlanmıştır, çünkü su, EM dalgalarının petrol çıkarımında en çok kaybın yaşanmasının nedenidir. Bu geçiş pencerelerinin, suda 0,1- 10 THz, 30 - 45 THz ve 55 - 80 THz aralığında olduğu, Şekil 4.8 incelendiğinde anlaşılmaktadır. Şekil 4.8' un nasıl elde edildiğinin detaylı anlatımı bölüm 4.2' de, su ortamının yüksek bantlardaki yol kaybı modeli kısmında anlatılmıştır. Fakat bu geçiş pencerelerinde en az kayıp olan pencere 70 - 85 THz aralığıdır. 70 - 85 THz pencere aralığı Şekil 4.7 incelendiğinde de anlaşılır ki, petrolün de geçiş penceresi ile çakışmaktadır. Bu yüzden haberleşme sağlamak için 70 - 85 THz pencere aralığı kullanılır.

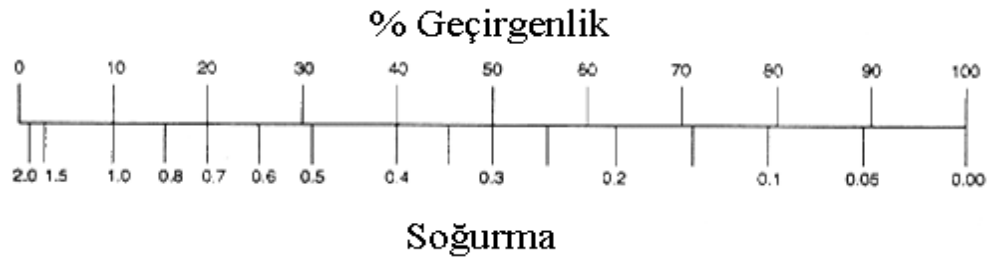


Şekil 4.8 1 mikro metre kalınlığındaki suyun kızılötesi spektroskopisi korelasyon tablosu

Şekil 4.7 ile Şekil 4.8’ de, x eğrisi dalga numarasını, y eğrisi ise soğurma büyüklüğünü verir. Y eğrisindeki soğurma büyüklüğü Kızılötesi Spektroskopi’de geçirgenlik olarak da ifade edilir. Bu büyüklükleri birbirine çevirmek için aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$A = 2 - \log_{10} \%T \quad (4.1)$$

Son eşitlik (Atkins P. et al., 2005), $A = 2 - \log_{10} \%T$ soğurmayı geçirgenlikten elde edilmesini gösterir ya da tam tersi olan geçirgenlikten soğurmayı elde etmek için kullanılır



Şekil 4.9 Soğurma ile geçirgenlik arasındaki bağlantı

Dünya’da pek çok petrol çeşidi vardır. Ham petrolün kızılötesi spektroskopisi korelasyon sonuçları da petrolün çeşidine göre farklılık gösterir ama bağlar arasındaki titreşimleri etkilemez. Petrolün emilim katsayısının (Aske N. et al.; 2001; Silva S. L. et al., 2011; Perez-Caballero et al., 2009; De Peinder P. et al.,

2008; Basta J. S., 2010; L. Shaoping et al., 2010; De Peinder P. et al., 2009; Rosales P. I et al., 2010; Lu T. et al., 2011) referanslarından dikkate alınarak geçiş penceresinde (70 - 85 THz) $k(\tilde{\nu})$ ise soğurma katsayısı yaklaşık 0,02 alınabilir. Fakat kesin değer çalışmanın uygulanacağı yerdeki petrolün kızılötesi spektroskopisi korelasyon sonucuna göre belli olur.

Tablo 4.1 Soğurma katsayısı 0.02, kalınlığı ise 25 mikrometre olan ham petrolün soğurma büyüklüğünü

Soğurma Katsayısı	Petrol Kalınlığı	A Soğurma	Uzaklık
0,02	2,50E-05	0,347435586	0,1 mm
0,02	2,50E-05	3,474355856	1 mm
0,02	2,50E-05	6,948711712	2 mm
0,02	2,50E-05	13,89742342	4 mm
0,02	2,50E-05	17,37177928	5 mm
0,02	2,50E-05	34,74355856	1 cm
0,02	2,50E-05	52,11533784	1,5 cm
0,02	2,50E-05	69,48711712	2 cm
0,02	2,50E-05	104,2306757	3 cm
0,02	2,50E-05	138,9742342	4 cm
0,02	2,50E-05	173,7177928	5 cm

Tablo 4.1, soğurma katsayısı 0,02, kalınlığı ise 25 mikrometre olan ham petrolün soğurma büyüklüğünü formül 4.2' ye göre hesap edilmesini gösterir. Bundan sonraki hesaplamalarda da ham petrolün soğurma katsayısı 0,02 alınmıştır.

$$A_{\text{Soğurma}}(f, d) [\text{dB}] = k(f) \cdot d \cdot 10 \cdot \log_{10} e \quad (4.2)$$

Formüldeki k , ortamın soğurma katsayısıdır (Jornet J. M. et al., 2011). Önceden de bahsedildiği gibi soğurma büyüklüğünün kesin değeri, projenin uygulanacağı yerdeki petrolün kızılötesi spektroskopisi korelasyon sonucuna göre karar verilir. Tablo 4.1' e göre 100 dB kaybında bir sistemde yaklaşık 3 cm' ye yaklaşan bir iletişim mesafesi söz konusudur.

4.2 Su Ortamının Yüksek Bantlardaki Yol Kaybı Modeli

Kızılötesi ışınım, dalga boyu görünür ışıktan uzun, fakat THz ışınımından ve mikrodalgalardan daha kısa olan elektromanyetik ışınımdır. Kızılötesi ışınımın dalga boyu 750 nanometre ile 1 mikrometre arasındadır. Normal sıcaklıktaki insan vücudu 10 mikrometre civarında ışıma yapar (Liew S. C., 2006). Nesneler oldukça geniş bir tayfta kızılötesi ışınım yayarlar, fakat algılayıcılar sadece belli bant genişliklerini algılayabildikleri için genellikle kızılötesinden kastedilen belirli bantlardır. Bu yüzden kızılötesi bandı, daha küçük alt bantlara bölünmüştür.

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu kızılötesi ışınımı aşağıdaki bantlara ayırmayı teklif etmiştir (Roy H., 2007) :

IR-A: 700 nm–1400 nm

IR-B: 1400 nm–3000 nm

IR-C: 3000 nm–1 mm

Sıkça kullanılan bir bölümlene biçimi şöyledir:

Yakın kızılötesi (NIR, IR-A): 0.75-1.4 μm dalga boyları arasındadır. Düşük kayıp miktarı yüzünden genellikle fiber optik iletişimde kullanılmaktadır. Gece görüş ekipmanları da genellikle bu dalga boyunu kullanır.

Orta dalga kızılötesi (MWIR, IR-C): 3-8 μm . Güzümlü füze teknolojisinde kullanılmaktadır.

Uzun dalga kızılötesi (LWIR, IR-C): 8–15 μm . Dışarıdan bir ışınım kaynağına gerek duymadan, sadece nesnelerin yaydığı ısıyla çalışan termal görüntüleme cihazları bu bandı kullanır.

Uzak kızılötesi (FIR): 15-1,000 μm

Astronomide ise kızılötesi tayf aşağıdaki gibi ayrılır (IPAC Staff., 2007) :

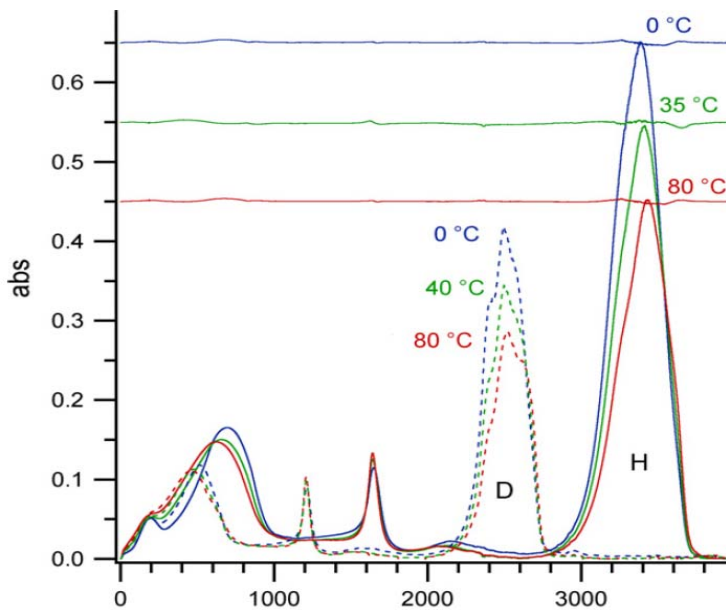
Yakın: (0,7-1) - 5 μm

Orta: 5 - (25-40) μm

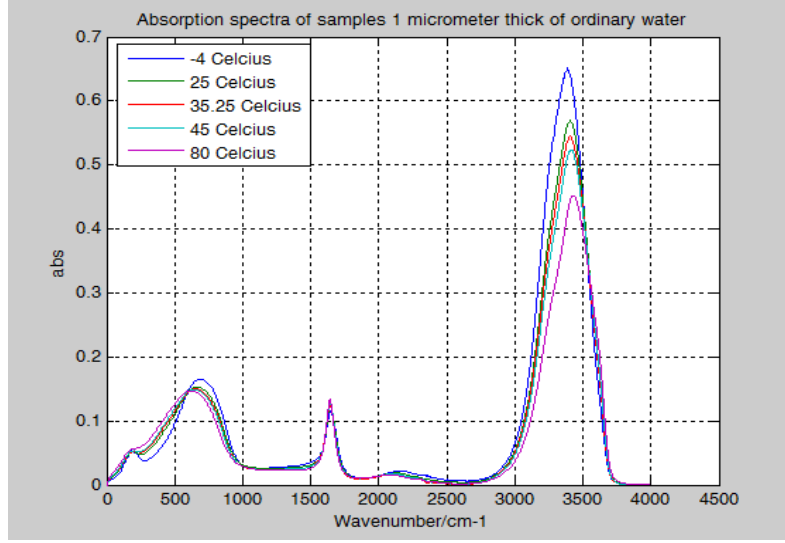
Uzun: (25-40) - (200-350) μm

Su ortamında Elektromanyetik dalgaların nasıl yayıldığını tanımlamak için (Maréchal, Y., 2011) makalesinden faydalanılmıştır. Bu makalenin başlangıç formülü olan formül 1 deki 1 mikron kalınlığındaki saf suyun 0.1 ile 4200 (0.1 ile 120 THz) dalga boyundaki davranışları Şekil 4.10'deki bilgiler referans alınarak yeniden formül 4.3'e göre düzenlenmiştir. Bu sayede grafik tasarım programından faydalanarak farklı kalınlıklardaki sularda EM dalgaların dağılımı incelenmiştir (Akkas M. A. et al., 2012; Akkas M. A. et al., 2013; Maréchal, Y., 2011; Max J .J. et al., 2009).

Tüm kızılötesi bölgesinde yer alan çeşitli sıcaklıklarda ($0 < \text{dalga sayısı} < 4000 \text{ cm}^{-1}$) saf su emilim spektrumları, FIR bölge içinde ölçülen emilim spektrumları ile birleştirilmiş ve orta kızıl ötesi bölgede kaydedilen ATR spektrumları elde edilmiştir. H_2O moleküllerinin iki çeşit spektrumu, spektroskopik kısıtlar uygun olarak ve termodinamik değerlere uygun olarak tanımlanmaktadır (Akkas M. A. et al., 2012; Akkas M. A. et al., 2013; Maréchal, Y., 2011).



Şekil 4.10 1 mikrometre kalınlığındaki saf suyun emilme spektrumu

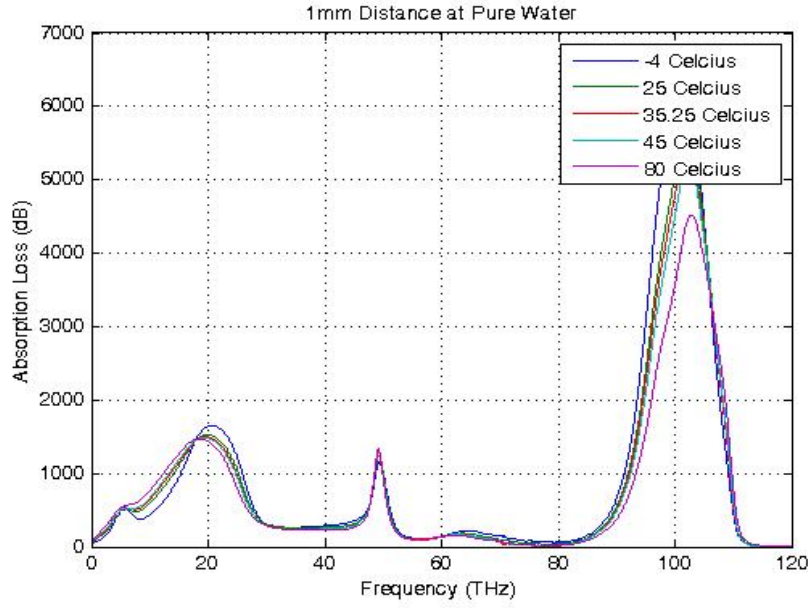


Şekil 4.11 1 mikrometre kalınlığındaki saf suyun emilme spektrumu

Soğurma spektrumu $abs(\tilde{\nu})$ olan, kalınlığı d ye göre değişen suyun d genişliğindeki soğurma katsayısı formül 4.3' de verilmiştir:

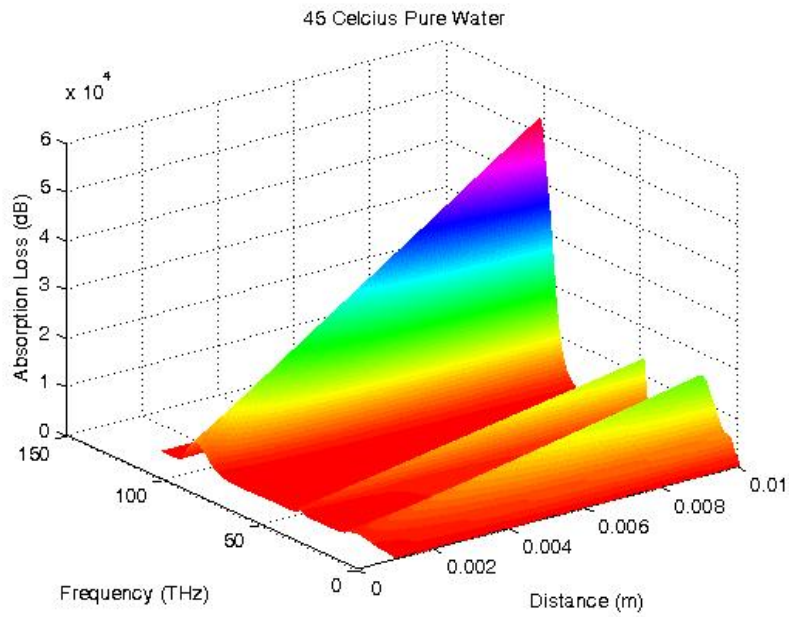
$$abs(\tilde{\nu}) = 4\pi\tilde{\nu}k(\tilde{\nu})d10\log(e) \quad [dB] \quad (4.3)$$

Burada $\tilde{\nu}$ 'nin birimi cm^{-1} ve $k(\tilde{\nu})$ ise soğurma katsayısıdır. $k(\tilde{\nu})$ 'nin kaynağı ise şekil 4.10' da gösterilen (Maréchal, Y., 2011) referansıdır. Formül 4.3' e, Şekil 4.10' da ki $k(\tilde{\nu})$ soğurma katsayısı eklenerek Şekil 4.12 ve Şekil 4.13 elde edilmiştir. Şekil 4.12 (Akkas M. A. et al., 2012) ve Şekil 4.13 incelendiğinde çeşitli geçiş pencereleri gözlemlenir. Bunlarda, 0,1- 10 THz, 30 - 45 THz ve 55 - 80 THz arasında emilim azalmıştır. Fakat grafik yaklaştırıldığında en az kayıp olan pencere aralığı 70 - 85 THz aralığıdır. 70 - 85 THz pencere aralığı petrolün de geçiş penceresi ile çakışır. Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 de belirtildiği gibi 2300 cm^{-1} - 2800 cm^{-1} dalga numaraları ve 1800 cm^{-1} - 2100 cm^{-1} dalga numaraları aralığında hiçbir titreşimin olmadığı görülür. Petrolde ki bu titreşimsiz alanlardan 2300 cm^{-1} - 2800 cm^{-1} dalga numaraları yani 70 THz ve 85 THz aralığı, çalışmanın suyla çakışan geçiş penceresidir. Bu yüzden sinyallerin dağılımı için 70 - 85 THz pencere aralığı kullanılmaya karar verilmiştir (Akkas M. A. et al., 2012, Akkas M. A. et al., 2013).



Şekil 4.12 1 mm kalınlığındaki farklı sıcaklıklarda ki saf suyun frekansa göre soğurma kaybı

Şekil 4.13, 1-10 mm kalınlığındaki 45 derecedeki saf suyun frekansa göre soğurma kaybını gösterir (Akkas M. A. et al., 2012). Şekil 4.13’de (Akkas M. A. et al., 2012) koyu kırmızı bölümler geçiş penceresini gösterir. Titreşimin olduğu bölgelerde ise mesafe arttıkça, engbeler artmakta ve bu artışlar diğer renklerle gösterilmiştir.



Şekil 4.13 1-10 mm kalınlığındaki 45 derecedeki saf suyun frekansa göre soğurma kaybı

4.3 Petrol-Su Karışımının Yüksek Bantlardaki Yol Kaybı Modeli

4.1 ve 4.2 bölümlerinde anlatılan yöntemler kullanarak, petrol-su karışımının yüksek bantlardaki yol kaybı modeli oluşturulmuştur. Petrol çıkartılarken, su ve petrol karışık durumdadır. Bu yüzden her iki ortamdaki ortam kaybı dikkate alınmalıdır. EM dalgalar yayılırken yeraltında su ve petrol emilimine ek olarak yayılma kaybı vardır. Yeraltında su ve petrol ortamında yol kaybı formül 4.4' de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
 \text{Yol Kaybı} = & \overbrace{10 * \log_{10} e^{*k_{petrol}} * d}^{\text{Soğurma Kaybı}} \quad \overbrace{10 * \log_{10} e^{*k_{su}} * d} \\
 & \underbrace{Abs_{petrol}} [dB] + \underbrace{Abs_{su}} [dB] \\
 & + \overbrace{20 * \log_{10} \left(\frac{4 * \pi * f * d}{c} \right)}^{\text{Yayılma Kaybı}} [dB] \\
 & (4.4)
 \end{aligned}$$

Yol kaybı iki kaybın toplamıdır. Bu kayıplar soğurma ve yayılma kaybıdır. Formül 4.4' teki soğurma kaybı açılımı, formül 4.6'da yayılma kaybı açılımı verilmiştir.

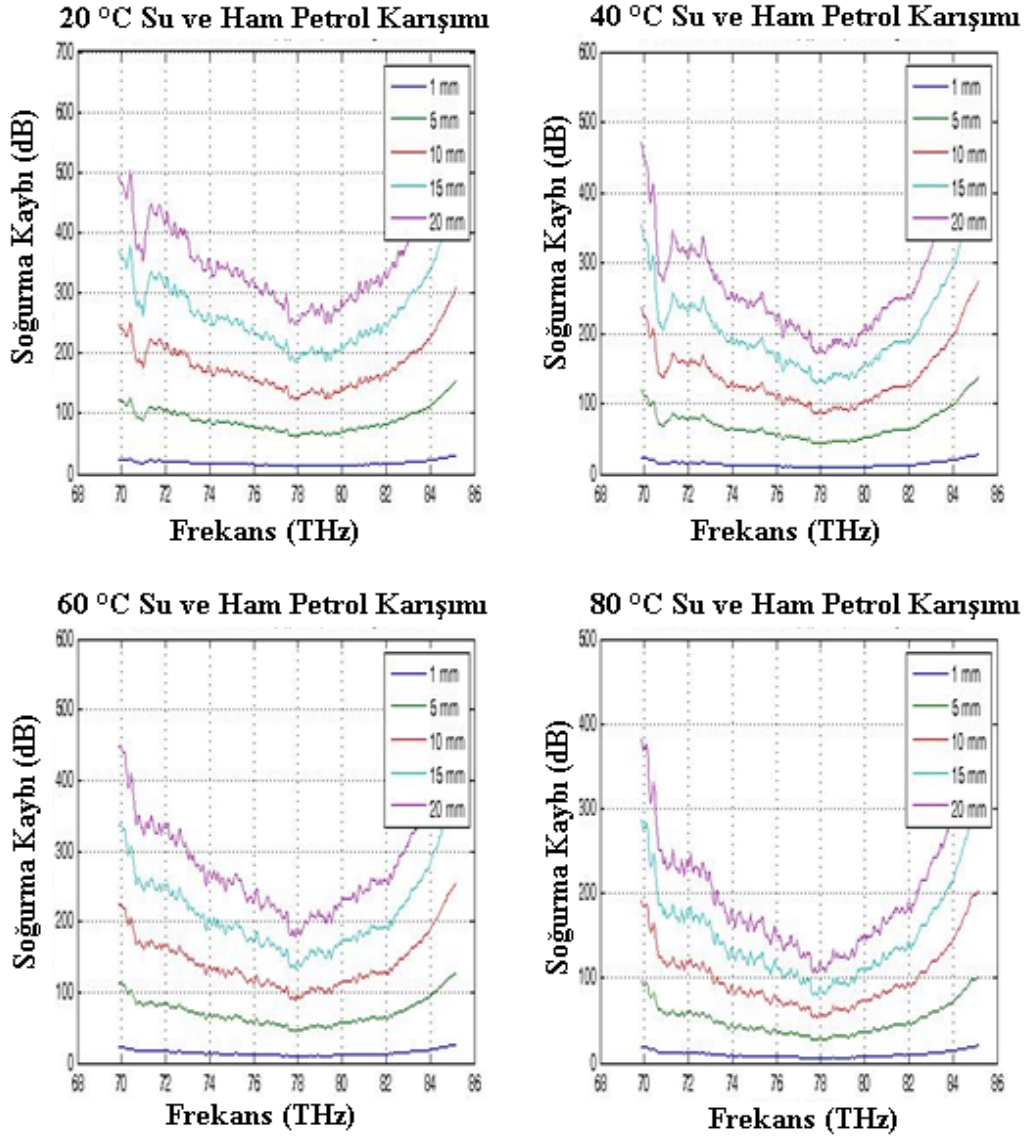
$$\begin{aligned}
 \text{Soğurma Kaybı} &= 10 * \log_{10} e^{k * d} \\
 &= 10 * \log_{10} e^{(k_{petrol} + k_{su}) * d} \\
 &= 10 * k_{petrol} * d * \log_{10} e + 10 * k_{su} * d * \log_{10} e \quad [dB] \\
 &= 10 * d * \log_{10} e^{(k_{petrol} + k_{su})} \quad [dB] \\
 &= \underbrace{10 * k_{petrol} * d * \log_{10} e}_{Abs_{petrol}} + \underbrace{10 * k_{su} * d * \log_{10} e}_{Abs_{su}} \\
 & \quad (4.5)
 \end{aligned}$$

$$\text{Yayılım Kaybı} = 20 * \log_{10} \left(\frac{4 * \pi * f * d}{c} \right) \quad [dB] \quad (4.6)$$

Bu formüllerde k_{su} ve k_{petrol} , su ve petrolün soğurma katsayısı, f frekans, d uzaklık, c ise ışık hızıdır. Soğurma kaybında hem petrol hem de su vardır.

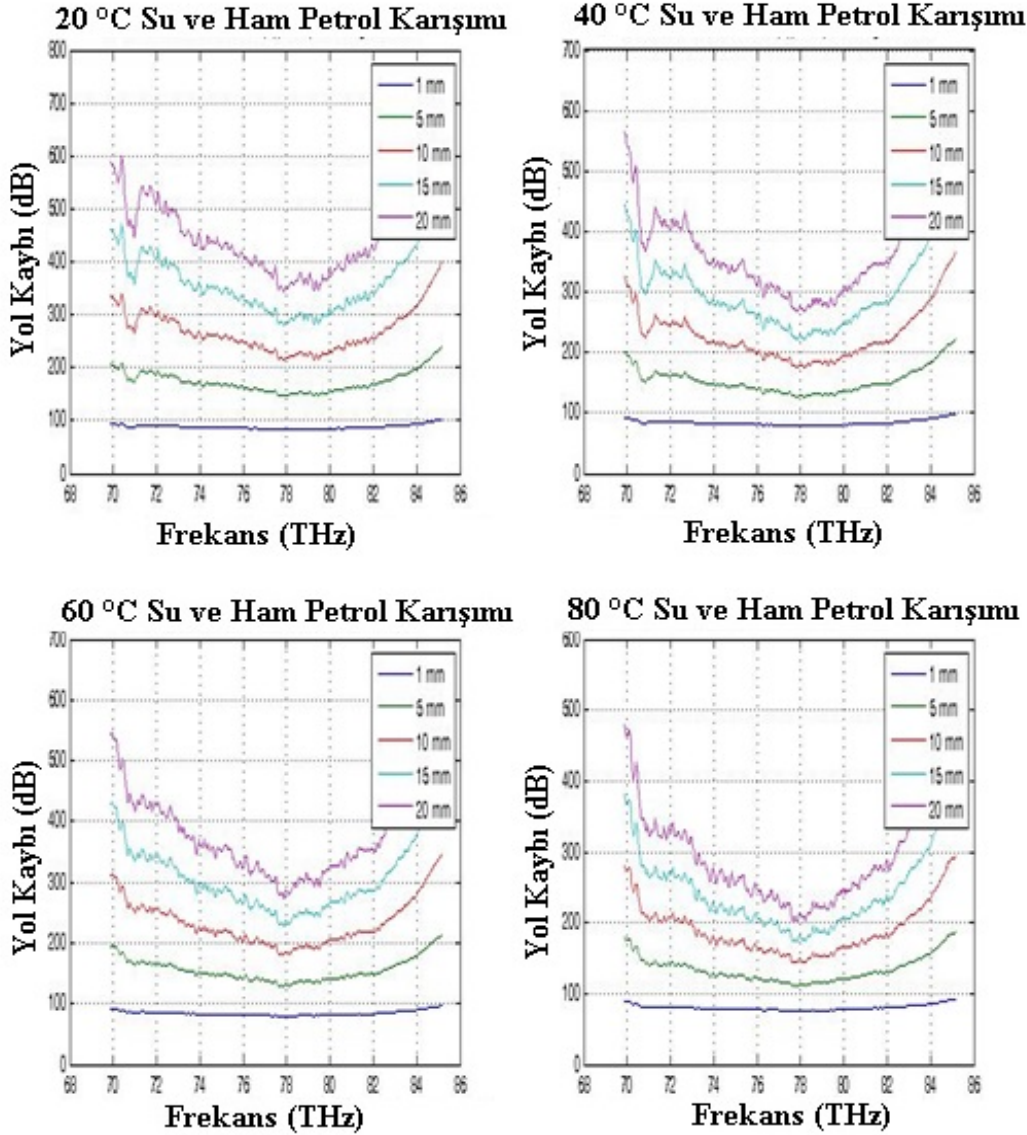
Petrolün emilim katsayısı, (Aske N. et al.; 2001, Silva S. L. et al., 2011; Perez-Caballero et al., 2009; De Peinder P. et al., 2008; Basta J. S., 2010; L. Shaoping et al., 2010; De Peinder P. et al., 2009; Rosales P. I et al., 2010; Lu T. et al., 2011) referansları dikkate alınarak geçiş penceresinde $k(\tilde{\nu})$ soğurma katsayısı 0.02 alınabilir. Su ve petroldeki verileri birleştirilerek aşağıdaki şekillerde uzaklığa göre geçiş penceresinde farklı sıcaklıklardaki su ve petrol karışımında EM dalgaların soğurma ve yol kaybı verilmiştir (Akkas M. A. et al., 2012; Akkas M. A. et al., 2013).

Önerilen model, farklı değişkenleri inceleme fırsatı sunmaktadır. En önemli değişkenlerden biri ise suyun sıcaklığıdır. Formül 4.5, Şekil 4.14, 20, 40, 60 ve 80 santigrat derecede ki suların soğurma kaybını vermektedir. Farklı sıcaklıklardaki suyun soğurma özellikleri ise Şekil 4.12'den alınmıştır.



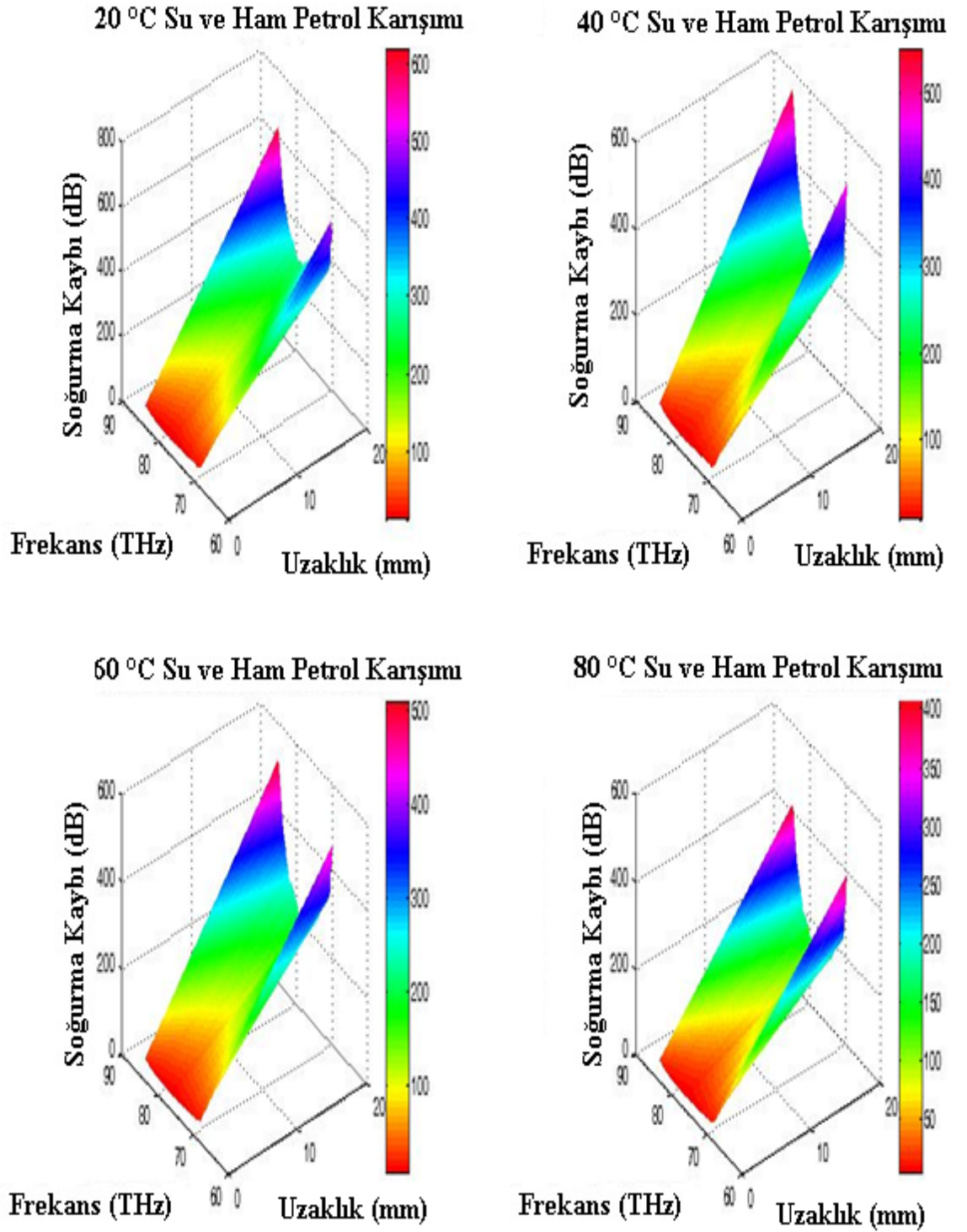
Şekil 4.14 Uzaklığa göre geçiş penceresinde farklı sıcaklıklardaki su ve petrol karışımında EM dalgaların soğurma kaybı

Şekil 4.15 ise 20, 40, 60 ve 80 santigrat derecede ki suların yol kaybını formül 4.4' e göre vermektedir. Grafikler incelendiğinde, sıcaklık arttıkça soğurma kaybı azalır. Bu da göstermektedir ki suyun sıcaklığının artması, petrol çıkarımında daha az soğurmaya ve buna bağlı olarak da daha az yol kaybına sebep olur. Bu sayede düğümler arasındaki mesafe arttırılır. Şekil 4.14' de 20 santigrat derecede, 100 dB' lik bir kayıpta iletişim mesafesi 10 mm civarındayken, bu iletişim mesafesi 20 santigrat derecede 15 mm' e kadar çıkmaktadır.

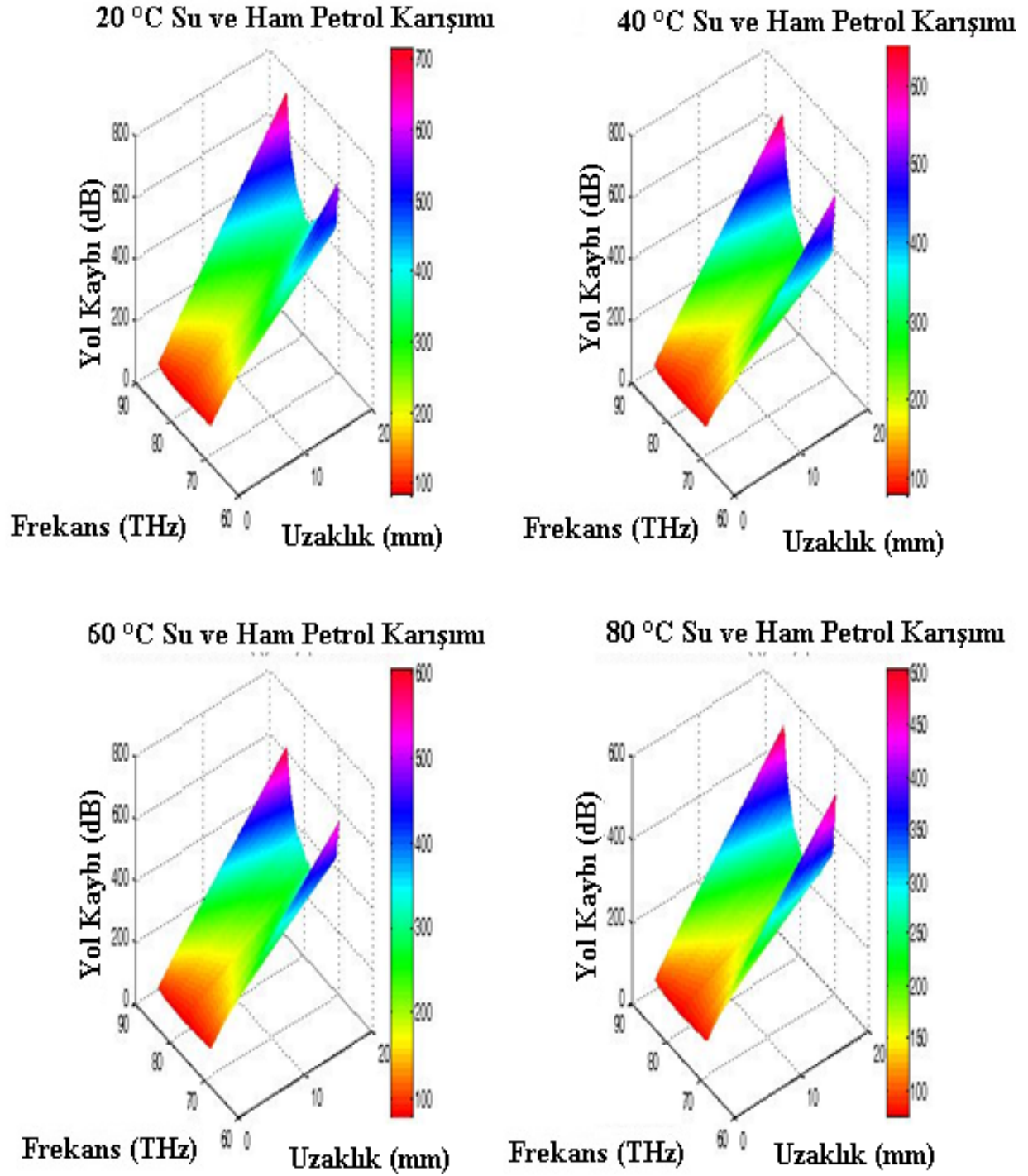


Şekil 4.15 Uzaklığa göre geçiş penceresinde farklı sıcaklıklardaki su ve petrol karışımında EM dalgaların yol kaybı

Şekil 4.16 ve Şekil 4.17 ise uzaklığa göre geçiş penceresinde, farklı sıcaklıklardaki su ve petrol karışımında EM dalgaların soğurma ve yol kaybını gösterir. Grafiklerin yanında ölçüm cetveli de ilave edilmiştir. Bu ölçüm cetvelindeki 100 dB' lik bir kayıpta sistem tasarlanacak ise, 100 dB kısmındaki renk dikkate alınarak iletişim mesafesinin frekansa göre değişimi hesaplanır. Örneğin 100 dB' lik bir sistemde, 20 santigrat derecede suyun soğurma kaybı kırmızıdan sarıya dönen kısım iken, 80 santigrat derecede suyun soğurma kaybı sarıdan yeşile dönen kısımdır.

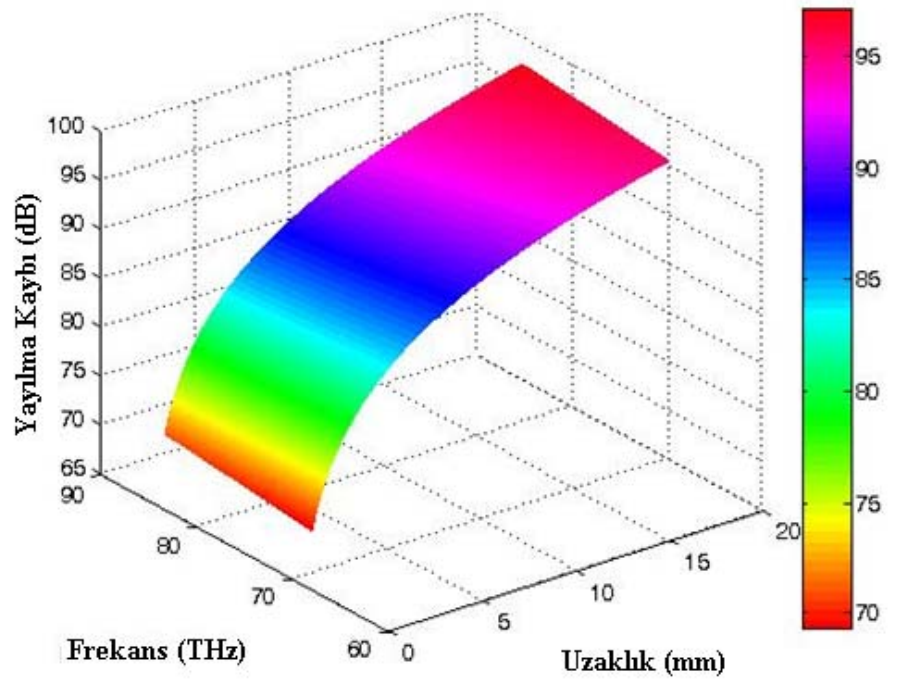


Şekil 4.16 Uzaklığa göre geçiş penceresinde farklı sıcaklıklardaki su ve petrol karışımında EM dalgaların soğurma kaybı 3 boyutlu gösterimi



Şekil 4.17 Uzaklığa göre geçiş penceresinde farklı sıcaklıklardaki su ve petrol karışımında EM dalgaların yol kaybı 3 boyutlu gösterimi

Ayrıca önerilen sistemin yayılım kaybı, ayrı bir grafikte incelenmiştir. Şekil 4.18 çalışılan geçiş penceresinde, 70 THz - 85 THz aralığındaki yayılım kaybını gösterir. 20 mm’ de yayılma kaybı 100 dB’ ye yaklaşır. Bu da yayılma kaybının yeraltının modellenmesinde önemli bir kayıp olduğunu gösterir. Yayılma kaybı, soğurma kaybı ile birleşerek yol kaybını artırır. 20 mm’ de yayılma kaybı 100 dB’ ye yaklaşırken, aynı uzaklıkta 80 santigrat derecede suyun soğurma kaybı 105 dB’ i geçer.



Şekil 4.18 Geçiş bandındaki yayılım kaybı

4.4 Toprak Ortamının Yüksek Bantlardaki Yol Kaybı Modeli

TDYA analizi için birçok formül geliştirilmiştir. Bunlardan başlıcaları, toprak ortamında dalgaların modellenmesidir. Bunu yapabilmek için çıkış noktası Friss denklemidir (Stuber G., 1996). Friss denklemi formül 4.7’ de gösterilmiştir. Boşluk ortamında P_t verici antenin taşıma gücünü, d uzaklığına bağlı olarak logaritmik olarak formül 4.7’ de gösterilmiştir. Denklemden P_t verici antenin taşıma gücü, G_r ve G_t alıcı ve verici antenlerin kazancı, L_o ise dB olarak boş alan yol kaybıdır.

$$P_r(dBm) = P_t(dBm) + G_r(dB) + G_t(dB) - L_o(dB) \quad (4.7)$$

L_o ise dB olarak boş alan yol kaybı formül 4.8 ile gösterilir.

$$L_o(dB) = 32.4 + 20 \log(d(km)) + 20 \log(f(MHz)) \quad (4.8)$$

Formül 4.7 deki Friss denklemi baz alınarak, boşluk büyüklüğü yerine hem boşluk hem de toprak ortamı ilave edilerek, formül, toprak ortamı için yeniden düzenlenmiştir. Bu şekilde topraktaki yol kaybı büyüklüğüne (L_p), toprağın yol kaybı (L_s) ve boş alan yol kaybı (L_o) ilave edilmiştir. Toprak ortamında EM dalgaları, hem toprak hem de boşlukta yayıldığı için kayba neden olurlar. Böylece, Friss denklemi geliştirilerek, petrol rezervuarlarında toprak yol kaybı modellenmesi için formül 4.9 oluşturulmuştur. Önemli başka bir nokta ise, petrol çıkarımı yerin derinliklerinde meydana geldiği için, oluşturulan formülden, havadan gelen sinyallerin ve topraktan yansıyan sinyallerin olmamasıdır.

$$P_r = P_t + G_r + G_t - L_p \longrightarrow L_p = L_o + L_s \quad (4.9)$$

Formül 4.9, toprak ortamı bileşenleri olan toprak ve boşluktaki soğurma kaybını göstermektedir.

$$L_s = L_\beta + L_\alpha \longrightarrow \begin{aligned} L_\beta &= 154 - 20 \log(f) + 20 \log(\beta) \\ L_\alpha &= 8.69 \alpha d \end{aligned} \quad (4.10)$$

Buna ek olarak petrol rezervuarlarında ki yol kaybı dalga boylarından da etkilenir. Dalga boyunun L_s ile olan bağlantısı ise formül 4.10' da, L_β topraktaki farklı dalga boyu sinyalleri nedeniyle oluşan zayıflama kaybı ile gösterilmiştir.

$$L_\beta = 20 \log\left(\frac{\lambda_0}{\lambda}\right) \quad (4.11)$$

Toprak düşünüldüğünde formül 4.11'de, dalga boyu $\lambda = 2\pi/\beta$ ve boş uzayda $\lambda_0 = c/f$ dir. Burada β faz kayma sabiti, c ise $3 \cdot 10^8$ 'dir. Bu değişkenler yerine konulduğunda formül 4.12 elde edilir.

$$L_\beta = 154 - 20 \log(f) + 20 \log(\beta) \quad (4.12)$$

Bunu dışında L_s , L_α ya da bağlıdır. α zayıflama sabitinden kaynaklanan iletim kaybıdır. Formül 4.13 şeklinde gösterilir.

$$L_\alpha = 8.69\alpha d \quad (4.13)$$

α ve β ise aşağıdaki formül 4.15'den elde edilir. Burada formüller Peplinski prensibine göre (Peplinski N. et al, 1995) toprak dielektrik özellikleri hesaplanmasına göre gerçekleştirilmiştir. L_s incelendiğinde L_β topraktaki farklı dalga boyu sinyalleri nedeniyle oluşan zayıflama kaybını gösterir. L_α ise α zayıflama sabitinden kaynaklanan iletim kaybıdır.

Toprakta ki boş alan yol kaybı eklenmiş toplam yol kaybı büyüklüğü (L_p) formül 4.14, (L_β) formül 4.12, (L_α) formül 4.13 ve formül 4.8 boş alan yol kaybının (L_o) toplamından elde edilir.

$$L_p = 6.4 + 20\log(d) + 20\log(\beta) + 8.69\alpha d \quad (4.14)$$

Sonuç olarak toprak ortamında yüksek bantlarda ki yol kaybı, denklem 4.9 kullanılarak, Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21' de gösterilmiştir.

Yukarıdaki formüller incelendiğinde, iki önemli parametre göze çarpmaktadır. Bunlar α zayıflama sabiti ve β faz kayma sabitidir. Formül 4.13'de d ' nin birimi metre, α zayıflama sabitinin birimi 1/m ve β faz kayma sabitinin birimi ise radyan/metre'dir. α ve β ise formül 4.15' den elde edilir.

$$\begin{aligned} \alpha &= 2\pi f \sqrt{\frac{\mu\epsilon'}{2} \left[1 + \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'} \right)^2 - 1 \right]} \\ \beta &= 2\pi f \sqrt{\frac{\mu\epsilon'}{2} \left[1 + \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'} \right)^2 + 1 \right]} \end{aligned} \quad (4.15)$$

Sırasıyla, toprak-su karışımı göreceli kompleks dielektrik sabiti ϵ' 'dir. m_v su hacmi fraksiyonu (veya karışımının hacimsel nem içeriği)'dir, ρ_b yığın yoğunluktur (santimetre küp başına gram), $\rho_s = 2.66 \text{ g/cm}^3$, katı toprak parçacıklarının özel yoğunluğu, $\alpha' = 0.65$.

$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon''$$

$$\epsilon' = 1.15 \left[1 + \frac{\rho_b}{\rho_s} (\epsilon_s') + m_v^{\beta'} \epsilon_{fw}' - m_v \right]^{1/\alpha'} - 0.68 \quad (4.16)$$

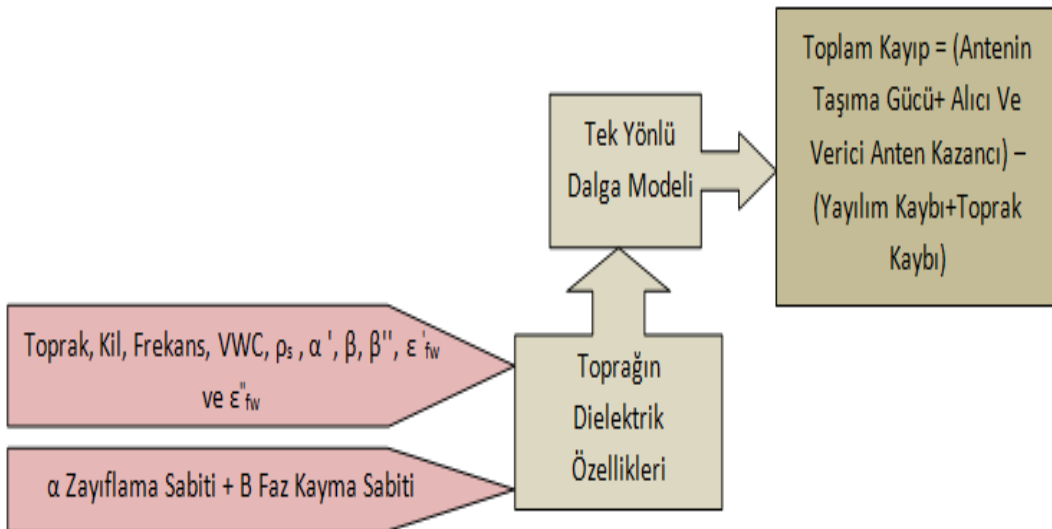
$$\epsilon'' = [m_v^{\beta'} \epsilon_{fw}'']^{1/\alpha'}$$

Deneyisel olarak belirlenmiş sabit ve β ve β'' ampirik sabitler, toprak tipine bağlı olarak belirlenir ve verilir. β ve β'' ampirik sabitleri formülünde “S” toprağı, “C” ise kili simgeler. ϵ_{fw}' ve ϵ_{fw}'' suyun bağıl dielektrik sabitinin gerçek ve hayali parçalarıdır.

$$\begin{aligned} \beta' &= 1.2748 - 0.519S - 0.152C \\ \beta'' &= 1.33797 - 0.603S - 0.166C \end{aligned} \quad (4.17)$$

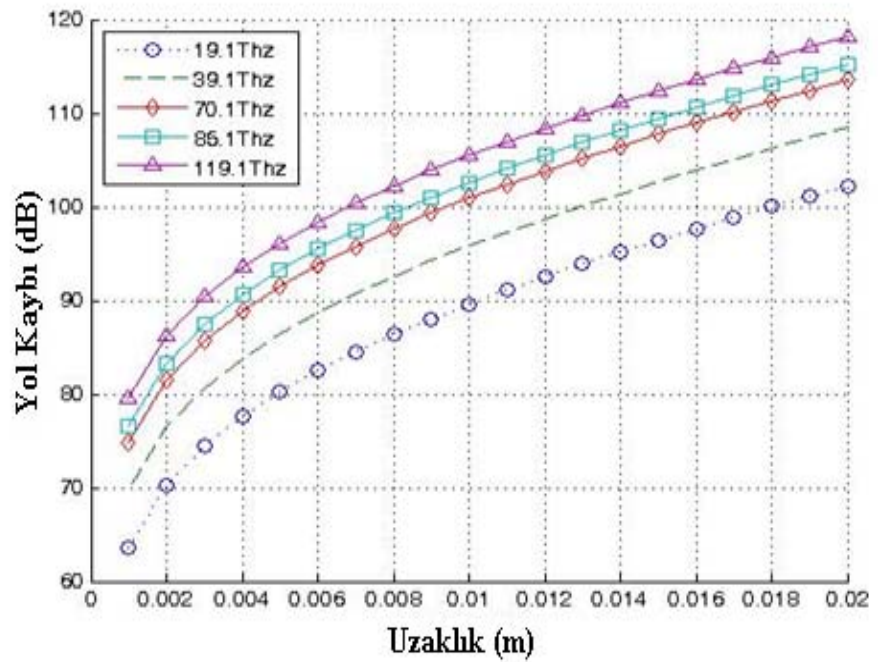
Peplinski prensibine göre topraktaki EM dalganın kompleks propogasyon sabiti: $\gamma = \alpha + j\beta$, $\omega = 2\pi f$ açısal frekans, μ manyetik geçirgenliği ve ϵ' ve ϵ'' dielektrik gerçek ve hayali parça sabitlerine göre değişir (Akyildiz I. F., et al., 2009).

Yukarıda bahsedilen denkliklerin genel şeması Şekil 4.19’da “toprak ortamının yüksek bantlardaki yol kaybı modeli adımları” olarak özetlenmiştir. Şekilde, yukarıda anlatılanlar özetlenerek, toplam kaybı etkileyen faktörler sırasıyla verilmiştir.



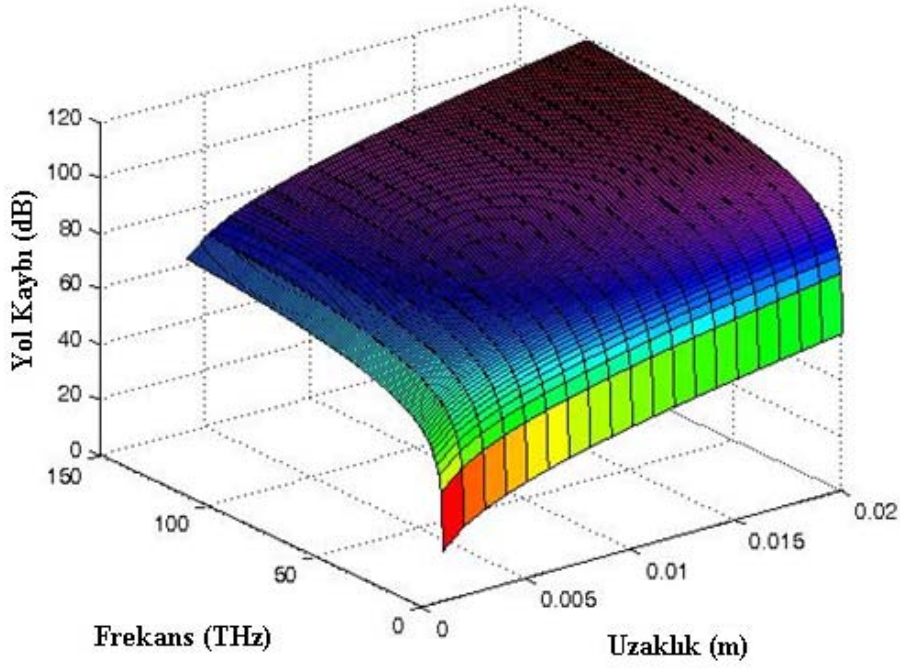
Şekil 4.19 Toprak ortamının yüksek bantlardaki yol kaybı modeli adımları

Formül 4.14 kullanılarak yol kaybının uzaklık ve mesafeye göre değişimi Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Şekil 4.20’ nin 3 boyutlu gösterimi Şekil 4.21’ de verilmiştir. Toprakta ki yol kaybı büyüklüğü (L_p), toprağın yol kaybı (L_s) ve boş alan yol kaybının (L_o) toplamı olarak formül 4.14’ den elde edilmiştir. L_s incelendiğinde L_p topraktaki farklı dalga boyu sinyalleri nedeniyle oluşan zayıflama kaybını gösterir. L_a ise α zayıflama sabitinden kaynaklanan iletim kaybıdır. α ve β ise parametreleri ise formül 4.15’den elde edilmiştir. Sırasıyla, toprak-su karışımı göreceli kompleks dielektrik sabiti ϵ' ’dir. m_v su hacmi fraksiyonudur (veya karışımının hacimsel nem içeriği), ρ_b yığın yoğunluktur (santimetre küp başına gram), $\rho_s = 2.66 \text{ g/cm}^3$, katı toprak parçacıklarının özel yoğunluğu, $\alpha' = 0.65$ deneysel olarak belirlenmiş sabit ve β ve β'' ampirik sabitler, toprak tipine bağlı olarak belirlenir ve verilir, β ve β'' ampirik sabitleri formülünde “S” toprağı, “C” ise kili simgeler. ϵ'_{fw} ve ϵ''_{fw} suyun bağıl dielektrik sabitinin gerçek ve hayali parçalarıdır. Peplinski prensibine göre topraktaki EM dalganın kompleks propogasyon sabiti: $\gamma = \alpha + j\beta$, $\omega = 2\pi f$ açısal frekans, μ manyetik geçirgenliği ve ϵ' ve ϵ'' dielektrik gerçek ve hayali parça sabitlerine göre değişir. Şekil 4.20’te toprakta ki yol kaybı büyüklüğü (L_p) dB olarak gösterilmiştir. Şekil 4.20 incelendiğinde beklenildiği gibi düğümler arasındaki uzaklık arttıkça kayıp artar. Aynı şekilde frekans da arttıkça yol kaybı artar.



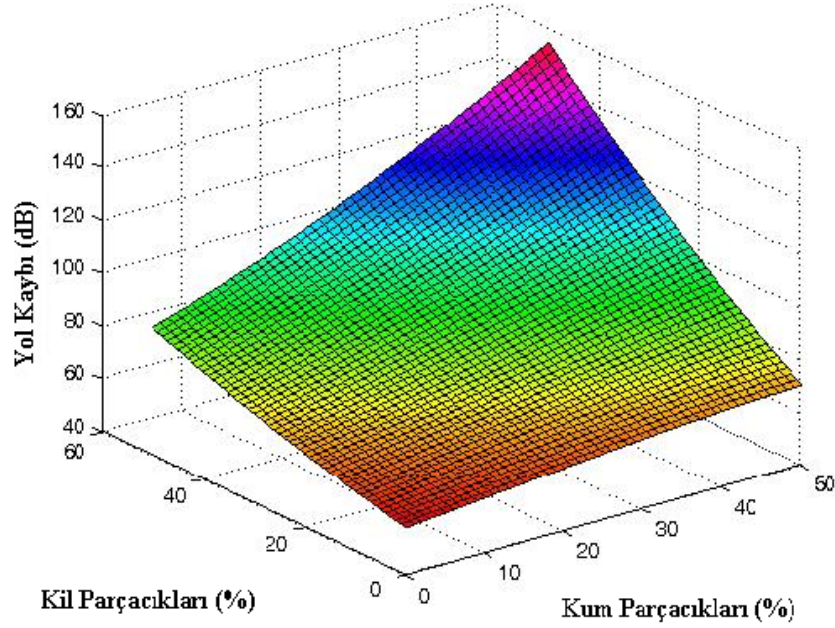
Şekil 4.20 Düşüm aralığına göre THz bantlarındaki yol kaybı

Şekil 4.21’ de düğümler arasındaki uzaklık ve frekans arttıkça, kayıp artması daha net bir şekilde görülür. 70 THz – 80 THz aralığında, 100 dB kayıplı bir iletişim sistemi düşünüldüğünde, toprak da 10 mm’lik bir iletişim mesafesi söz konusudur.



Şekil 4.21 Düğüm aralığına göre THz bantlarındaki yol kaybı 3 boyutlu görünümü

Şekil 4.22 de ise kil ve kum yüzdelere göre yol kaybı verilmiştir. Şekil 4.22 den faydalanarak, farklı kil ve kum yüzdelere sahip toprağın yol kaybı hesaplanır.



Şekil 4.22 Kil ve kum yüzdelere göre yol kaybı 3 boyutlu görünümü

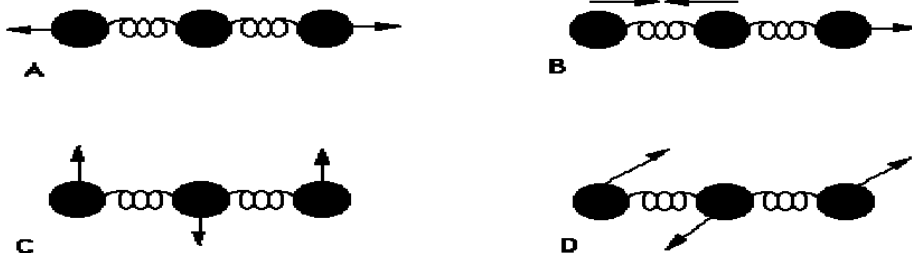
4.5 Karbondioksitin Yüksek Bantlardaki Yol Kaybı Modeli

Petrol çıkarımının üçüncü aşamasında yan sondajlardan periyodik olarak CO₂ ve su basılarak yeraltındaki petrol CO₂ ve suyun basıncı ile yer üstüne çıkarılır. Yer üstüne petrol, su ve CO₂ karışımı çıkar. Çıkan CO₂ ve su tekrar kullanılmak üzere petrolden ayrılarak kendi tanklarına gönderilir.

EM dalgaların, çalışmanın çeşitli bölümlerinde bahsedildiği gibi, özellikle THz bantlarında yayılımı zorlaşır. Ortamı oluşturan bileşenler gaz bile olsa bazı noktalarda soğurma kaybı çok büyük değerlere ulaşip sonuçları etkileyebilecek büyüklüklere gelebilir. THz Bantlarında her molekülün titreşimi farklı frekanslarda, farklı titreşimler gösterir. EM dalgalarının, tıpkı kalabalık bir ortamda hareket etmenin zor olduğu gibi, titreşimlerden zor geçeceği için soğurulmaları artmıştır. Bu bölümde karbondioksit bileşiğinin petrol çıkarımda, sistem modellemesine nasıl etkileyeceği şekilde genişleteceğiz.

CO₂, kovalent bağlı bir karbon ve iki oksijen atomundan oluşan moleküle sahip, normal koşullarda gaz halinde bulunan bileşiğin adıdır. Formülü CO₂ şeklinde olup molekül ağırlığı 44,009 g/mol' dür. CO₂ ise lineer bir moleküldür. 3N-5 (3 x 3 - 5 = 4) titreşime sahip 2N-4 (2 x 3 - 4 = 3) tanesi açılı bükülme, geri

kalan N-1 (3-2=1) tanesi de bağ gerilme titreşimidir. Bu titreşimler Şekil 4.23' de gösterilmiştir.



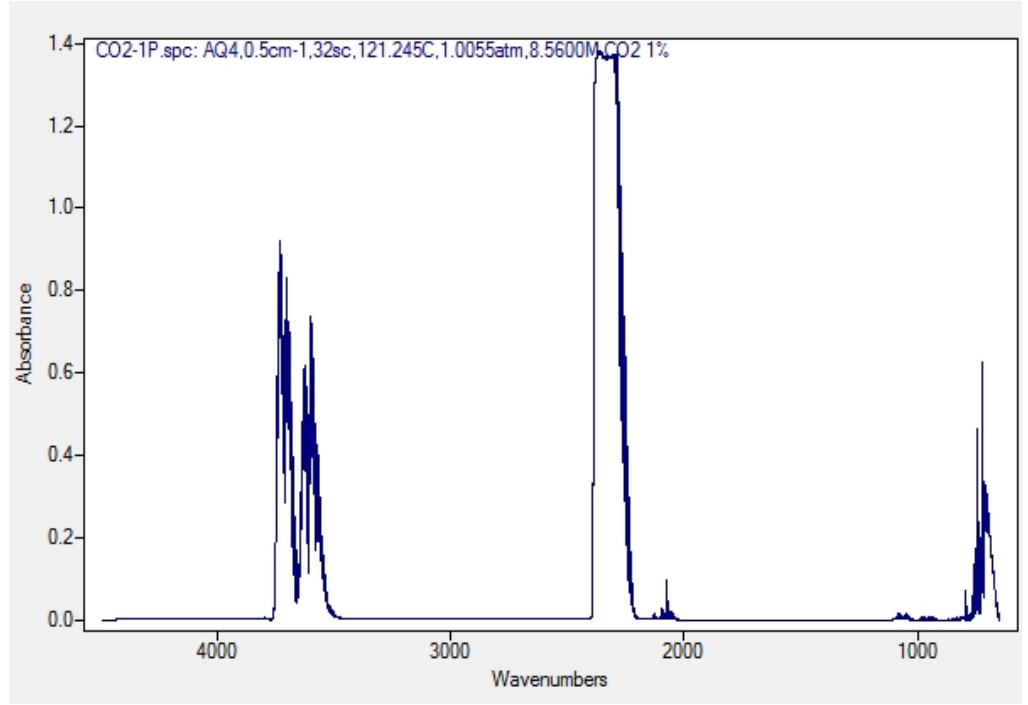
Şekil 4.23 CO₂ titreşim hareketleri

FTIR kızıl ötesi (IR) radyasyonun Emilimi ile kimyasal bağların titreşiminin ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Kızıl ötesi radyasyonu, kimyasal bağların gerilme, büzülme ve bükülme gibi farklı titreşim hareketleri ile emilir. Kızıl ötesi bölgesinde kimyasal bağların titreşimlerindeki değişim ve emilim özellikleri spektral piklerin oluşmasını sağlar. Her fonksiyonel grup kendine özgü titreşim sıklığına sahiptir ve her kızıl ötesi ışık dizisi özgüdür. Bu sebeple çalışılan bakterinin ve moleküllerin kızıl ötesi ışık dizisi parmak izi olarak kabul edilir (Naumann D. et. al., 1991). Bu çalışmada eFTIR programı kullanılarak, CO₂' de FTIR kızıl ötesi (IR) radyasyonun Emilimi, yani CO₂' nin moleküllerinin tıpkı petrolde yapıldığı gibi titreşimli ve titreşimsiz bölgeleri incelenmiştir.

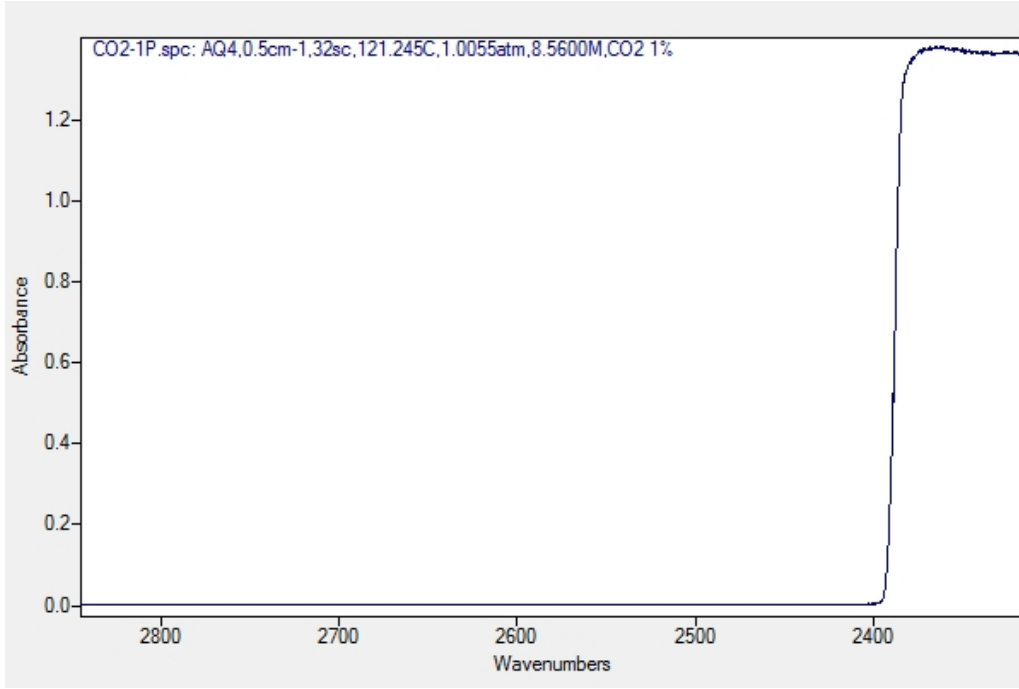
$$\text{Soğurma Kaybı} = 10 \cdot k_{\text{CO}_2} \cdot d \cdot \log_{10} e \quad [\text{dB}] \quad (4.18)$$

Formül 4.18' deki k_{CO_2} , CO₂'nin soğurma katsayısıdır. d ise mesafe, birimi ise metredir. Şekil 4.24 ve Şekil 4.25 <http://www.essentialftir.com/> sayfasından elde edilen eFTIR programı CO₂' nin kızıl ötesi spektroskopisi soğurma sonuçlarıdır. Bu sonuçlarda CO₂'nin mesafesi eFTIR programının atadığı uzaklık olan 8.56 metredir. 2349 cm⁻¹ (70,42 THz) ve 667 cm⁻¹ (20 THz) aralıklarında Emilimin arttığı gözlemlenir. 70,42 THz ile 72 THz aralığındaki artış çalışmanın geçiş penceresi aralığında (70 THz – 85 THz) olduğu için, sonuçları etkileyip etkilemeyeceğini incelemek gerekmektedir. Bu incelemeyi daha net yapabilmek için, Şekil 4.24 (Penrose, R., 2004) ve Şekil 4.25'deki (Penrose, R., 2004) eFTIR programından elde edilen Emilim kayıplarını, grafik tasarım programında tekrar yazarak belirli uzaklıklardaki geçiş penceresindeki soğurma kaybı özellikleri incelenmiştir (Akkas M. A. et al., 2012; Akkas M. A. et al., 2013).

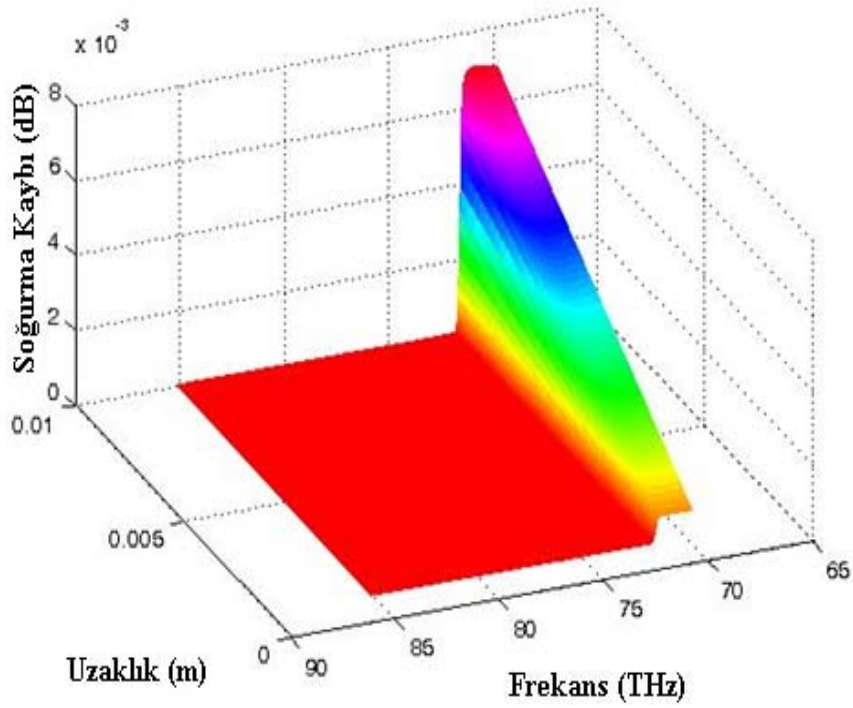
Şekil 4.26, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28 eFTIR programdan elde edilmiş verilerin, grafik tasarım yazılımı kullanarak geçiş penceresinde ki (70THz - 85 THz) davranışları incelenmiştir Bu sonuçlar, formül 4.18' i kullanarak, d mesafesini değiştirerek elde edilmiştir. Şekil 4.26' da geçiş penceresindeki CO₂ emiliminin yüksek olmadığını gösterir. Şekil 4.26' da geçiş penceresinde en yüksek kaybın 10 mm uzaklıkta $8 \cdot 10^{-3}$ dB olduğu gösterilmektedir. Bu kayıp Şekil 4.28' de geçiş penceresinde ki uzaklık 1 metreye çıkarılsa dahi ancak 0.7 dB 'ye kadar yükselmiştir ki, bu kayıp petrol araştırma tekniğinde su, petrol ve topraktaki kayıp arasında ihmal edilebilir. Sonuç olarak çalışma analizlerinde, bu küçük CO₂ kaybı ihmal edilerek, kanal modellemesi gerçekleştirilmiştir.



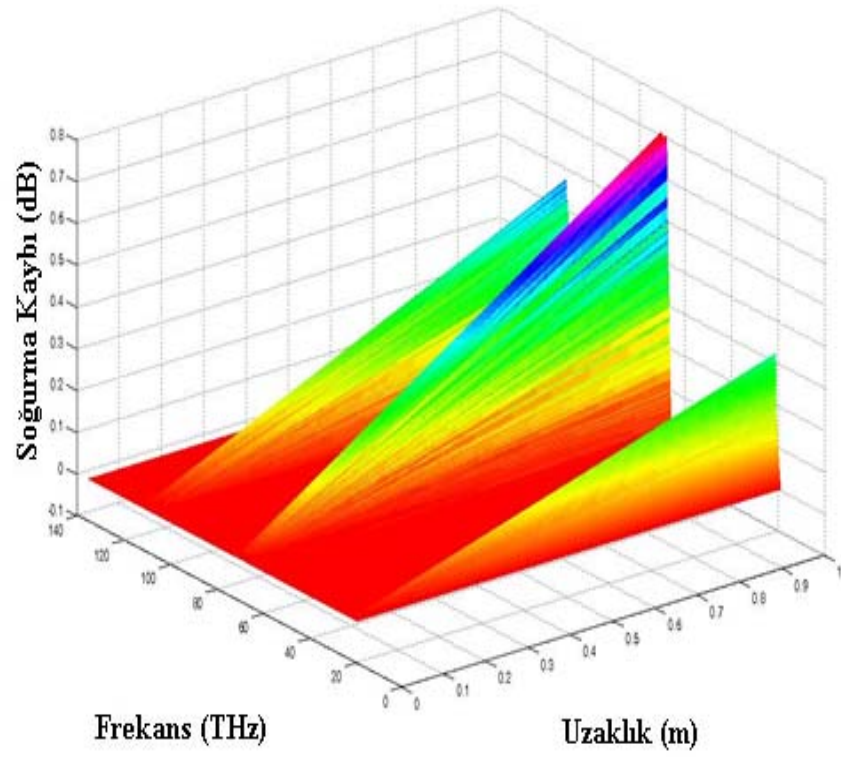
Şekil 4.24 CO₂'in kızıl ötesi spektroskopisi analiz sonucu



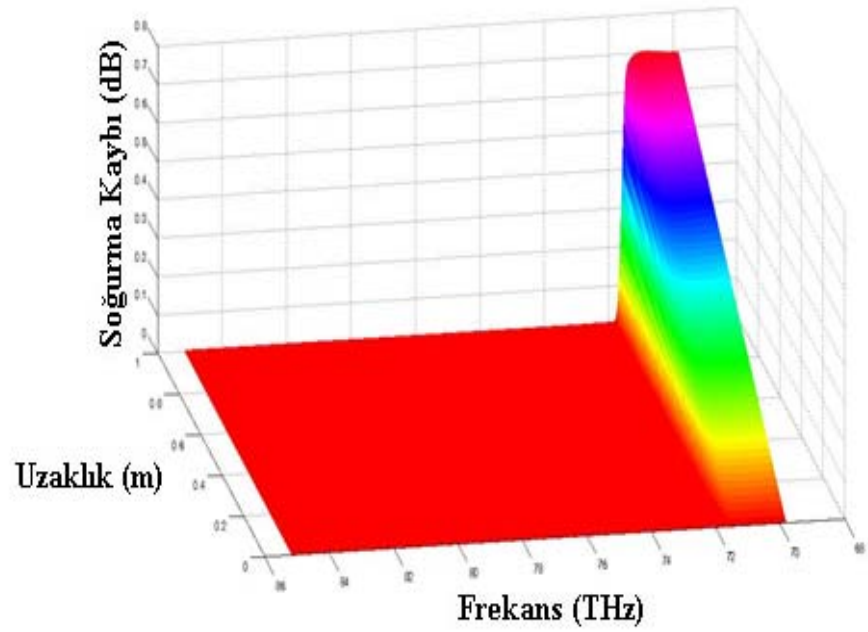
Şekil 4.25 Geçiş penceresinde CO₂'nin kızıl ötesi spektroskopisi analiz sonucu



Şekil 4.26 Geçiş penceresinde CO₂'in 10mm'ye kadar olan soğurma kaybı



Şekil 4.27 CO₂' nin 0-120 THz aralığında 1 metreye kadar olan soğurma kaybı



Şekil 4.28 Geçiş penceresinde CO₂' nin 1 metreye kadar olan soğurma kaybı

4.6 Tuzlu Suyun Yüksek Bantlardaki Yol Kaybı Modeli

Petrol çıkarımında bazı bölgelerde su yerine deniz suyu kullanılır. Çalışmanın bu bölümünde ise tuzlu suyun, çalışma sonuçlarını ne derecede etkilediği araştırılmıştır. Bu çalışmada Optikte Beer–Lambert yasasından faydalanılmıştır. Optikte Beer–Lambert yasası, ışığın soğurulmasını ışığın içinden geçtiği malzemenin özelliklerine bağlamaktadır. Beer-Lambert yasası, ışığın bir madde içindeki transmisyonu olan T ile soğurulma katsayısı α ve ışığın madde içinde gittiği uzaklık (yol uzunluğu) ℓ 'nin çarpımı arasında logaritmik bir ilişki olduğunu ifade eder. Soğurulma katsayısı da, soğuran maddenin molar absorptivitesi ε ile malzeme içindeki absorplayıcı cisimleri konsantrasyonu c 'nin çarpımı veya absorpsiyon arakesiti σ ile soğurucuların sayısal yoğunluğu N 'nin çarpımıdır.

Sıvılar için bu ilişkiler formül 4.19' daki şekilde yazılır:

$$T = \frac{I}{I_0} = 10^{-\alpha \ell} = 10^{-\varepsilon c \ell} \quad (4.19)$$

Gazlar için ise, spektroskopi ve spektrofotometri sahalarında, formül 4.20 şeklinde yazılır:

$$T = \frac{I}{I_0} = e^{-\alpha' \ell} = e^{-\sigma N \ell} \quad (4.20)$$

Burada I_0 ve I , sırasıyla, gelen ve geçen ışığın şiddetidir (veya güçtür). σ tek bir tanecik için ışık soğurma ara kesiti ve N , soğuran taneciklerin yoğunluğudur (hacim başına sayısıdır). 10 tabanlı logaritma ile e-tabanlı logaritma kullanımı arasındaki fark tamamen konvansiyona bağlıdır, birini öbürüne dönüştürmek için formül 4.21'teki gibi sadece bir sabit ile çarpım gerekmektedir.

$$\alpha' = \alpha \cdot \ln(10) \approx 2.303\alpha \quad (4.21)$$

Geçirim (transmisyon) soğurum cinsinden ifade edildiğinde, sıvılar için formül 4.22 tanımlanır:

$$A = -\log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (4.22)$$

Gazlar içinse formül 4.23 şeklinde tanımlanır:

$$A' = -\ln\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (4.23)$$

Bu demektir ki; bu iki durum için soğurma, formül 4.24 ve 4.25'a göre konsantrasyon (soğurucuların sayısal yoğunluğu) ile doğrusal olur:

$$A = \varepsilon l c = \alpha l \quad (4.24)$$

$$A' = \alpha l N = \alpha' l \quad (4.25)$$

Dolayısıyla, eğer yol uzunluğu ve molar soğurganlık (soğurma kesit alanı) biliniyorsa ve soğurma ölçülürse, soğurgan özdeğin (substans) derişimi hesaplanır.

Beer–Lambert yasası iki denklem ile ilişkilidir. Lambert yasası soğurmanın yol uzunluğu ile orantılıdır. Beer yasası ise soğurmanın soğurucu cisimlerin yoğunluğu ile orantılıdır (Ingle J. D. J. et al., 1988).

Eğer derişim, boyutsuz bir sayı olan mol kesiri olarak ifade edilirse, molar soğurganlık (ε), soğurma katsayısı ile aynı boyuta sahip olur, (yani uzunluğun tersi (örneğin m^{-1})). Ancak, eğer konsantrasyon birim hacim başına mol olarak ifade edilirse, molar soğurganlık (ε) $L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$ olarak kullanılır veya bazen SI birimleri olarak $m^2 \cdot mol^{-1}$ kullanılır.

Soğurma katsayısı α' , elektromanyetik dalgaların soğrulmasını betimleme yollarından biridir. Örneğin α' , kırınım katsayısını κ ve ışığın (boşluktaki) dalga boyu λ_0 cinsinden formül 4.26'daki gibi ifade edilir:

$$\alpha' = \frac{4\pi\kappa}{\lambda_0} \quad (4.26)$$

Soğurmanın birbiriyle orantılı iki tanımı olması (10 veya e tabanlı), gazlar için soğurum ve soğurma katsayısı, A' ve α' , sıvılar için olan A ve α değerlerinin ln 10 (yaklaşık 2.3) katı büyüktür.

$$\underbrace{\alpha' = \alpha \ln(10)}_{\alpha = \frac{4\pi\kappa}{\lambda_0 \cdot \ln(10)}} \quad \alpha' = \frac{4\pi\kappa}{\lambda_0} \quad (4.26)$$

$$(4.27)$$

Yukarıdaki formül, 4.21 ve 4.26 birleştirildiğinde, emme katsayısı α , reaktif indeksi κ , ve ışığın dalga boyu (serbest alan olarak) λ_0 cinsinden formül 4.27 şeklinde ifade edilir.

$$\underbrace{T = \frac{I}{I_0} = 10^{-\alpha l}}_{\substack{T = \frac{I}{I_0} = 10^{-\alpha l} \\ = \frac{I}{I_0} = 10^{-\frac{4\pi\kappa}{\lambda_0 \ln(10)} l} \\ = \frac{I}{I_0} = 10^{-5.4575 \cdot \frac{\kappa}{\lambda_0} l} \\ = \frac{I}{I_0} = -5.4575 \cdot \frac{\kappa}{\lambda_0} l \cdot 10 \log_{10} 10 \text{ (dB)} \\ = \frac{I}{I_0} = -54.575 \cdot \frac{\kappa}{\lambda_0} l \text{ (dB)}} \quad \alpha = \frac{4\pi\kappa}{\lambda_0 \ln(10)} \quad (4.27)$$

$$(4.28)$$

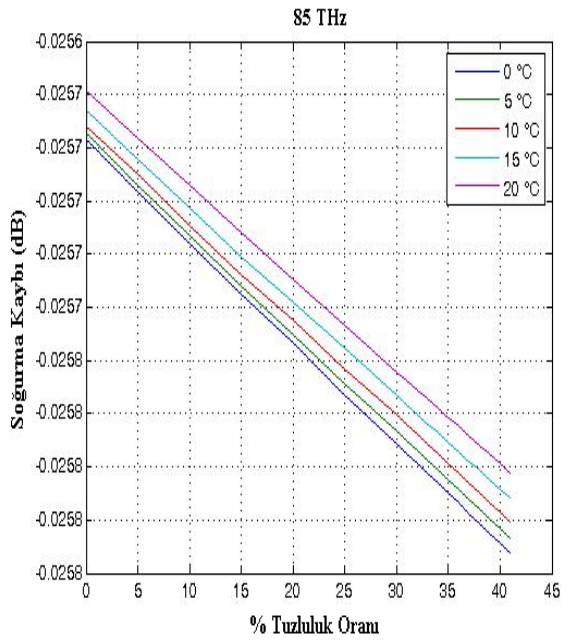
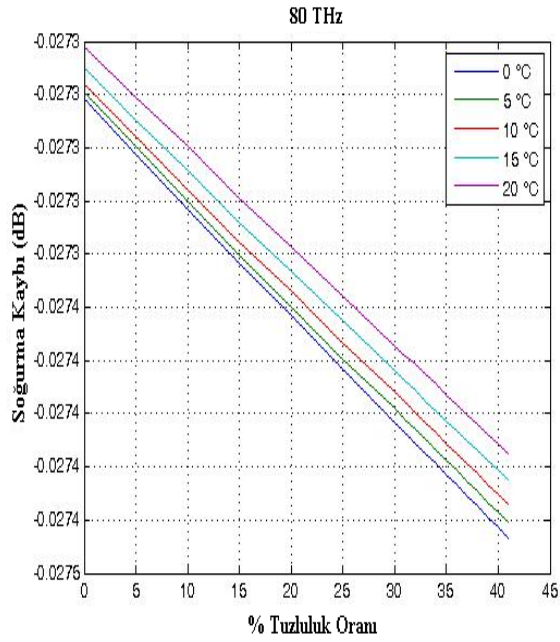
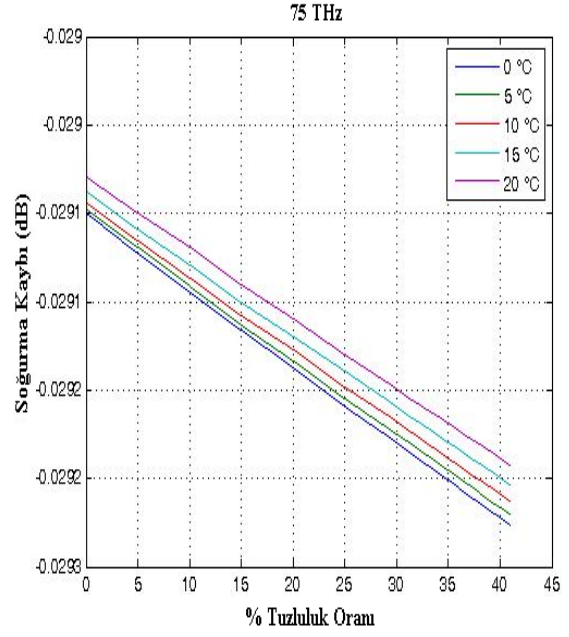
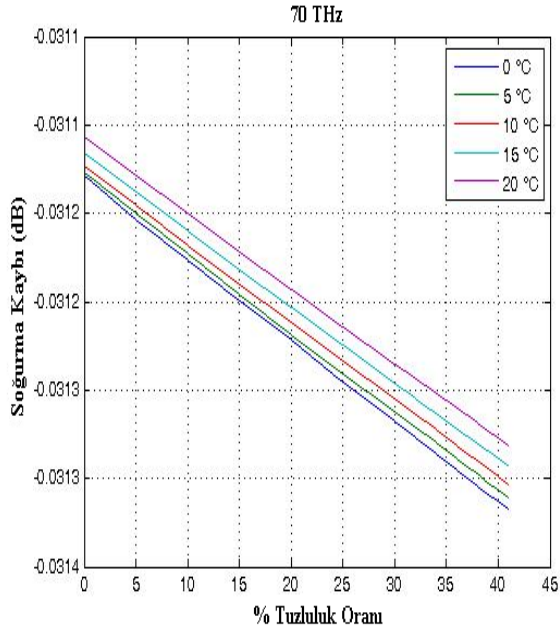
Bu yeni formüle, formül 4.27 denilirse ve formül 4.19' da emme katsayısını, α yerine koyup (Jornet J. M. et al., 2011) referanstaki 11. denklemindeki gibi sonuç dB ye çevrilirse, denklem 4.28 elde edilmektedir (Akkas M. A. et al., 2012; Akkas M. A. et al., 2013).

Tablo 4.2 25 °C ve %41 tuzluluk oranına kadar olan suyun kırılma katsayıları

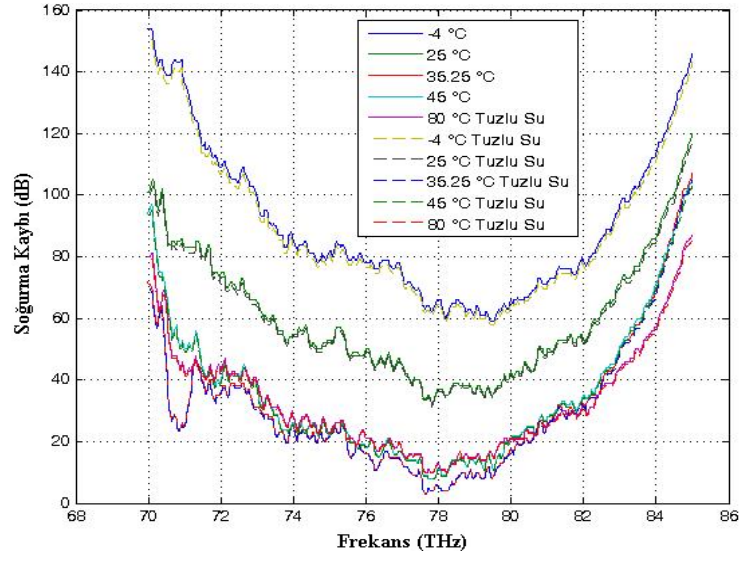
Tuzluluk Oranı(%)	Suyun Kırılma Katsayısı											
	Sıcaklık											
	0		5		10		15		20		25	
0	1.3	3395	1.3	3385	1.3	3370	1.3	3340	1.3	3300	1.3	3250
5		3500		3485		3465		3435		3395		3345
10		3600		3585		3565		3530		3485		3435
15		3700		3685		3660		3625		3580		3525
20		3795		3780		3750		3715		3670		3620
25		3895		3875		3845		3805		3760		3710
30		3991		3966		3935		3898		3851		3798
31		4011		3985		3954		3916		3869		3816
32		4030		4004		3973		3934		3886		3834
33		4049		4023		3992		3953		3904		3851
34		4068		4042		4011		3971		3922		3868
35		4088		4061		4030		3990		3940		3886
36		4107		4080		4049		4008		3958		3904
37		4127		4099		4068		4026		3976		3922
38		4146		4118		4086		4044		3994		3940
39		4166		4139		4105		4062		4012		3958
40		4185		4157		4124		4080		4031		3976
41		4204		4176		4143		4098		4049		3994

Formül 4.28' e reaktif indeks (Tilton L. W., et al.,1938; Dorsey E.,1940) değerleri yerleştirildiğinde, Şekil 4.29' daki grafikler elde edilir. Bu grafiklerde gözlemlendiği gibi tuzluluk oranı arttıkça emilim azalmıştır, fakat bu emilimin azalma oranı %41 ile %0 tuz oranı olan suda en fazla %0.55 civarındadır. Bu emilmedeki azalma farklı makalelerde de Şekil 4.33'de gösterildiği gibi farklı bant aralıklarında farklı metotlarla da ispat edilmiştir (Yamauchi S., et al., 2010; Haltrin V. I., et al., 2010).

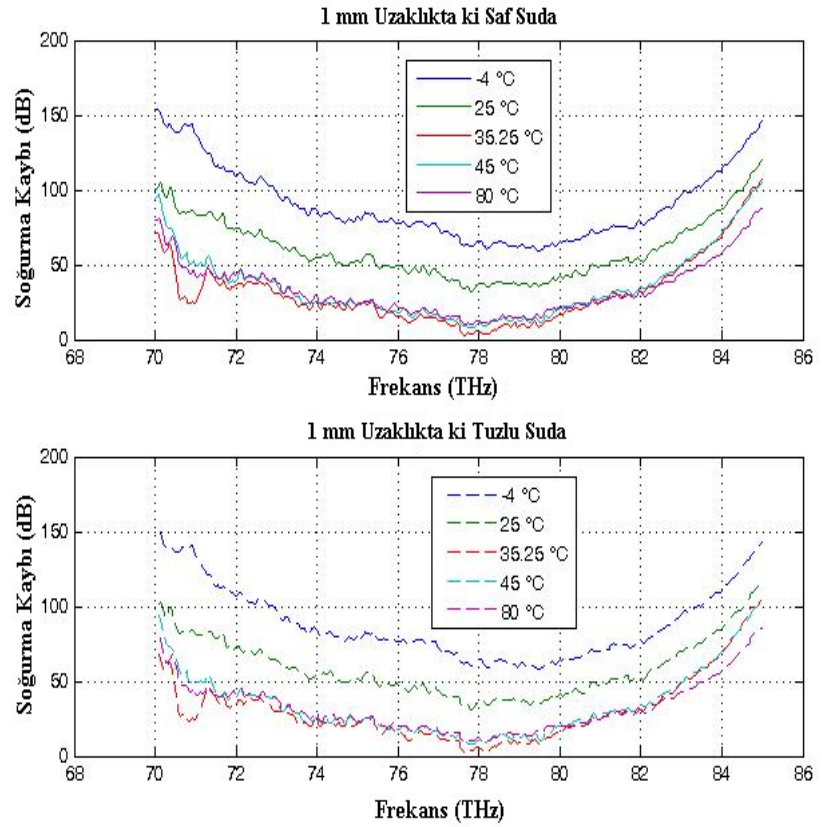
%0.55 farklılık, önceden elde edilen saf su denklemiyle birleştirildiğinde Şekil 4.29 elde edilir. Bu formül ve denklemlerden de anlaşıldığı gibi EM dalgaların yayılımının asıl düşmanı sudur. Suya karışan tuz gibi maddeler emilimi az da olsa azaltarak, EM dalgalarının daha rahat ilerlemesini sağlamaktadır. Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32 ise Şekil 4.29' un daha net anlaşılabilmesi için verilmiş tuzlu su ile saf su arasındaki bağlantıyı gösteren, elde edilen benzer grafiklerdir. Bu grafiklerde elde edilen değerler THz ortamında kırınım katsayısına göre değişen değerlerdir. Gerçek değerler, THz bandında tuzlu suyun ϵ' ve ϵ'' dielektrik gerçek ve hayali parça sabitlerine göre hesaplanabilir.



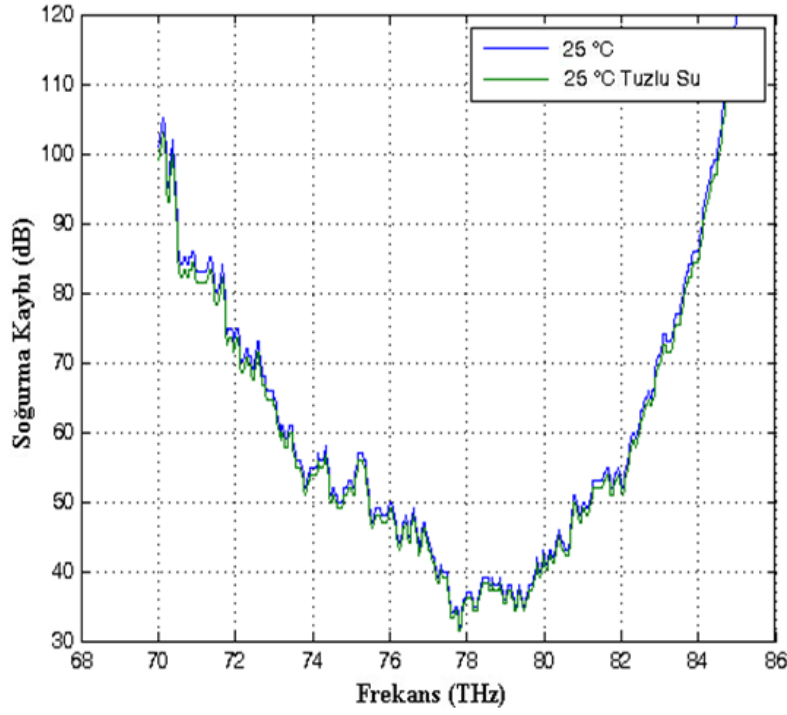
Şekil 4.29 1 cm kalınlığındaki %41 tuzluluk oranına sahip farklı sıcaklıklardaki suyun geçiş penceresindeki emilme katsayısı



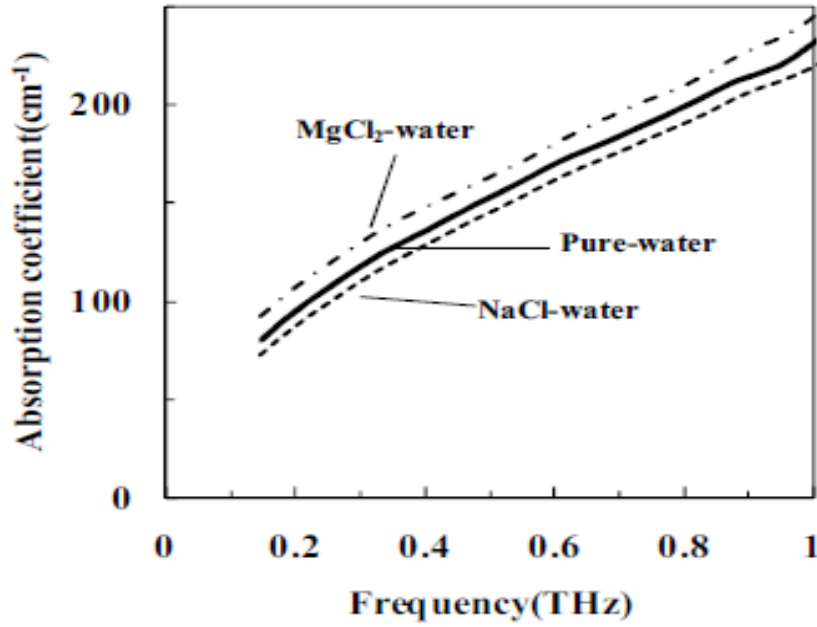
Şekil 4.30 1 mm kalınlığında farklı sıcaklıklarda saf ve %41 tuzluluk oranına sahip tuzlu suyun geçiş penceresindeki emilme katsayısının aynı grafik üstünde gösterimi



Şekil 4.31 1 mm kalınlığında farklı sıcaklıklarda saf ve %41 tuzluluk oranına sahip tuzlu suyun geçiş penceresindeki emilme katsayısının farklı grafik üstünde gösterimi



Şekil 4.32 1 mm kalınlığında 25 °C sıcaklığında saf ve %41 tuzluluk oranına sahip tuzlu suyun geçiş penceresindeki emilme katsayısının aynı grafik üstünde gösterimi



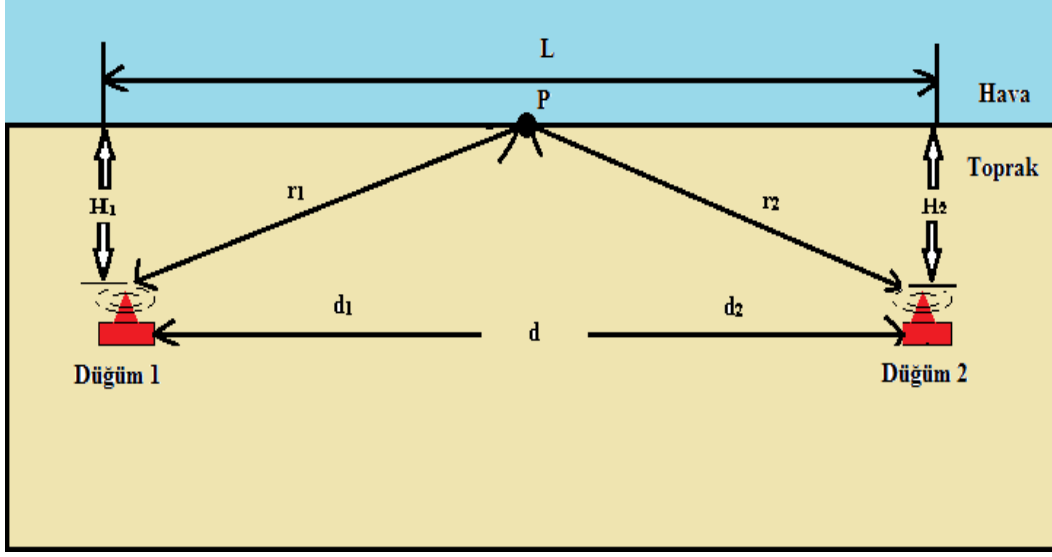
Şekil 4.33 Tuzun (Na-Cl) emilim katsayısının frekansa göre değişimi

5. KANAL MODELİNİN TANIMLANMASI

5.1 Karışık Yeraltı Petrol Yataklarının Kanal Modeli (KYPY-KM)

Bu bölümde, petrol/su, karbondioksit ve toprak da oluşan yol kaybı modellemelerine göre TDYA' ların BHO' ları, “Karışık Yeraltı Petrol Yataklarının Kanal Modelinde” (KYPO-KM) geçiş penceresinde (70THz-85THz) incelenmektedir. Yeraltı haberleşmesinde EM dalgaları, petrol/su, karbondioksit ve toprak gibi yeraltında bulunan farklı bileşenlerden etkilenir. Bu bileşenler çeşitlilik gösterir. Bu yüzden EM dalgaları, yeraltı çalışma alanlarından ilerlerken rastgele bir saçınım yapar. Bu saçınım esnasında EM dalgalar yansıma değil, aynı zamanda kırılmaya da maruz kalır, çünkü yeraltı homojen bir yapıya sahip değildir. Yeraltı, taşlar, çakıllar, bitki kökleri, fosiller, petrol, su vb. oluşmaktadır. Yeraltının heterojen yapısından dolayı mevcut modellemeye ek olarak çok yönlü zayıflama da (multi-path fading) düşünülmektedir. Bu duruma çözüm getirmek için yeraltında yapılmış farklı yöntemler ve öneriler veren çalışmalar incelenmiştir (Akyildiz I. F., et al., 2009; Vuran M. C. et al., 2010; Li L. et al., 2010).

Yeraltı kanalında EM dalgalar tek yönlü ve çift yönlü hareket etmektedirler. Tek yönlü iletişim detaylı olarak Bölüm 4.4' de, toprak ortamının yüksek bantlardaki yol kaybı modeli kısmında incelenmektedir. Eğer düğümler yeryüzü yüzeyine yakın bir bölgeye 2 metreden fazla olmamak şartı ile gömülürse, EM dalgaların bir kısmı yeryüzünden geri yansır ki, bu hareket, EM dalgaların çift yönlü bir hareketidir. İki yönlü yansıma Şekil 5.1' de gösterilmiştir. İki yönlü yansımada ilk yön, iki düğüm arasındaki yöndür. İkinci yön ise toprak yüzeyinden geri yansıyan EM dalgasının yönüdür. Alınan sinyalin büyük ve önemli bir kısmını, tek yönlü EM dalgası belirler, fakat ikinci yönden gelen EM dalgasında eğer düğüm yüzeye yakın bir noktaya gömülürse sonuçları etkilemektedir. 2 metreden derin kısımlarda ise EM dalgaları tek yönlü bir hareket sergiler. Tek yönlü hareket Şekil 5.12' de sadece d yönündedir.



Şekil 5.1 2 yönlü kanal modeli

2 yönlü kanal modelin de, toplam yol kaybı toprak yüzeyinden gelen yansımada düşünülerek, formül 5.1’ deki gibi ifade edilir. Burada L_p tek yönden kaynaklanan yol kaybını simgelerken, V_{dB} ise ikinci yansımadan kaynaklanan zayıflama katsayısıdır. $V_{dB} = 10 \log V$ ’dir.

$$L_f(dB) = L_p(dB) - V_{dB} \quad (5.1)$$

Düğüm 1 ve 2 derinliğinde, yatay olarak L uzunluğunda ve bir birlerine d uzaklığında Şekil 5.1’ deki gibi yeraltına gömülürse, V zayıflama (Cheng D. K., 1989) referansındaki elektrik alan denklemi kullanılarak, formül 5.2 şeklinde hesaplanır.

$$V^2(d_{sand}) = 1 + (\Gamma \cdot \exp(-\alpha \Delta r))^2 - 2\Gamma \exp(-\alpha \Delta r) \times \cos(\pi - (\phi - \frac{2\pi f}{\lambda} \Delta(2))) \quad (5.2)$$

Buradaki V, ikinci yansımadan kaynaklanan zayıflama katsayısıdır. Γ ve ϕ sırasıyla P noktasındaki yansıma katsayısının genliği ve fazı, $\Delta(r)$ ise formül 5.3 şeklindedir.

$$\Delta r = r - d \quad (5.3)$$

İki yol arasındaki fark ve α zayıflama sabitinden kaynaklanan iletim kaybı formül 5.4' te verilmiştir. α zayıflama sabitinden bölüm 4.5' te toprak ortamının nasıl çıkarıldığı anlatılmıştır.

$$\alpha = 2\pi f \sqrt{\frac{\mu \epsilon'}{2} \left[1 + \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'} \right)^2 - 1 \right]} \quad (5.4)$$

Yer üstü durumları için, çok yönlü zayıflama metodu incelenmiştir (Stuber G., 1996). Yer üstünde EM dalgalar ilerlerken, çeşitli objelerden dolayı yansıma ve kırılmaya maruz kalmaktadır. Bu yüzden alınan sinyalin fazı ve genliği zamanla rastgele bir davranış sergiler. Bu tür saçınımlar, Rayleigh veya log-normal olasılık dağılımı ile gösterilir.

Yeraltı haberleşmesinde zamana göre rastgele hava yansıması gerçekleşmez, çünkü yeraltının yapısı düşünüldüğünde alıcı ve verici düğümler arasında nispeten istikrarlı bir ortam vardır. Bu yüzden kanal, her iki tarafta da zamana göre sabittir. Fakat yeraltında taşlar, çakıllar, bitki kökleri, fosiller, petrol, su vb. yüzünden tıpkı havadaki gibi EM dalgaları yansıma ve kırılmaya maruz kalır. Bu yüzden süre dışında değişen özellikler haricinde, yeraltı, tıpkı hava ortamında olduğu gibi çok yönlü dağılım özelliğine sahiptir.

Sabit uzaklıkta olan iki düğüm düşünüldüğünde, alınan sinyallerin seviyesi farklı yansılardan dolayı her konumda farklılık gösterir. Sonuç olarak rastgelelik düğümlerin zamanlarından değil, konumlarından kaynaklanır. Bu nedenle modelde Rayleigh dağılımı kullanılabilir. Rayleigh dağılımında, tek fark, olasılık dağılımının zamana göre değil, konuma göre değişmesidir.

Yeraltı kanalında tek yönlü ve çift yönlü dağılımda, sinyalin zarfı, bağımsız Rayleigh Dağılımı olan, rastgele değişkenleri X_i , $i \in \{1,2\}$ şeklinde tanımlanırlar. Tek yönlü iletişimde alınan enerjinin bit başına düşen güç spektral yoğunluğu formül 5.5 şeklinde gösterilmektedir.

$$r = X^2 \cdot E_b / N_o \quad (5.5)$$

Bu formülün dağılımı formül 5.6 şeklinde gösterilir.

$$f(r) = \frac{1}{r_0} \exp\left(\frac{r}{r_0}\right) \quad (5.6)$$

5.6 denkleminde r_0 'ın eşitliği denklem 5.7' te gösterilir.

$$r_0 = E[X^2]SGO \quad (5.7)$$

Çift yönlü iletişimde ise alıcı sinyali, iki bağımsız Rayleigh zayıflama sinyali olarak düşünülmüştür. Bu varsayım (Chitre M. et. al, 2004) makalesinde ki yeraltı su haberleşme sonuçlarına göre yapılmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada da ek bir zayıflama modeli düşünülmelidir. Bu şekilde çift yönlü Rayleigh modellemesi çıkarılır. Rayleigh kanalında X parametresi (Cheng D. K., 1989) makalesindeki elektrik alan formülünden bulunarak elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} X^2 = & X_1^2 + \left(X_2 \cdot \Gamma \cdot \exp(-\alpha \Delta(r)) \right)^2 \\ & - 2 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \Gamma \cdot \exp(-\alpha \Delta(r)) \\ & \times \cos \left(\pi - \left(\phi - \frac{2\pi}{\lambda} \Delta(r) \right) \right) \end{aligned} \quad (5.8)$$

Denklem 5.8' de X_1 ve X_2 çift yönlü iletişimde iki bağımsız, Rayleigh dağılımının rastgele değişkenleridir. Γ ve ϕ ise yansıma katsayısının genliği ve faz açısıdır. $\Delta(r) = r-d$ olarak iki yolun farkıdır. α ise zayıflama sabitini göstermektedir (Akyildiz I. F., et al., 2009).

Yukarıda bahsedilen modele göre, TDYA' ların BHO' larının karakteri incelenmiştir. Sonuçlar BHO' ların birçok parametreye bağlı olduğunu gösterir. BHO' ları iletişim sistemlerinde ana olarak 3 temel faktör etkiler. Bunlar; 1) Kanal Modeli, 2) Sistem tarafından kullanılan modülasyon türü, 3) Sinyal Gürültü Oranının (SGO)' dur.

Bu bölümdeki açıklamalara dayanarak, konum bağımlı çift yönlü Rayleigh kanal modeli bazında, ideal olan, en uygun kanal modeli geliştirilmiştir. Toprak ortamında en ideal ve en uzun mesafeyi faz kaydırmalı anahtarlama olan 2PSK modülasyonu verir. Çünkü 2PSK modülasyon türü gereği, gürültüden en az etkilenir. Bu nedenle, bu çalışmanın analizlerinde, gürültüden en az etkilenen,

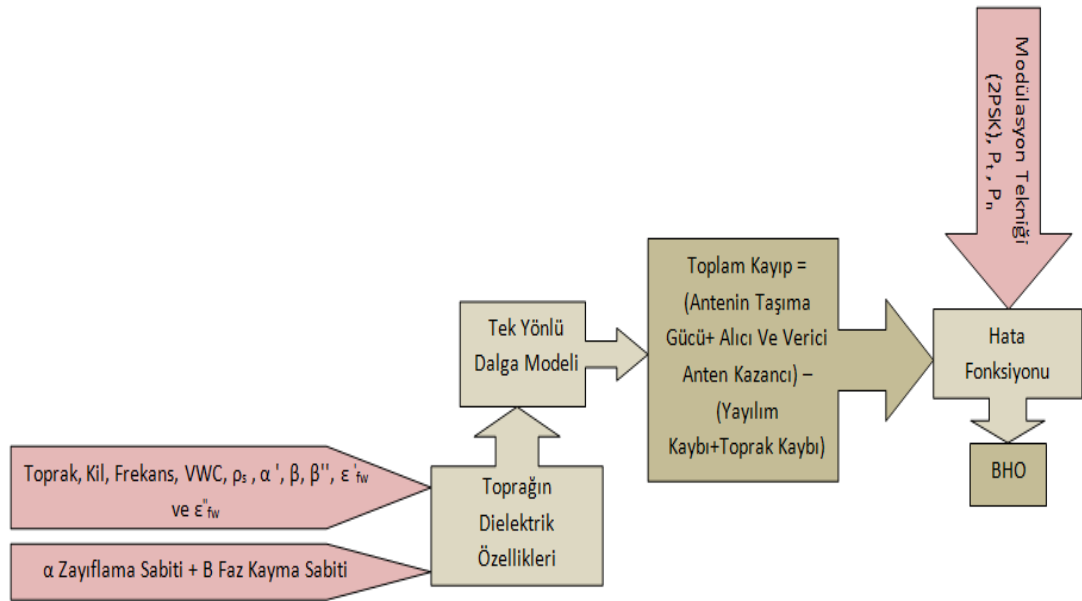
2PSK kullanılmıştır. BHO, yukarıda anlatılanlara dayanarak, formül 5.9 şeklinde ifade edilmiştir.

$$BHO = 0.5 \operatorname{erfc}(\sqrt{SGO}) \quad (5.9)$$

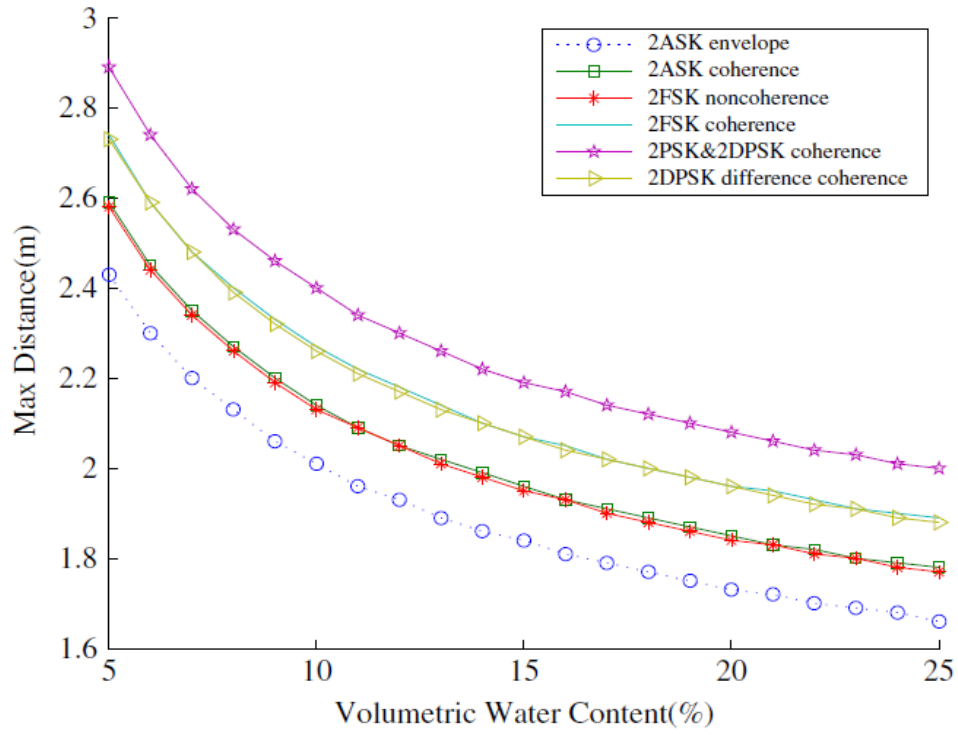
Burada $\operatorname{erfc}(\cdot)$ hata fonksiyon, SGO ise sinyal gürültü oranıdır.

$$SGO = P_t - L_f - P_n \quad (5.10)$$

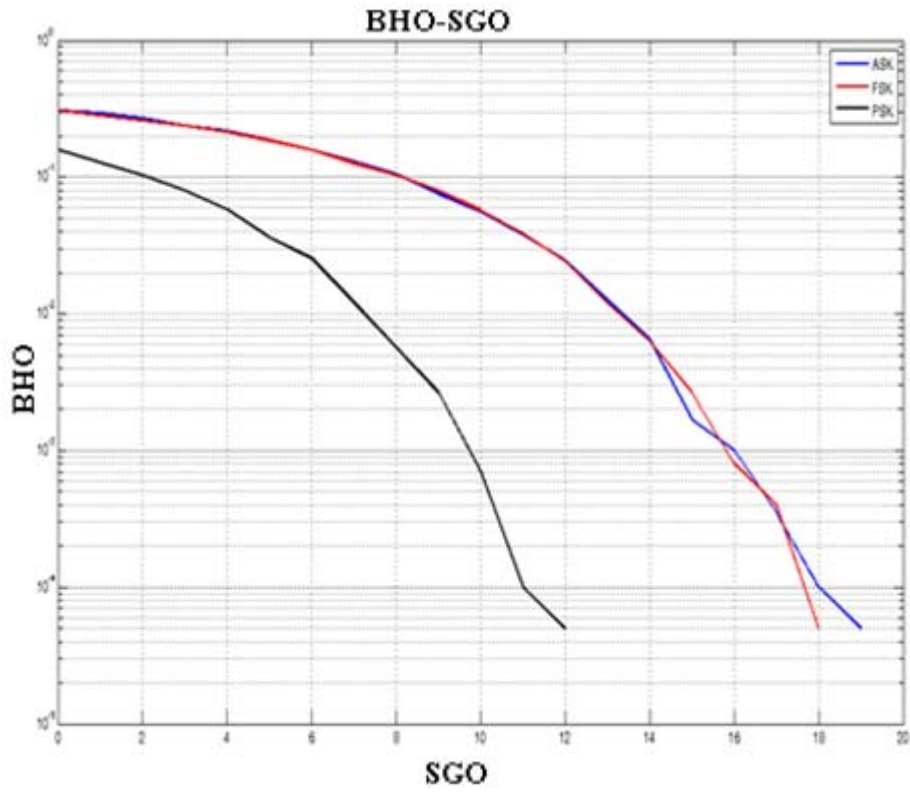
Kanalda iletişimi etkileyen SGO, formül 5.10 ile gösterilmiştir. Burada P_t iletim gücü, L_f toplam yol kaybı, P_n ise gürültünün enerjisidir. Yapılan hesaplarda, P_t iletim gücü 10-30 dBm arasında değişmektedir. P_n ise -103 dBm varsayılmıştır (Akyildiz I. F., et al., 2009). Toprak ortamının yüksek bantlardaki yol kaybı modellemesine hata fonksiyonu eklenmiş hali, Şekil 5.2’ de gösterilmiştir. Şekil 5.3’ de (Akyildiz I. F., et al., 2009; Li L., et al., 2007; Vuran M. C., et al., 2010) de, söylenildiği gibi toprak ortamında en ideal ve en uzun mesafeyi faz kaydırmalı anahtarlama (PSK) modülasyonu vermektedir. Şekil 5.4 (Bajaj N., 2001) ve 5.5’ de (Haykin S., 2001) PSK modülasyonun en iyi BHO değerini verdiğini gösteren grafiklerdir. Şekil 5.5 ise PSK modülasyon türlerinden en az BHO’ yu, 2PSK’ nın verdiğini gösteren bir grafikdir.



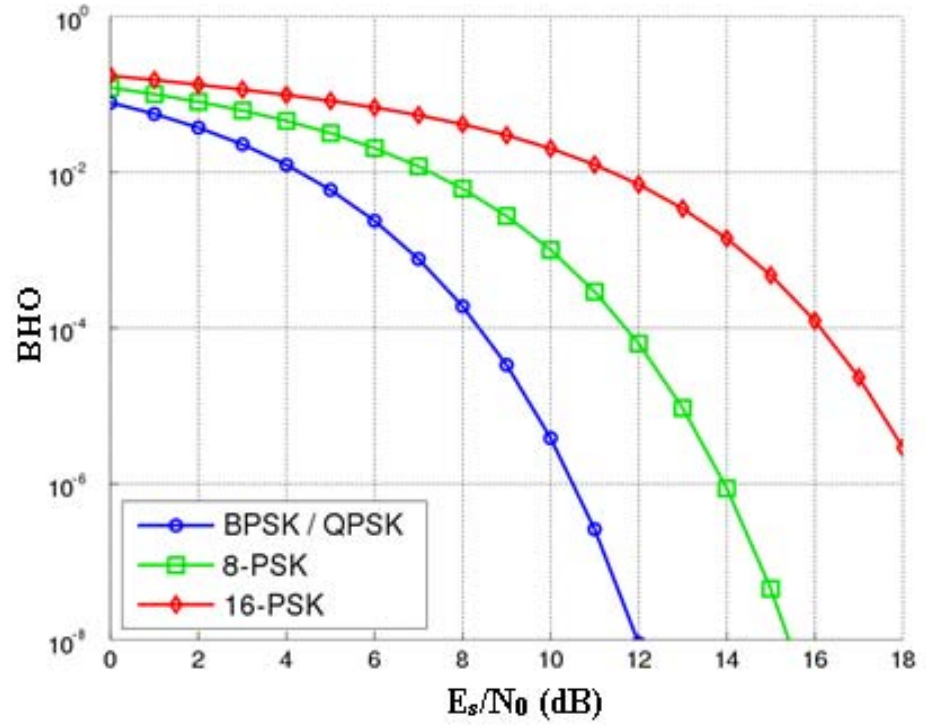
Şekil 5.2 Toprak ortamının yüksek bantlardaki yol kaybı modellemesine hata fonksiyonu eklenmiş hali



Şekil 5.3 Farklı modülasyon türleri kullanılarak, farklı hacimsel su içeriği olan topraktaki iki sensor arasındaki iletişim mesafesi

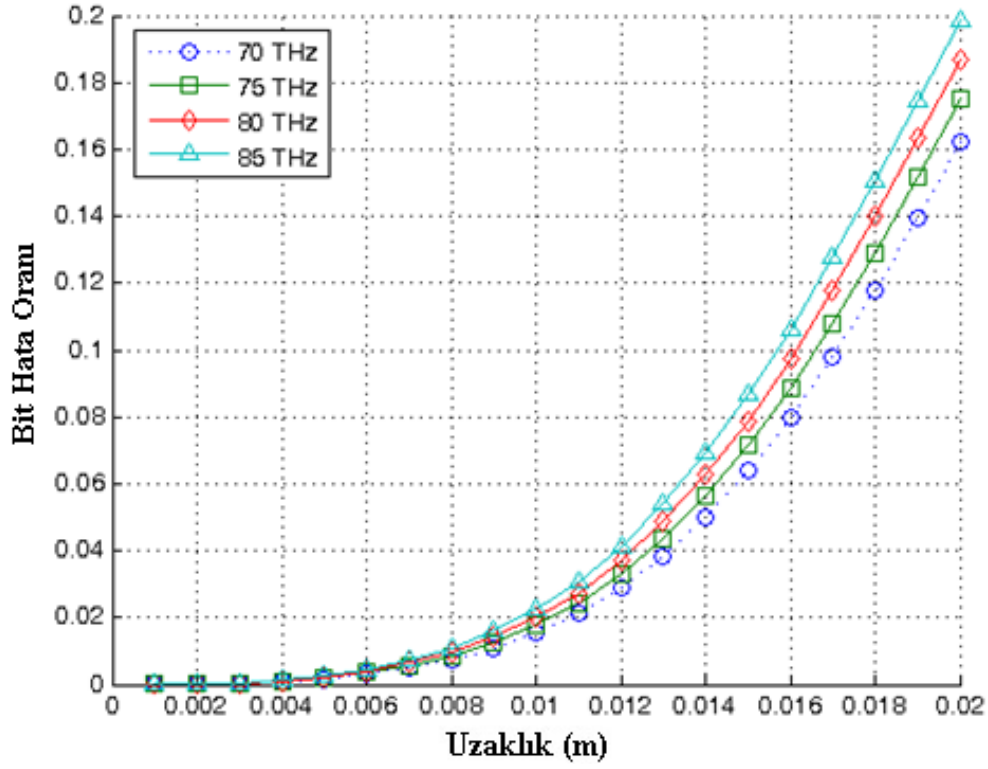


Şekil 5.4 ASK, FSK ve PSK modülasyon şekillerinde SGO değeri



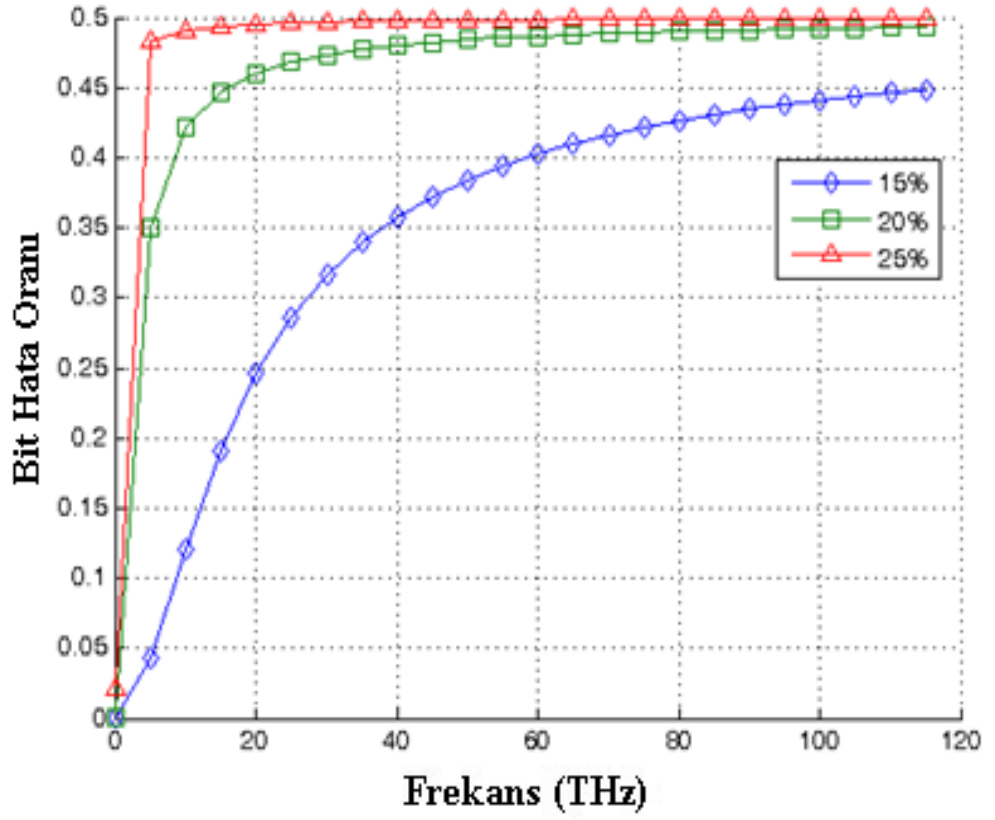
Şekil 5.5 Farklı PSK modülasyon şekillerinde SGO değeri

Şekil 5.6, yukarıda bahsedilen kanal modeli kullanılarak, toprakta 70-85 THz geçiş penceresi aralığındaki mesafeye göre BHO'yu göstermektedir. Bu orantının 1 cm'yi geçtiğinde, eğrilerin daha da çok birbirinden ayrıldığı gözlemlenmektedir. 85 THz'de, 0.02 metrede BHO 0,2 iken, bu oran 70 THz'de 0,16'ya kadar düşmüştür.



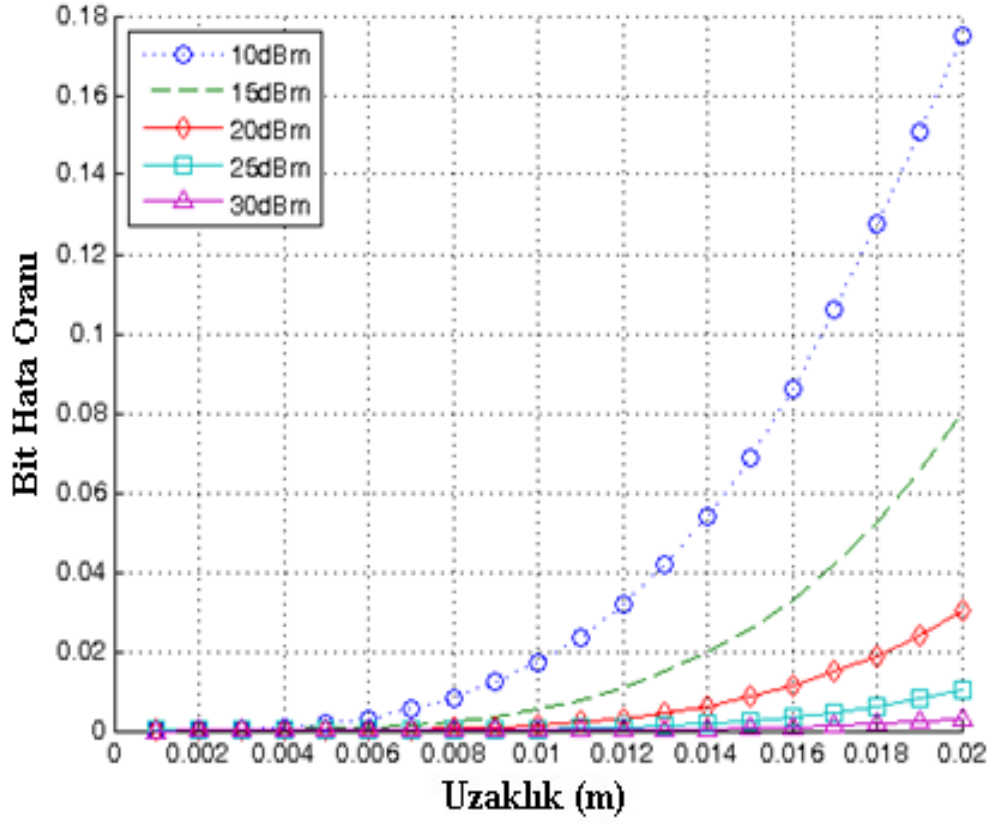
Şekil 5.6 Toprakta 70-85 THz geçiş penceresi aralığındaki mesafeye göre BHO

Şekil 5.7' de ise topraktaki %15, %20 ve % 25 hacimsel su içeriğine göre BHO' ların frekansa göre değişimi gösterilmiştir. Hacimsel su içeriği arttıkça, EM dalgaların iletimi daha da zorlaşır. Hacimsel su içeriği, EM dalgaların yayılmasında asıl düşmandır. Şekil 5.7' de 80 THz'de %15 hacimsel su içeriğinde BHO 0,43 iken, bu oran %25 hacimsel su içeriğinin de 0,5' e kadar çıkmaktadır.



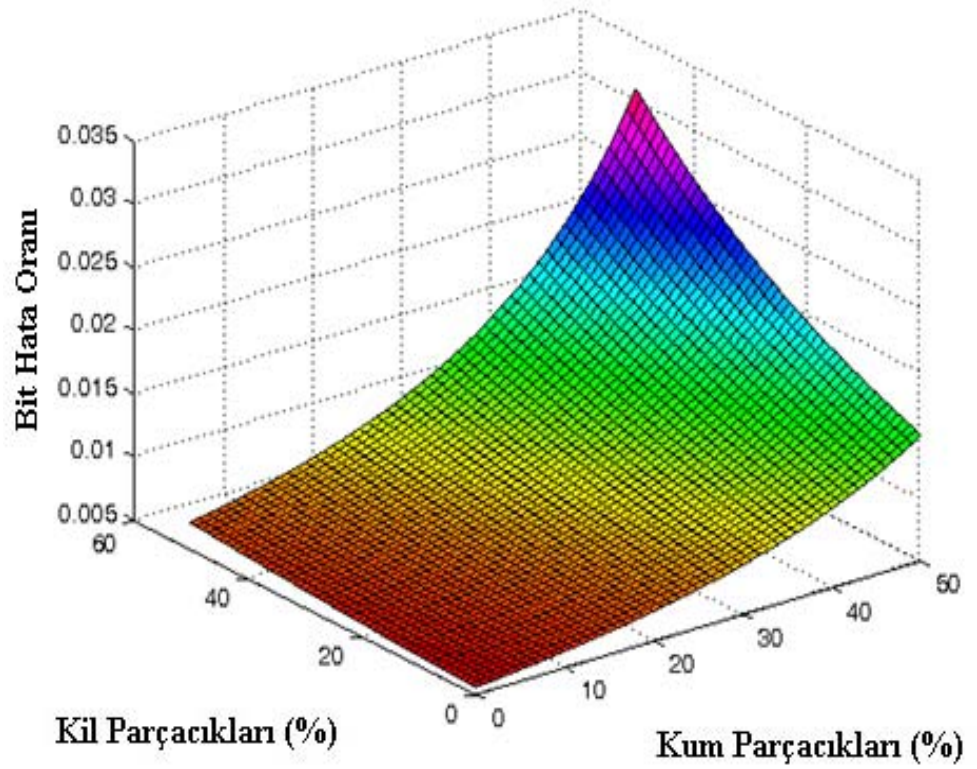
Şekil 5.7 Topraktaki %15, %20 ve % 25 hacimsel su içeriğine göre BHO'ların frekansa göre değişimi

Şekil 5.8' de ise 10-30 dBm iletişim gücüne göre, 80 THz frekansında toprak ortamında mesafeye göre BHO' yu vermektedir. İletişim gücü önemli bir parametredir. 2 cm' de 30 dBm iletişim gücünde hata oranı 0' a yakınken, 10 dBm iletişim gücünde bu oran 0.18' e kadar çıkmıştır. Bu yüzden TDYA' ların gelişmesi, batarya teknolojisinin gelişmesiyle de doğrudan orantılıdır.



Şekil 5.8 10-30 dBm iletişim gücüne göre, 80 THz frekansında toprak ortamında mesafeye göre BHO

Şekil 5.9' da ise 80 THz' de kil ve kum parçacıkları yüzdesine göre BHO gösterilmektedir. Bu grafikten faydalanarak, farklı yapılarıdaki toprağın BHO değerlerine ulaşılabilir. Örneğin %20 kil, %40 kum içeren bir toprakta, sarı kısım, 0,01 BHO' ya sahiptir.



Şekil 5.9 80 THz’ de kil ve kum parçacıkları yüzdesine göre BHO

5.2 Su/Petrol, Karbondioksit ve Toprak Yüzdelere Bağlı Olarak Bit Hata Oranları (BHO)

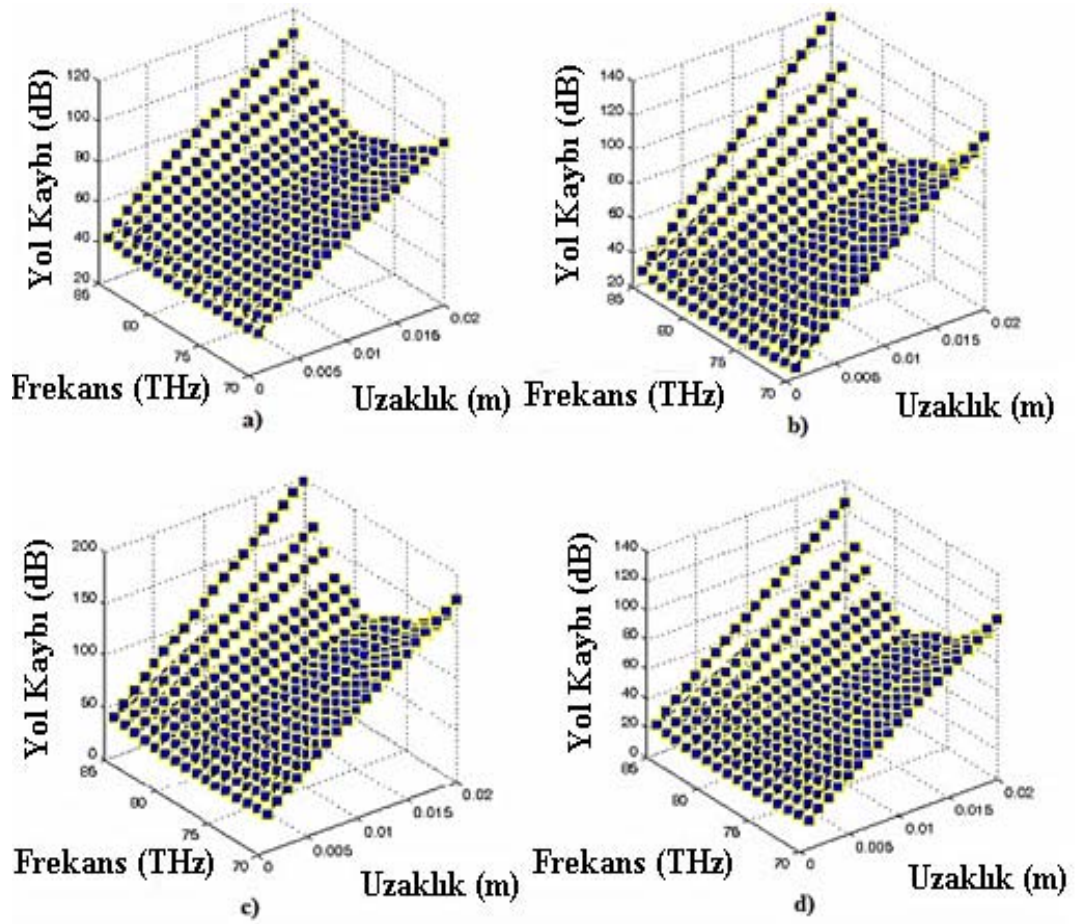
Dördüncü bölümde anlatılan yöntemleri kullanarak, su/petrol, karbondioksit ve toprak yüzdelere bağlı olarak yüksek bantlarda yol kaybı modeli oluşturulmuştur. Bu model ortamında, farklı bileşenlerin etkisi göz önünde bulundurulmuştur. Petrol çıkartılırken, su ve petrol karışık durumdadır. Bu yüzden her iki ortamdaki ortam kaybı dikkate alınmıştır. Toprak ve karbondioksit yol kaybı değerleri ise dördüncü bölümden alınmıştır. Su/petrol, karbondioksit ve toprak yüzdelere bağlı olarak yüksek bantlarda yol kaybı modeli, formül 5.11’ de verilmiştir. Formül 5.11’ de kullanılan tüm değişkenlerin tanımı ve bağlantıları dördüncü bölümde verilmektedir.

$$\begin{aligned}
\text{Toplam Yol Kaybı} = & \%X \bullet \left[\overbrace{10\log_{10} e \cdot k_{\text{petrol}} \cdot d + 10\log_{10} e \cdot k_{\text{su}} \cdot d + 20\log_{10} \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot f \cdot d}{c} \right)}^{\text{Su / Petrol Yol Kaybı}} \right] [dB] \\
& + \%X \bullet \left[\overbrace{6.4 + 20\log(d) + 20\log(\beta) + 8.69\alpha d}^{\text{Toprak Yol Kaybı}} \right] [dB] \\
& + \%X \bullet \left[\overbrace{10\log_{10} e \cdot k_{\text{CO}_2} \cdot d}^{\text{Karbon dioksit Yol Kaybı}} \right] [dB]
\end{aligned}
\tag{5.11}$$

Bölüm 5.1’ de yeraltı ortamı göz önünde bulundurularak iki kablosuz düğüm arasındaki iletişimde BHO’ nun nasıl belirleneceği incelenmiştir. Fakat yeraltı petrol kaynaklarının karışım yüzdeleri farklılıklar göstermektedir ve buna göre BHO değişmektedir. Petrol kaynaklarında bulunan yeraltı ortamı incelendiğinde, en çok rastlanan dört farklı karışım ortaya çıkmaktadır (Tzimas E., et al., 2010; Green D.W. et al., 2003; Jayasekera A.J., 2002). Bunlar;

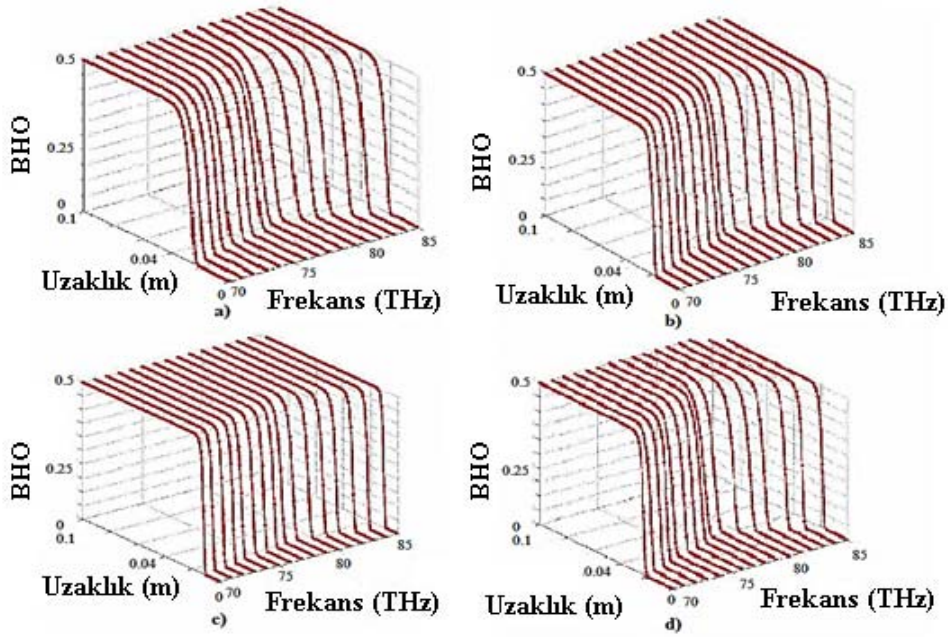
- a) %10 su/petrol + % 50 CO₂ + %40 Toprak,
- b) %20 su/petrol + % 70 CO₂ + %10 Toprak,
- c) %30 su/petrol + % 60 CO₂ + %10 Toprak,
- d) %20 su/petrol + %80 Toprak.

Bu farklı ortamlar için, bu çalışmada dört farklı inceleme yapılmıştır. Şekil 5.10’ da, A, B, C ve D karışımlarının yol kaybı verilmektedir. Bu karışımlardan en fazla yol kaybı, karışım C’ de gözlemlenmektedir. Karışım A ve B’ nin minimum yol kaybı 80 dBm’ e kadar düşerken, bu düşüş karışım D’ de 60 dBm’ e kadar dayanmaktadır. Fakat karışım C’ de yol kaybı 100 dBm civarındadır. Bunun sebebi C karışımında artan sıvı miktarıdır.



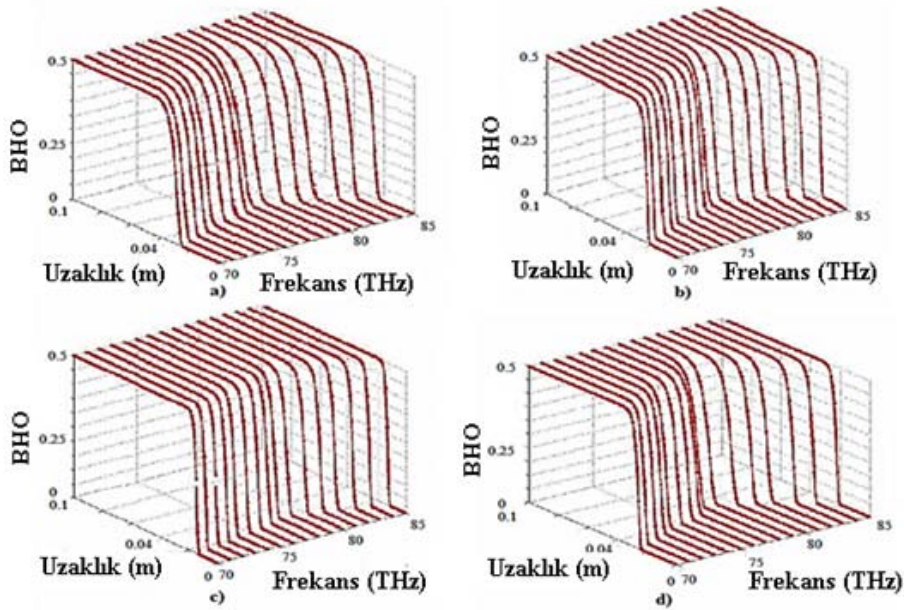
Şekil 5.10 A,B,C ve D karışımların yol kaybı

Yol kaybı, Şekil 5.11 ve 5.12' de verilen bit hata oranını da doğrudan etkilemektedir. Şekil 5.11 incelendiğinde, Şekil A, B, C ve D karışımlarının 10 dBm iletim gücünde, mesafe ve frekansa göre BHO' larını vermektedir. Karışım A, B ve D yaklaşık aynı değerleri yakalarken, karışım C' nin bunlara karşın daha az bir mesafesi olduğu gözlemlenmektedir. Bunun sebebi, daha önceden de anlatıldığı gibi sıvı miktarının artışıdır. EM dalgalarının, özellikle THz bantlarda, sıvılarda yayılımı zorlaşmaktadır. THz Bantlarında her molekülün titreşimi farklı frekanslarda, farklı titreşimler göstermektedir. EM dalgalarının, tıpkı kalabalık bir ortamda hareket etmenin zor olduğu gibi, titreşimlerden zor geçeceği için soğrulmaları artmıştır.



Şekil 5.11 A, B, C ve D karışımların 10 dBm iletim gücünde, mesafe ve frekansa göre BHO

Şekil 5.12 ise A,B,C ve D karışımlarının yol kayıplarında, 30 dBm iletim gücünde ki eğrilerini göstermektedir. Beklenildiği gibi iletim gücü arttıkça mesafede artmıştır ve bu artış 1 cm' den fazladır.



Şekil 5.12 A, B, C ve D karışımların 30 dBm iletim gücünde, mesafe ve frekansa göre BHO

Şekil 5.10, Şekil 5.11, Şekil 5.12 incelendiğinde 70 THz - 80 THz aralığında, en iyi aralığı 78 THz, 79 THz ve 80 THz vermektedir. Bu yüzden bundan sonraki grafiklerde özellikle bu bantlar dikkate alınmıştır. Şekil 5.11 ve 5.12’de görüldüğü gibi, karışım A, B ve D’ de 4 cm’ ye kadar neredeyse hatasız iletişim sağlanmıştır. Bu mesafe karışım C’ de ise 2 cm’ ye kadar düşmektedir. THz mertebelerinde kullanılacak olan yeni iletişim ve hata bulma metotları sayesinde bu değerler daha da iyileştirilebilir.

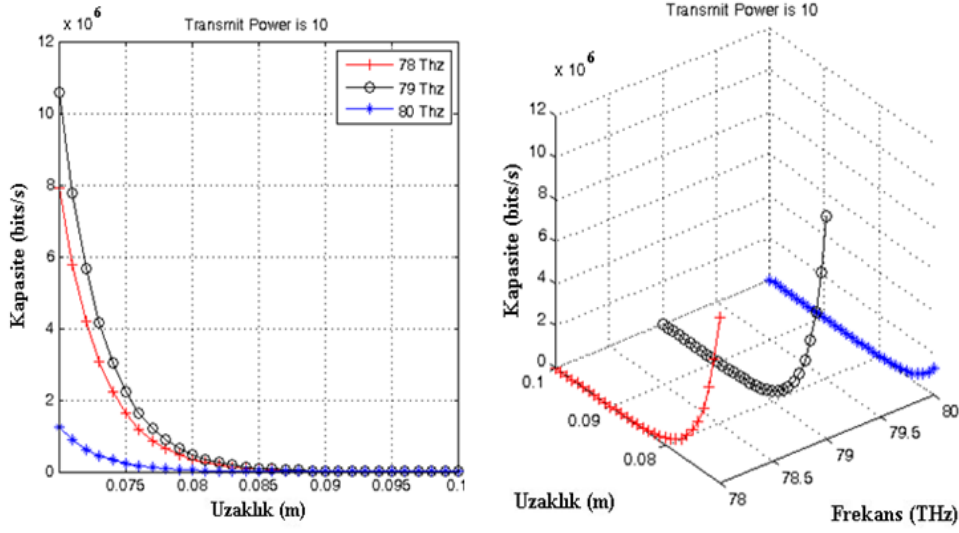
5.3 Kanal Kapasitesi

Bu bölümde kanal kapasitesi hesaplanmıştır, kanal kapasitesi hesaplanması için de formül 5.12 klasik kanal kapasitesi formülü kullanılmıştır. Kanal kapasite denkleminde yararlanarak, C kanal kapasitesini belirleyen temel etkenlerin kanal bant genişliği B, gürültü gücü N ve sinyal gücü P_t , yol kaybı L_p olduğu görülmektedir. Burada P_t ile B arasında bir ödünleşin olduğu da görülür ki bu iki etmen birbirini dengelemektedir. Sinyal gücünün artışı, açıkça kanal kapasitesini artırır; çünkü daha çok güç olduğundan, birbirinden uzak daha büyük bir sayıda giriş seviyeleri seçilebilir. Bu yüzden her iletişimde daha fazla bilgi biti gönderilebilir. Ayrıca gücün bir fonksiyonu olarak kapasitedeki artış logaritmiktir ve yavaştır. Nedeni ise, gürültüye karşı daha kesin bir seviyeye izin verebilen, Δ uzaklıklı daha fazla giriş seviyesi iletmek istenildiğinde ve giriş seviyeleri arttırılmak istenildiğinde, mevcut durumdaki seviyelerden daha yüksek genlikli yeni seviyeler oluşturmak zorunda kalınmasıdır. Bu da daha fazla güce gereksinim anlamına gelecektir. Bu gerçeğe rağmen kanal kapasitesi, giriş gücünü arttırarak, istenilen herhangi bir değere kadar yükseltilebilir.

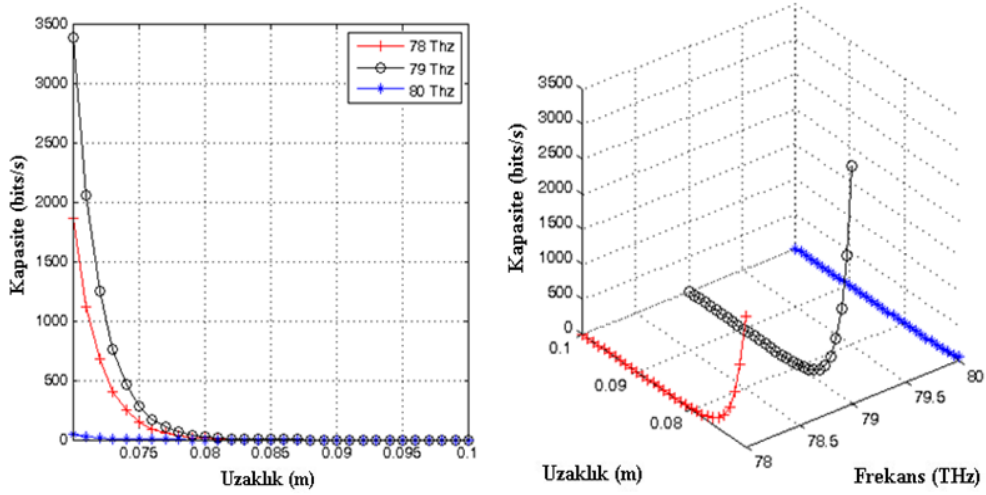
$$C=B \cdot \log \left(1 + \frac{P_t \cdot L_p}{N} \right) \quad (5.12)$$

Ayrıca kanala bant genişliğinin etkisi oldukça farklıdır. Bant genişliği B’ nin arttırılması birbirine zıt düşen iki etkiye sebep olmaktadır. Birincisi, daha yüksek bir bant genişliği, kanalda her saniyede daha çok örnekleme gönderilmesidir ve bu yüzden yayın oranı artmaktadır. Diğeri ise, daha yüksek bant genişliği, alıcıda daha yüksek güçlü giriş gürültüsü anlamına gelmektedir ve bu da performansı düşürmektedir. Bu durum, kanal kapasitesini tanımlayan bağlantıda, iki bant genişlikli durum düşünülerek görülebilir (Sun Z. et. al., 2010; Haykin S., 2001).

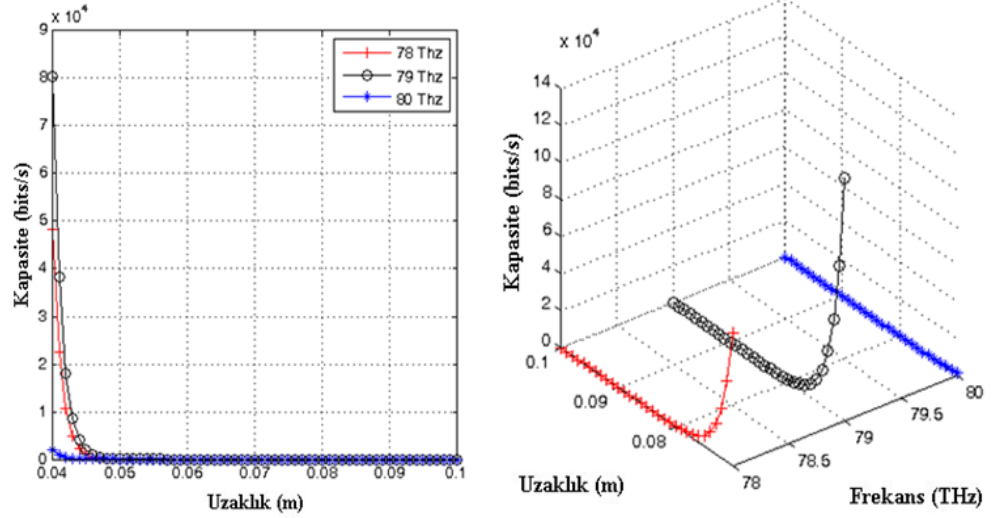
Formül 5.11 kullanılarak kapasite uzaklık ilişkisi incelenmiştir. Şekil 5.13, Şekil 5.14, Şekil 5.15, Şekil 5.16' ya kadar A, B, C ve D karışımlarının 10 dBm iletim gücünde mesafeye göre kapasitesinin değerleri iki ve üç boyutlu olarak gösterilmektedir.



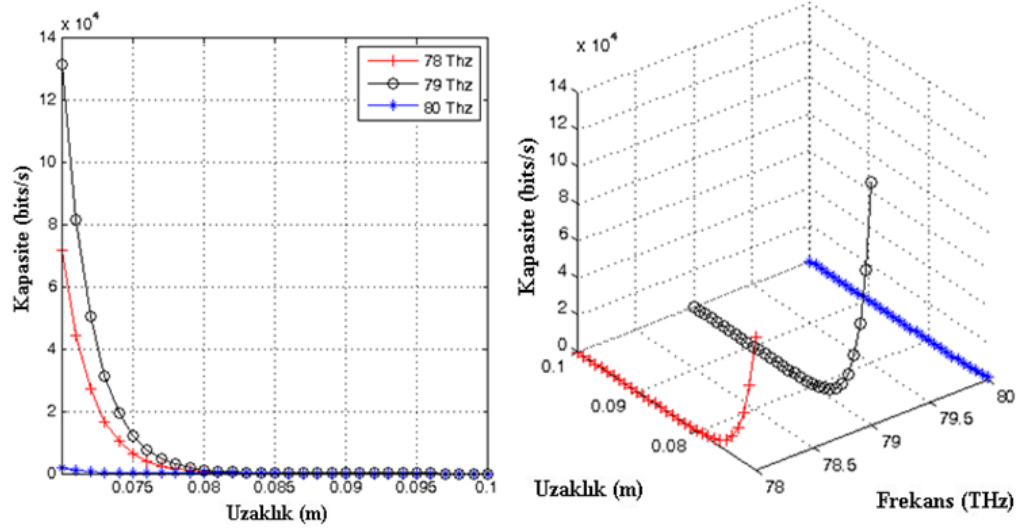
Şekil 5.13 A karışımının 10dBm iletim gücünde mesafeye göre kapasitesinin 2 ve 3 boyutlu gösterimi



Şekil 5.14 B karışımının 10dBm iletim gücünde mesafeye göre kapasitesinin 2 ve 3 boyutlu gösterimi



Şekil 5.15 C karışımının 10dBm iletim gücünde mesafeye göre kapasitesinin 2 ve 3 boyutlu gösterimi



Şekil 5.16 D karışımının 10dBm iletim gücünde mesafeye göre kapasitesinin 2 ve 3 boyutlu gösterimi

C karışımının, diğer karışımlara göre iletişim mesafesi daha kısadır. C karışımında 5,2 cm' ye kadar iletişim vardır. Ancak 5,2 cm' de bile diğer karışımların kapasitesi 3 GByte/s geçmektedir. 5.2 cm' lik, 1m×1m alanda ortalama 360 duyurga ağı vardır. İletim gücü mili duyurga ağı verilerine göre 10 dBm ile 20 dBm arası seçilmiştir (<http://www.microstrain.com/wireless>). İletim gücü 20 dBm seçilirse, şekillerdeki grafiklerdeki kapasite 10 kat artar. Şekiller de, A, B, C ve D karışımlarının sırasıyla kanalın kapasitesini mesafeye göre 78 THz, 79 THz ve 80 THz deki eğrilerini verir. 79 THz tüm grafiklerde en iyi sonuçları

vermektedir. Grafikler incelendiğinde, kapasitenin düşük olduğu karışımın C karışımı olduğu görülmektedir. A, B ve D karışımlarının da kapasitesi, 7 cm' de düşüş gösterirken, karışım C' de bu düşüş 4 cm' de gözlemlenmektedir. Elektromanyetik dalgaların hareketi, su/petrol karışımı arttıkça zorlaşmaktadır. Grafikler incelendiğinde, su/petrol yüzdesi arttıkça, kapasitenin düştüğü gözlemlenmektedir. Grafiklerden de anlaşılabileceği üzere, yeraltındaki su/petrol, toprak ve CO₂ oranlarının tıpkı A, B, C ve D karışımlarındaki gibi farklılık göstereceği düşünüldüğünde, 7 cm' ye kadar iletişim mesafesi artmaktadır. Bu tarz TDYA' nın haberleşmesi, depremin önceden tespiti, petrol kuyularının bulunması tarzı uygulamalarda da kullanılabilir. Bu uygulamalarda, özellikle petrol kuyularının bulunması, maddi getiri olarak büyük projeler olarak kabul edilir. Bu sistemlerin maddi olarak getirisi göz önüne alındığında, kullanılacak TDYA' nın sayısı fazla ve maliyetli olsa da getiri olarak sisteme katkısının kat kat fazla olacağı düşünülmektedir (Akkas, M. A. et al., 2013).

6. SU ORTAMININ 300 İLE 700 MHZ BANTLARI ARASINDAKİ KANAL MODELİ

Su ortamında genellikle akustik dalgalar kullanılıyor fakat sınır güvenliğinde, balık çiftliklerinde, akarsu, göl ve su birikintilerinde, sığ sularda akustik dalgaları kullanmak maliyetli ve uygulanabilirliğin sürekliliği açısından eksiktir. Örneğin ülke sınır güvenliğinde, ülkelerin sınırları yalnızca kara parçalarından değil aynı zamanda akarsu, göl ve su birikintilerinden de meydana gelmektedir bu yüzden telsiz duyurga ağlarının su ortamında yol kayıpları hesaplanmalı iletişim mesafesi de bulunmalıdır. Ayrıca mevcut yer altı telsiz duyurga ağlarının EM dalgalar vasıtası ile haberleştiği için sınır güvenliği gibi uygulamaların sürekliliği ve kullanılabilirliği açısından da telsiz duyurga ağlarının su ortamında kanal özellikleri bilinmesi gerekmektedir. Biz de bu bölümde telsiz duyurga ağlarının su ortamında yol kayıpları hesaplayıp iletişim mesafesini elde ettiğimiz metoda göre inceleyeceğiz.

6.1 Su Ortamının Modellenmesi ve Modele Göre Bit Hata Oranının (BHO) Hesaplanması

Önceki konularda da bahsedildiği gibi TDYA' nın analizi için birçok formül geliştirilmiştir. Bunlardan başlıcası Friss denklemidir (Stuber G., 1996). Friss denkleminin sudaki toplam yol kaybı bulunabilmesi için formül 6.1' de boşluk büyüklüğü yerine hem boşluk hem de su ortamı ilave edilmiştir. Formülde P_t verici antenin taşıma gücünü, d uzaklığı göstermektedir. Denklemden G_r ve G_t alıcı ve verici antenlerin kazancı, L_o ise dB olarak boş alan yol kaybıdır.

$$P_r(dBm) = P_t(dBm) + G_r(dB) + G_t(dB) - L_{wo}(dB) \quad (6.1)$$

L_o ise dB olarak boş alan yol kaybı formül 6.2 ile gösterilir.

$$L_o(dB) = 32.4 + 20 \log(d(km)) + 20 \log(f(MHz)) \quad (6.2)$$

Formül 6.3' de ise formül 6.1' deki Friss denkleminde boşluk büyüklüğü yerine hem boşluk hem de su ortamı ilave edilmiştir. Suda ki toplam yol kaybı büyüklüğü (L_{wo}), sudaki yol kaybı (L_w) ve boş alan yol kaybının (L_o) toplamı olarak değişmiştir.

$$P_r = P_t + G_r + G_t - L_{wo} \longrightarrow L_{wo} = L_o + L_w \quad (6.3)$$

Formül 6.3, su ortamı bileşenlerini göstermektedir. L_β topraktaki farklı dalga boyu sinyalleri nedeniyle oluşan zayıflama kaybını gösterir.

$$L_\beta = 20 \log\left(\frac{\lambda_0}{\lambda}\right) \quad (6.4)$$

Formül 6.4' de dalga boyu $\lambda = 2\pi/\beta$ ve boş uzayda $\lambda_0 = c/f$ dir. Burada β faz kayma sabiti, c ise $3 \cdot 10^8$, olan ışık hızıdır. Bu değişkenler yerine konulduğunda formül 6.5 elde edilir.

$$L_\beta = 154 - 20 \log(f) + 20 \log(\beta) \quad (6.5)$$

L_α ise α zayıflama sabitinden kaynaklanan iletim kaybıdır. Formül 6.6 şeklinde gösterilir.

$$L_{\alpha} = 8.69\alpha d \quad (6.6)$$

α ve β ise aşağıdaki formül 6.9' dan elde edilir. L_w incelendiğinde L_{β} sudaki farklı dalga boyu sinyalleri nedeniyle oluşan zayıflama kaybını gösterir. L_{α} ise α zayıflama sabitinden kaynaklanan iletim kaybıdır.

$$L_w = L_{\beta} + L_{\alpha} \longrightarrow \begin{aligned} L_{\beta} &= 154 - 20\log(f) + 20\log(\beta) \\ L_{\alpha} &= 8.69\alpha d \end{aligned} \quad (6.7)$$

Suda ki yol kaybı büyüklüğü (L_w) formül 6.7, (L_{β}) formül 6.5 ve (L_{α}) formül 6.6'nın toplamından elde edilir.

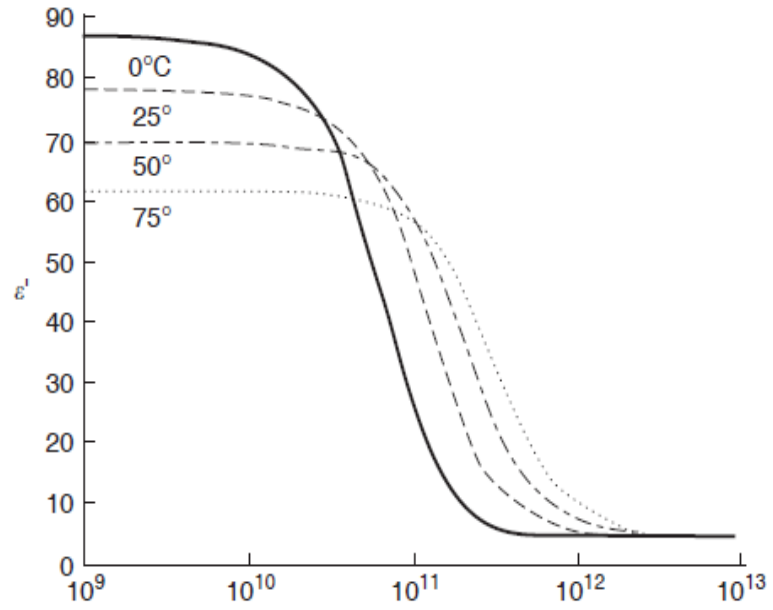
$$L_{abs}^{water} = 6.4 + 20\log(d) + 20\log(\beta) + 8.69\alpha d \quad (6.8)$$

Formül 6.8' de sudaki toplam su kaybını gösterir. d ' nin birimi metre, α zayıflama sabitinin birimi 1/m ve β faz kayma sabitinin birimi ise radyan/metre' dir.

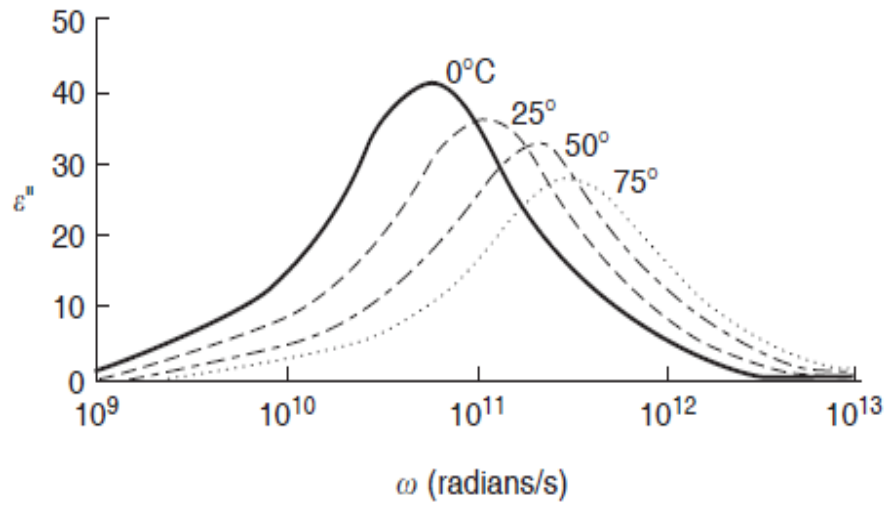
α ve β ise aşağıdaki denklemlerden elde edilir.

$$\begin{aligned} \alpha &= 2\pi f \sqrt{\frac{\mu \epsilon'}{2} \left[1 + \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'} \right)^2 - 1 \right]} \\ \beta &= 2\pi f \sqrt{\frac{\mu \epsilon'}{2} \left[1 + \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'} \right)^2 + 1 \right]} \end{aligned} \quad (6.9)$$

Sudaki EM dalganın kompleks propogasyon sabiti: $\gamma = \alpha + j\beta$, $\omega = 2\pi f$ açısal frekans, μ manyetik geçirgenliği ve ϵ' ve ϵ'' dielektrik gerçek ve hayali parça sabitlerine göre değişir. Saf suda ϵ' ve ϵ'' dielektrik gerçek ve hayali parça sabitleri Şekil 6.1 ve 6.2'de gösterilmiştir (Komarov, V. et al., 2010). MHz mertebesindeki yaklaşık değerler, Şekil 6.1 ve 6.2'de ki grafiklerden elde edebileceği gibi (Venkatesh M.S. et al., 2004) referansındaki tablo 6.1'de (Venkatesh M.S. et al., 2004) gösterilen veriler de kullanılabilir.



Şekil 6.1 Saf suda ϵ' dielektrik gerç k parça sabiti (



Şekil 6.2 Saf suda ϵ'' dielektrik hayali parça sabiti

Tablo 6.1 Frekansa göre saf suda ϵ' ve ϵ'' dielektrik gerçek ve hayali parça sabitleri

Microwave dielectric properties of water at indicated temperatures (adapted from Hasted, 1973)

Frequency, GHz	Dielectric constant (ϵ')		Dielectric loss factor (ϵ'')	
	Temperature		Temperature	
	20°C	50°C	20°C	50°C
0.6	80.3	69.9	2.75	1.25
1.7	79.2	69.7	7.9	3.6
3.0	77.4	68.4	13.0	5.8
4.6	74.0	68.5	18.8	9.4
7.7	67.4	67.2	28.2	14.5
9.1	63.0	65.5	31.5	16.5
12.5	53.6	61.5	35.5	21.4
17.4	42.0	56.3	37.1	27.2
26.8	26.5	44.2	33.9	32.0
36.4	17.6	34.3	28.8	32.6

TDYA' da su ortamındaki iletişim, suyun derinliğine göre değişir. Bunlar iki grupta; derin ya da sığ su olarak adlandırılır. Bu nedenle çalışmalar, iki alt gruba ayrılmıştır. Derin su ortamında formül 6.8' deki suyun yol kaybı büyüklüğü denklemi kullanılır. Çünkü derin sularda, su ortamında yansıma, sudan havaya ya da topraktan suya yansıma katsayısı ihmal edilecek kadar küçülür. Bu yüzden tek yönlü bir iletişim söz konusudur yani Şekil 6.3' de gösterilen şekle göre sadece d yönünde bir iletişim olur.

Sığ su ortamında yansıma, sudan havaya ya da topraktan suya yansıma katsayısına göre değişir. Yansıma katsayısı formül 6.10' da gösterilmiştir. Bu formülde ρ_1 ve ρ_2 birinci ve ikinci ortamların yoğunluğunu gösterirken, v_1 ve v_2 bu ortamlardaki dalga hızını gösterir. Şekil 6.3' de sığ su ortamındaki modellemenin nasıl yapıldığını gösteren 3 yollu kanal modeli verilmiştir.

$$\Gamma = \frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1} \quad (6.10)$$

Yansıma kaybının formülü ise formül 6.11 kullanılarak hesaplanır.

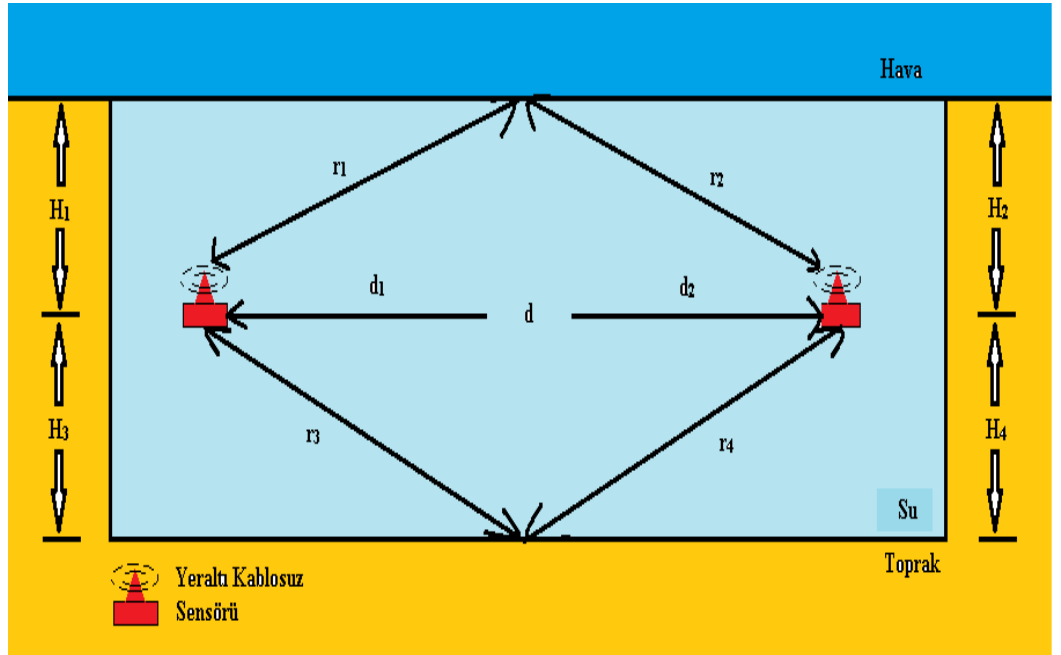
$$L_{ref} = -V(dB) = -10 \log(V) \quad (6.11)$$

Buradaki V değerin formülü ise formül 6.12’ de gösterilmiştir. Burada r yansıyan yol uzunluğu $|\Gamma|$ ve ϕ sırasıyla yansıma katsayısının genliği ve fazı, $\Delta(r)$ ise r ve d arasındaki farktır. Formül 6.13 ise, yansıma kaybının, sıg sulara toplam yol kaybını bulmak için, derin su ortamındaki toplam kaybına yansıma kaybı eklenmiş halidir. r ’ nin denklemi ise formül 6.14’de verilmiştir. Şekil 6.3’de ise r , d ve h parametreleri şekil üzerinde gösterilmiştir (Elrashidi A. et al., 2012). BHO analizleri ise bölüm 5.1 anlatıldığı gibi formül 5.9’ a göre yapılmaktadır (Akkaş M. A. et al., 2015).

$$V^2 = 1 + (|\Gamma| e^{-\alpha \Delta(r)}) - 2|\Gamma| e^{-\alpha \Delta(r)} \times \cos(\pi - (\phi - \frac{2\pi}{\lambda} \Delta(r))) \quad (6.12)$$

$$P_r = P_t + G_r + G_t - L_{wo2} \longrightarrow L_{wo2} = L_o + L_w + L_{ref} \quad (6.13)$$

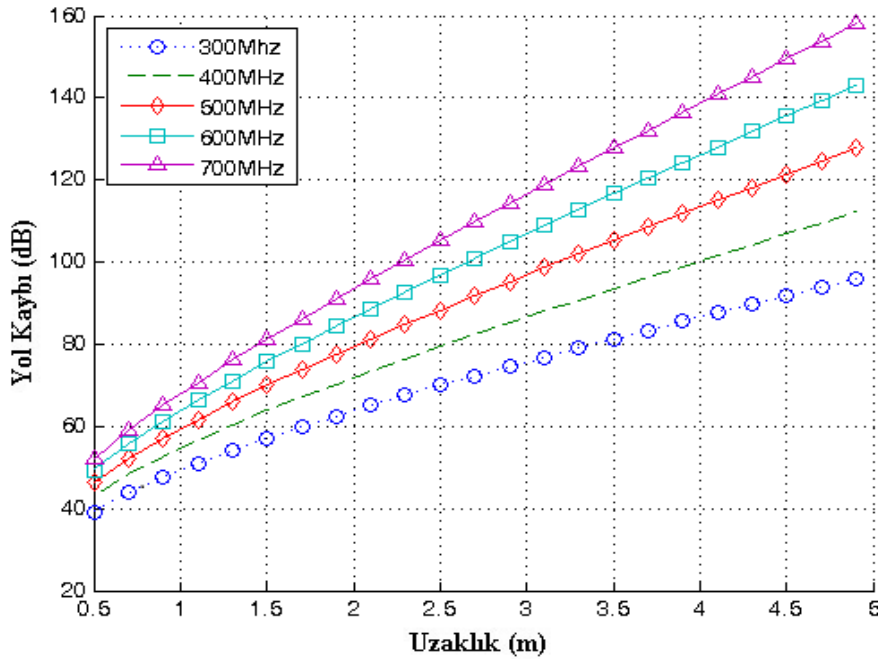
$$r = 2\sqrt{H^2 + (\frac{d}{2})^2} \quad (6.14)$$



Şekil 6.3 3 yollu kanal modeli

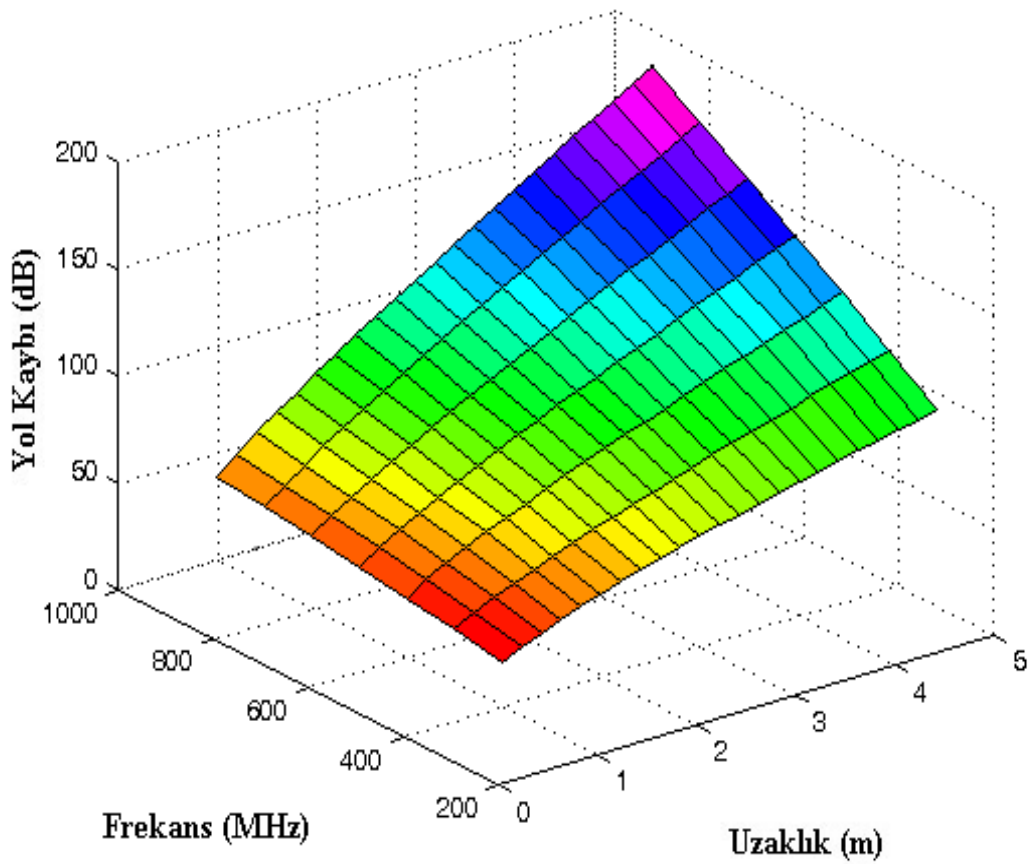
6.2 Derin Su Ortamının 300 ile 700 MHz Bantları Arasındaki Kanal Modeli

Derin su ortamında formül 6.8’ deki suyun yol kaybı büyüklüğü denklemi kullanılmıştır. Çünkü derin sularda, su ortamında yansıma, sudan havaya ya da topraktan suya yansıma katsayısı ihmal edilecek kadar küçülür. Bu yüzden tek yönlü bir iletişim söz konusudur. Başka bir deyişle Şekil 6.3’ de gösterilen şekle göre sadece d yönünde bir iletişim olur. Şekil 6.4, derin su ortamının 300 ile 700 MHz bantları arasındaki yol kaybını göstermektedir. Şekil 6.4 incelendiğinde, beklenildiği gibi frekans değeri arttıkça, kaybın arttığı gözlemlenmektedir. Sistem kaybının 100 dB olduğu kabul edilse bile, 400 MHz de iletişim mesafesinin 4 metreye kadar çıktığı grafikten gözlemlenmektedir. Frekansın iletişim mesafesini ne kadar çok etkilediğini gözlemlemek için, 100 dB kaybı referans alınır, iletişim mesafesi 700 MHz de 2,5 metre civarındayken 300 MHz de bu mesafenin 5 metreye yaklaştığı Şekil 6.4’ de gözlemlenmektedir. Burada günümüzdeki TDA’ nın 433 MHz de çalıştığı göz önüne alınır, (Crossbow Mica2 node, <http://www.xbow.com>), 100 dB’ lik bir kayıpta ortalama 4 metreye yakın bir iletişim mesafesi söz konusu olmaktadır. Bu iletişim mesafesi Şekil 6.6’ da daha detaylı anlaşılmaktadır (Akkaş M. A. et al., 2015).



Şekil 6.4 Derin su ortamının 300 ile 700 MHz bantlarında TDA’ lar arası mesafeye göre yol kaybı

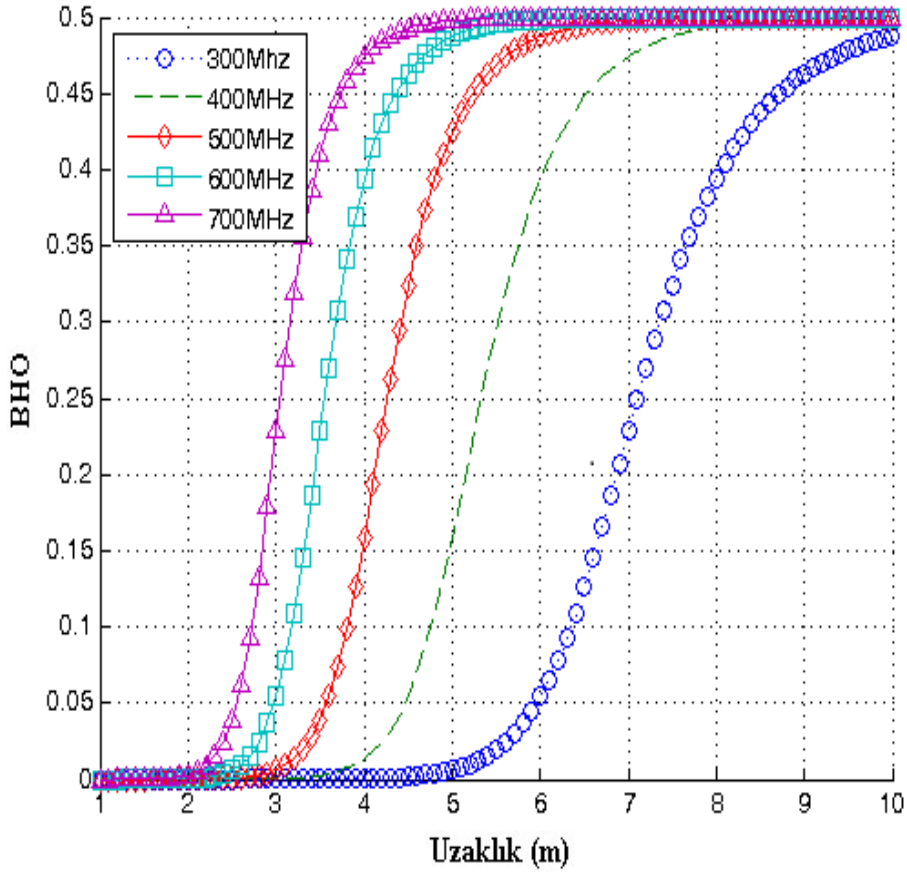
Şekil 6.5’ de ise Şekil 6.4’ teki grafiğin 3 boyutlu gösterimi görülmektedir. Daha net olarak bu grafikten yol kaybını, frekans ve TDA’ lar arasındaki uzaklığın bağlantısı anlaşılmaktadır. Şekil 6.5 incelendiği zaman frekans arttığında, kaybında arttığı, iletişim mesafesinin ise azaldığı daha detaylı olarak gözlemlenmektedir. Yine sistemin 100 dB’ lik bir kaybında, Şekil 6.5’ deki yeşilden maviye dönen kısımdaki açık mavi olan bölge, iletişim mesafesini gösterir ki, bu mesafe frekans azaldıkça artmaktadır.



Şekil 6.5 Derin su ortamının 300 ile 700 MHz bantlarında TDA’lar arası mesafeye göre yol kaybı 3 boyutlu gösterimi

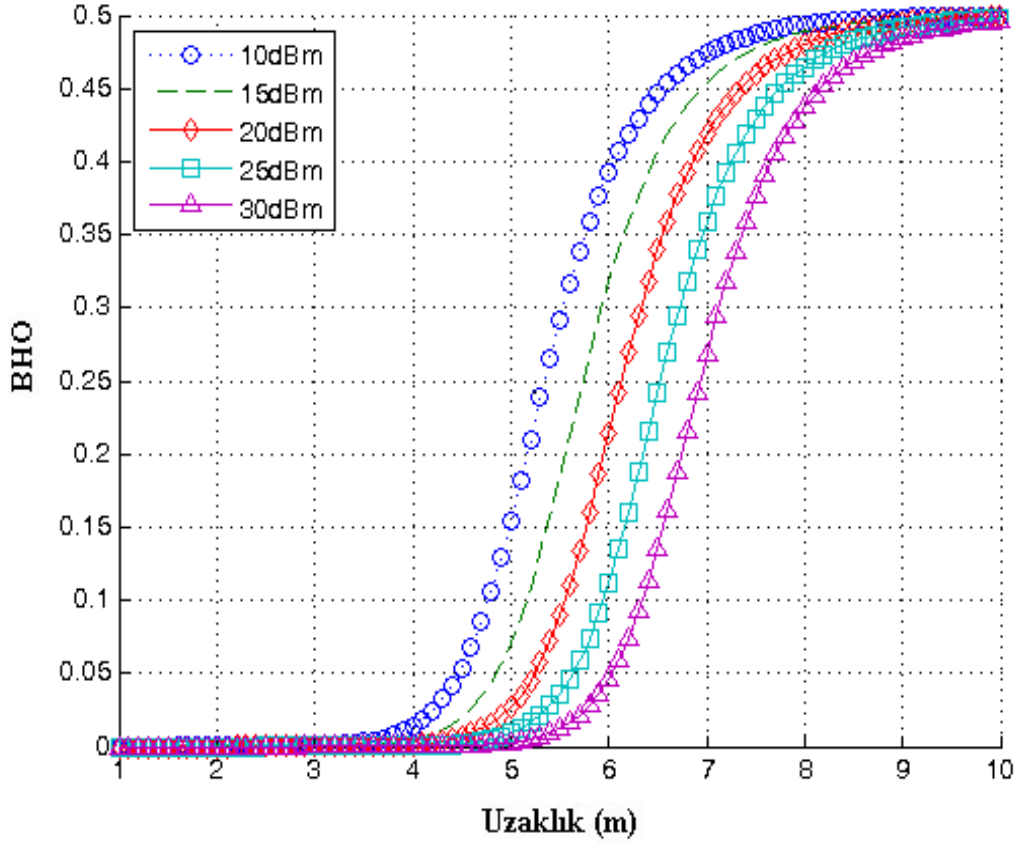
Yukarıdaki bahsedilen analizlere göre Şekil 6.6 incelendiğinde, frekansa göre 2-5 metre arasında BHO’ nun arttığı gözlemlenmektedir. Bu artış frekansla ters orantılı olarak artmaktadır. 5 metrede 300 MHz’ de 0,01’ lik bir BHO varken, aynı mesafede 700 MHz’ de bu oran 0,5’ lere kadar çıkmaktadır. Şekil 6.6’ da tekrar göstermektedir ki, P_t iletim gücü 10 dBm, P_n ise -100 dBm ve çalışma frekansı TDA’ nın çalışma frekansı olan 433 MHz civarında alındığında, iletişim

mesafesinin su ortamında 4 metreye kadar çıktığı gözlemlenmektedir. Su ortamında BHO' nun frekansa bağımlılığı artmaktadır. Şekil 6.6' da bu durum görülmektedir. Grafikler incelendiğinde, frekansın azalması, iletişim mesafesini hızlı bir şekilde artırmaktadır.



Şekil 6.6 Derin su ortamının 300 ile 700 MHz bantlarında TDA' lar arası mesafeye göre BHO

Şekil 6.7' de 400 MHz' de, P_t iletim gücü 10-30 dBm arasında değişime göre BHO' yu vermektedir. P_t iletim gücü arttıkça, iletişim mesafesi artmaktadır. 10 dBm iletim gücüne sahip bir sistemin BHO oranı 4 metrede artmaya başlarken, aynı sistemin iletim gücü 30 dBm' e çıkarıldığında iletim mesafesinin 5 metreyi geçtiği gözlemlenmektedir.



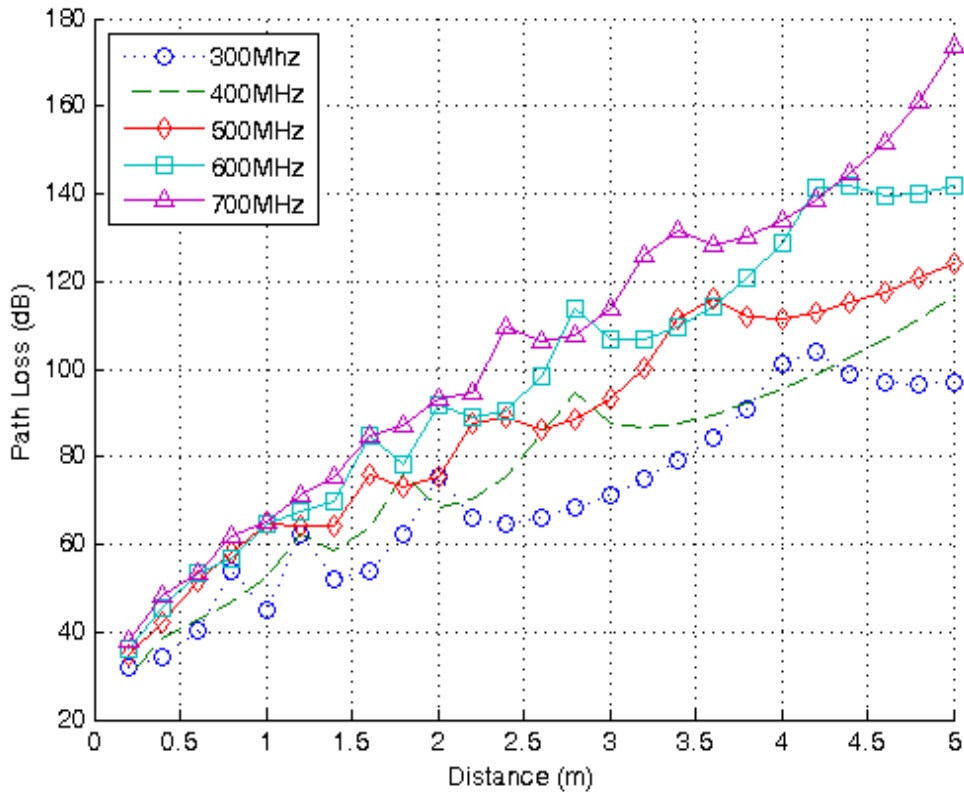
Şekil 6.7 Derin su ortamının 400 MHz' de iletim gücüne 10-30 dBm' ye göre BHO

6.3 Sığ Su Ortamının 300 ile 700 MHz Bantları Arasındaki Kanal Modeli

Sığ su ortamında yansımaya, sudan havaya ya da topraktan suya yansımaya katsayısına göre değişmektedir. Sığ su ortamında formül 6.13'deki, sığ suyun yol kaybı büyüklüğü denklemi kullanılmıştır. Şekil 6.3' de, sığ su ortamındaki modellemenin nasıl yapıldığını gösteren üç yollu kanal modeli verilmiştir (Akkaş M. A. et al., 2015).

Sığ su ortamında yansımaya, sudan havaya ya da topraktan suya yansımaya katsayısına göre değiştiği için yansımaya katsayısına göre grafik eğrileri dalgalı bir şekilde ilerlemektedir. Şekil 6.8 incelendiğinde, mesafe arttıkça, grafiklerin dalgalanmaları daha net seçilmektedir. Özellikle TDA' lar arası mesafede 2 metreden sonra, grafik eğrilerinin dalgalanmalarının daha çok arttığı görülmektedir. Şekil 6.8' de 400 MHz' i, Şekil 6.4 ile mukayese edildiğinde,

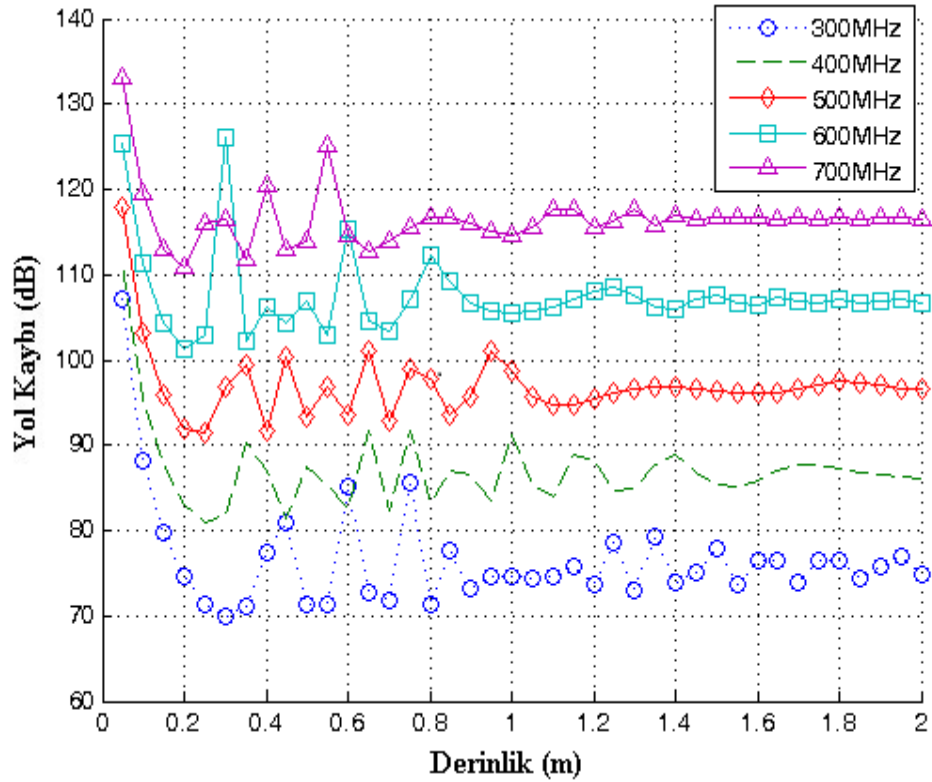
Şekil 6.4’ te 50-110 dB arasında yol kaybı olurken, bu eğri Şekil 6.8’ de 30-120 dB arasında değişmektedir. Diğer frekans aralıkları da incelendiğinde, 400MHz’ deki gibi dalgalanmadan kaynaklanan yol kaybındaki değerlerde ortalama 10 dB gibi bir değişiklik meydana geldiği gözlemlenmektedir. Şekil 6.8 incelendiğinde, sığ ortamda, kablosuz TDA’ nın çalışma frekansına yakın olan 300 ile 400 MHz’ de iletişim mesafesinin 4,5 metreye kadar yaklaştığı görülmektedir. Özet olarak; bu dalgalanmalar sığ sularda 300 ile 400 MHz arasında ortalama 0,5 metre kadar bir iletişim mesafesi artışı sağlamaktadır.



Şekil 6.8 Sığ su ortamının 300 ile 700 MHz bantlarında TDA’ lar arası mesafeye göre yol kaybı

Şekil 6.9 ise, derinliğe göre değişen yol kaybını göstermektedir. Beklenildiği gibi derinlik arttıkça yol kaybındaki dalgalanmalar azalmakta, 1,8 metreden sonra ise dalgalanma neredeyse hiç görülmemektedir. Bu grafikten de anlaşılacağı üzere, 2 metre derinlikten sonraki modellemelerin, derin su modellemesi ile yapılması daha doğru olacaktır. 2 metre derinlikten sonra grafiklerin doğrusallaşması, derin sulardaki modellemede grafiklerin doğrusal çıkmasını desteklemektedir. Yine kablosuz TDA’ nın çalışma frekansına yakın

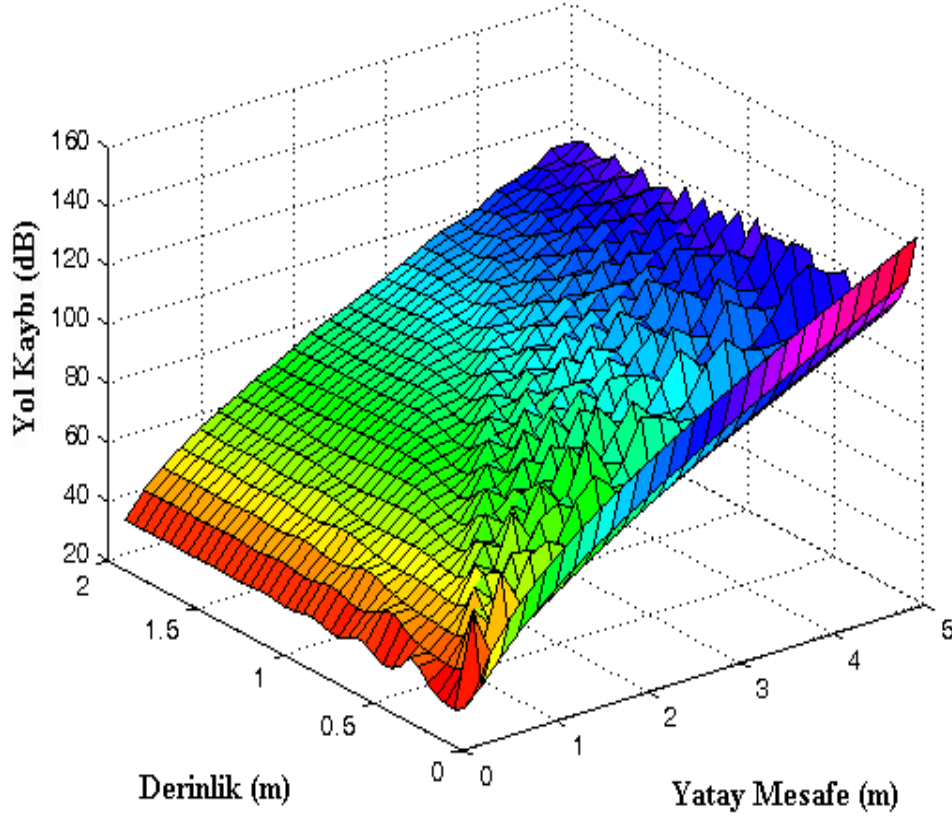
olan 400 MHz’ de 1,5 metre duyurga ağı uzaklığına kadar dalgalanmalar çok artmakta, 1,5 metreden sonra ise grafikteki dalgalanmalar azalmaktadır. Şekil 6.9’ da çalışma frekansına ve derinliğe göre yol kaybı daha detaylı bir şekilde gözlemlenmektedir.



Şekil 6.9 Sığ su ortamının 300 ile 700 MHz bantlarında TDA’ lar arası derinliğe göre yol kaybı

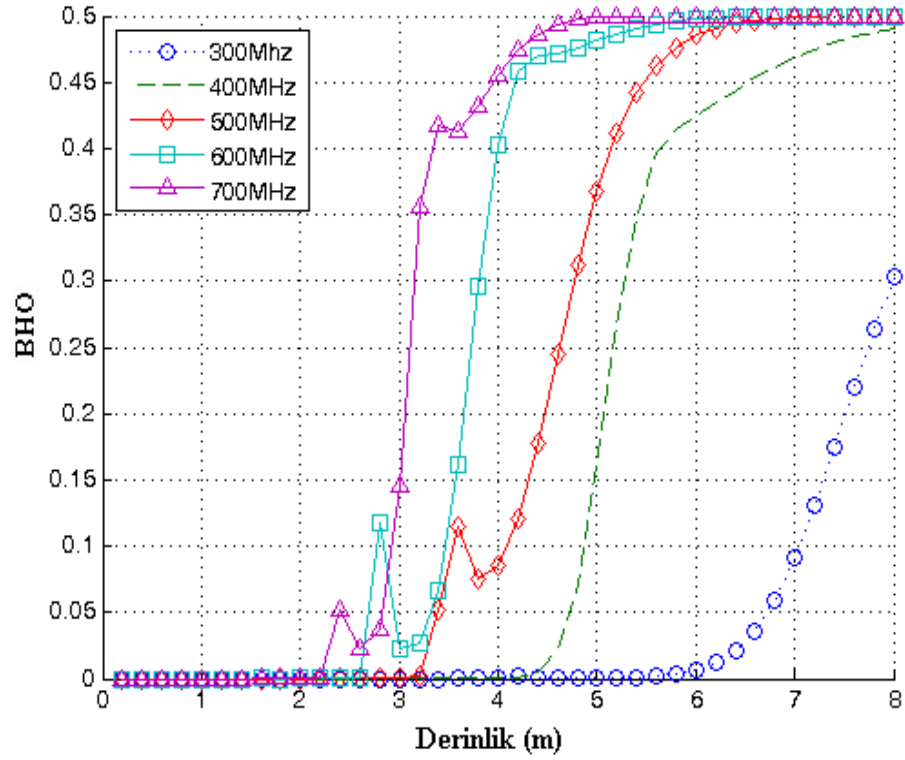
Şekil 6.10’ da ise, Şekil 6.9’ da gösterilen grafiğin daha detaylı bir şekilde anlaşılabilmesi için 3 boyutlu hali çizilmiştir. Grafik incelendiğinde, 1,8 metre derinlikten sonra dalgalanmanın neredeyse hiç kalmadığı 3 boyutlu grafikten daha net bir şekilde gözlemlenmektedir. 100 dB’ lik kaybın ise 4 metreden sonra gerçekleştiği, şekil 6.10’dan bu alanın koyu maviye geçen kısım olduğu gözlemlenmektedir. Şekil 6.10 daha detaylı incelendiğinde, 2 metre derinlikte TDA’ lar arası mesafe 5 metreye kadar çıksa bile dalgalanmalar olmaktadır. Fakat 1 metre derinlikte, TDA’ lar arası mesafe 2 metreyi geçtikten sonra dalgalanmalar olmamaktadır. 1 metre derinlikte TDA’ lar arası mesafede 2 metreye kadar dalgalanmaların olmamasının en büyük sebebi, TDA’ lar arası

mesafe kısalığından dolayı, TDA' nın direkt olarak haberleşmesi ve de yansılardan gelen sinyalin çok az olmasıdır.



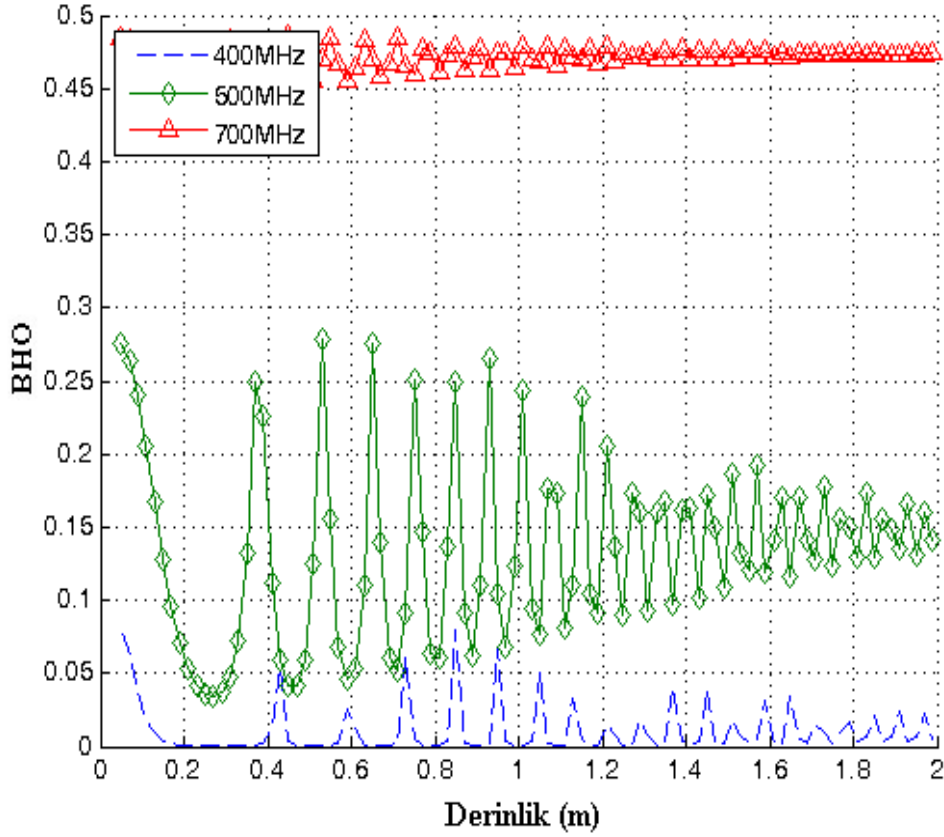
Şekil 6.10 Sığ su ortamının derinliğe ve TDA' lar arası mesafeye göre yol kaybı

Şekil 6.11' de ise sığ sulardaki derinliğin 0,5 metrelik artışın BHO' ya yansıması daha net bir şekilde gözlemlenmektedir. Şekil 6.6' da 400 MHz 4 metrede 0,1'lik bir BHO' ya sahip iken, şekil 6.11'de bu oran sıfıra eşittir. BHO, TDA' lar arası mesafe arttıkça artar. Şekil 6.11' de frekans arttıkça, dalgalanmalar da artmaktadır. 400 MHz' den sonra bu dalgalanmalar daha çok belirginleşmiştir. Şekil 6.11' de gösterildiği gibi, TDA' nın çalışma frekansı olan 433 MHz civarında iletişim mesafesi 4,5 metreye yakındır.



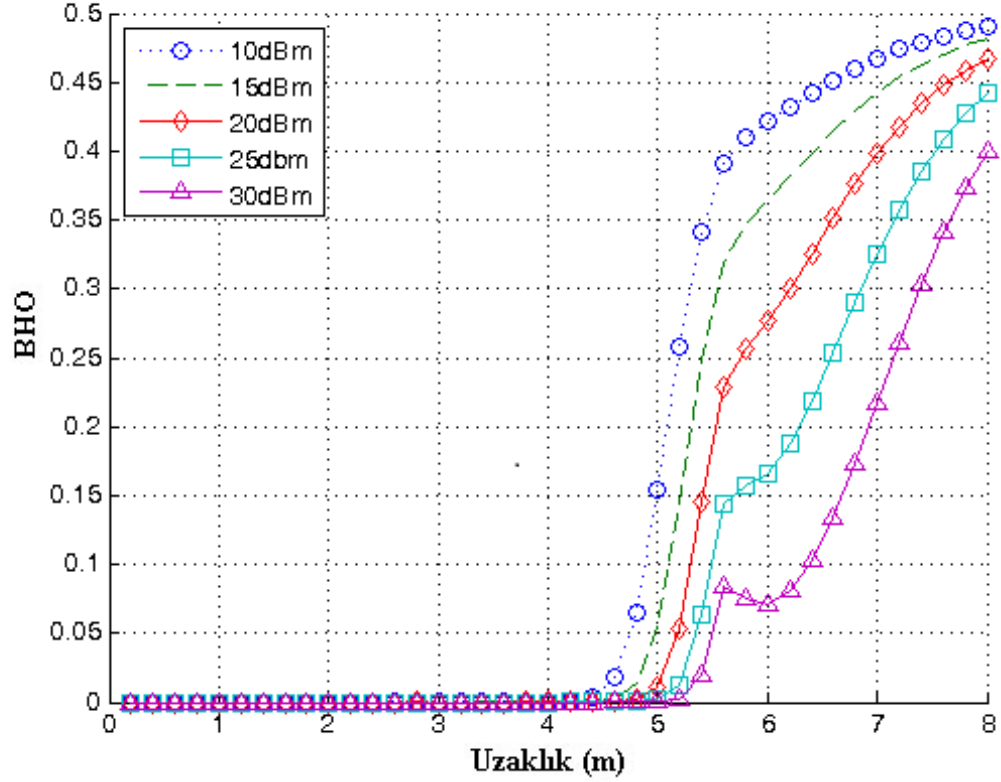
Şekil 6.11 Sığ su ortamının 300 ile 700 MHz bantlarında TDA'lar arası mesafeye göre BHO

Şekil 6.12' de 400 ile 700 MHz frekans değerlerinin derinliğe göre BHO değişimi detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Dalgalanmalar derinlik arttıkça azalmaktadır. Bunun sebebi ise derinlik arttıkça yansılardan gelen dalgaların gücünün azalmasıdır. Şekil 6.12 incelendiğinde, frekans değeri arttıkça, derinliğe göre dalgalanmanın daha keskin bir şekilde azaldığı gözlemlenmektedir. 700 MHz' de dalgalanma 1 metreden sonra son bulurken, 400 MHz' de 1,8 metreden sonra bile az da olsa devam etmektedir.



Şekil 6.12 Sığ su ortamının 400 ile 700 MHz bantlarında TDA' lar arası derinliğe göre BHO' 1

Şekil 6.13' de ise 400 MHz' de, iletişim mesafesinin sığ su ortamında BHO' sunu göstermektedir. P_t iletim gücü arttıkça, BHO azalmaktadır. P_t iletim gücü 10-30 dB arasında değişimi, 1 metreye yakın iletişim mesafesinde artış sağlamaktadır. Grafikten de anlaşılabacağı gibi sığ sularda yansılardan dolayı gelen dalgalanmalar, BHO da kendini göstermektedir. P_t iletim gücü arttıkça, dalgalanmalar daha net bir şekilde gözlemlenir. 30 dBm' de keskin bir dalgalanma olurken, 10 dBm' de bu dalgalanma hiç sezilmemektedir. 30 dBm' de keskin bir dalgalanma olurken, 10 dBm' de bu dalgalanmaların az olmasının sebebi, 30 dBm' de yansılardan dolayı gelen sinyalin daha fazla olması ve bu yüzden dalgalanmalarda kendini daha çok hissettirmesi olarak açıklanmaktadır.



Şekil 6.13 Sığ su ortamının p_t iletim gücü 10-30 dBm arasında TDA' lar arası mesafeye göre BHO

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya'da petrol kuyularındaki rezervin ancak yüzde 30'u çıkartılmakta ve kullanılmaktadır. Yeraltını sürekli ve detaylı gözlemleyebilen sistemler geliştirildiğinde, bu oranın yüzde 75'lere çekilmesi hedeflenmektedir (Akyildiz I. F., 2013). Petrol kaynaklarının düzgün bir şekilde boşaltılabilmesi için, yeraltındaki durumun sürekli ve detaylı olarak bilinip haritalanması gerekmektedir.

Petrol kuyuları bulunup, sondajlama işlemine geçildikten sonra, yeraltında patlatılan kuvvetli patlayıcılar sayesinde, genişlik 5 metre, uzunluğu 100 metre civarında katmanlar oluşur, fakat bu katmanların derinliği ancak 1-2 cm civarındadır. 1-2 cm derinliğindeki bir katmanda haberleşebilmek için anten boyutunun oldukça küçük olması gerekmektedir ki, bu da yüksek bantlardaki elektromanyetik frekanslarda mümkündür. Yüksek bantlarda moleküllerin hareketleri farklılık göstermekte ve içerisindeki bileşenlere göre çeşitli

frekanslarda farklı hareketler yapmaktadır. Bu hareketlilik elektromanyetik dalgaların dağılımı açısından uygun değildir. Elektromanyetik dalgaların rahat ilerleyebilmesi için titreşimsiz ortamlar yakalanmalıdır. Bu titreşimsiz ortamlar, dalgaların ilerleme mesafesinin artması için, ortamda bulunan bütün maddeleri kapsamalıdır. Mevcut petrolün kalitesi, sıcaklığı, akımı ve koordinatı gibi istenilen değerlerin yer üstüne gönderilmesi, yeraltının haritalanması için, en ideal geçiş bandı, bu çalışmada bulunmuştur. Bu geçiş penceresinin, sadece petrol kaynakları için değil, yeraltının sürekli ve detaylı izlenmesini sağladığı için, depremin önceden tahmini ve yeraltı kaynaklarının bulunması için de etkin bir rol oynayacağı düşünülmektedir.

Elde edilen verilere göre yeraltı duyurga ağları ile 7 cm' ye kadar iletişim yapılabilmektedir. Yeraltı duyurga ağlarının haberleşmesi, depremin önceden tespiti, petrol kuyularının bulunması tarzı uygulamalarda da kullanılabilir. Bu uygulamalarda, özellikle petrol kuyularının bulunması, maddi getiri olarak büyük projeler olarak kabul edilmektedir. Bu sistemlerin maddi olarak getirisi göz önüne alındığında, kullanılacak TDA' nın sayısı ne kadar fazla ve maliyetli olsa da getiri olarak sisteme katkısının kat kat fazla olacağı düşünülmektedir (Akkas, M. A. et al. 2013). Petrol ortamı bileşenleri olan toprak, su, petrol ve karbondioksit karışımı, yüksek frekanslarda modellenerek, ortak geçiş penceresi bulunmuştur. Bu pencere aralığı 70 THz ile 85 THz arasındadır. 15 THz' lik bir bant genişliğine sahip olan bu pencerede, en az emilim ve en fazla mesafeyi sağlayan bant 79 THz olarak tespit edilmiştir. Yakalanılan geçiş penceresi aralığına göre en uygun haberleşme metodu seçilip, ardından BHO, emilim kaybı, yol kaybı ve kanal kapasitesi hesaplanmıştır. Ayrıca bu çalışmayla, THz bantlarında anten boyutu, mikronlar seviyesine çekilerek, mevcut olan en dar alanlara bile yeraltı TDA' larının yerleştirilmesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmada, petrol kuyularındaki rezervin tespiti için oluşturulan modellemeye göre, model, teorik olarak TDA' nın iletişim mesafesini ve bu mesafeye göre kanal kapasitesi değerlerini vermektedir. İleri çalışmalarda, mevcut mili TDA' nın radyo kısmı, THz haberleşmesi için geliştirilebilir. Ayrıca THz frekansında haberleşme yeni bir metottur. Bu çalışmada geliştirilen kanal modeli kullanılarak, farklı modülasyon teknikleri de incelenip mevcut değerler arttırılabilir. Bu çalışma, yeraltı petrol ortamında THz frekansında telsiz duyurga ağlarının haberleşmesi için EM dalgaların yayılımını inceleyen ilk çalışmadır. Bu nedenle analizlerde kullanılan değerlerin bazıları şu anki teknolojiye ait cihazların

verisidir ya da yaklaşık değerlerdir. Daha net ve yakın veriler THz frekanslarında çalışmalar geliştiğinde elde edilebilir.

Çalışmada kullanılan yol kaybı modellemesi farklı frekanslarda da ortamın incelenmesine olanak sağlamaktadır. Başka çalışmalarla frekans aralığı değiştirilerek, farklı antenler tasarlanabilir. Bu antenlere örnek olarak esnek kuyruk tipi antenler ya da maymun tipi antenler verilebilir. Bu açıdan incelendiğinde, çalışma sadece petrol ortamında değil, yer altının modellemesinde istenilen bileşenler çekilerek kullanılabilir. Bu sayede yer altındaki anlık hareketlilik detaylı bir şekilde gözlemlenerek sadece petrol kaynaklarının bulunması için değil, aynı zamanda yeraltının sürekli ve detaylı izlenmesini sağlandığı için de depremin önceden tahmini, farklı doğal kaynaklarının bulunması, yer altı canlılarının takibi, sınır güvenliği vs. gibi uygulamalara da destek niteliğindedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Agnelo R. S.**, 2010, Channel Characterization for Wireless Underground Sensor Networks, University of Nebraska, 131 p.
- Akar İ.**, 2011, Teorik ve Deneysel Titreşim Spektroskopisi Yardımıyla 5-Kloro-8-Hidroksikinolin ve Zn ve Mn Komplekslerinin İncelenmesi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Akkas M. A., Akyildiz I. F., and Sokullu R.**, 2012, Terahertz Channel Modeling of Underground Sensor Networks in Oil Reservoirs, IEEE Globecom 2012, Anaheim, California, 543 – 548 pp.
- Akkas, M. A. and Sokullu, R.**, 2013, A channel model for underground sensor networks in the mixture of crude oil, water and soil, Journal of Communication and Computer, David Publishing Company, 10(10):1333-1349 pp.
- Akkas, M. A. and Sokullu, R.**, 2015, Channel modeling and analysis for wireless underground sensor networks in water medium using electromagnetic waves in the 300 - 700 MHz range, under review.
- Akyildiz I. F. and Jornet J.M.**, 2010, Electromagnetic Wireless Nanosensor Networks, Nano Communication Network (Elsevier), 3(19):1-19 pp.
- Akyildiz I. F.**, 2013, “GA Tech mevcut projeler, 2013-2015”, <http://www.ece.gatech.edu/research/labs/bwn/projects/oilmoles/index.html> (2014)(Erişim Tarihi: 9 Kasım 2014)
- Akyildiz I. F.**, 2013, “GA Tech mevcut projeler, 2013-2016”, <http://www.ece.gatech.edu/research/labs/bwn/projects/moles/index.html> (2014)(Erişim Tarihi: 9 Kasım 2014)
- Akyildiz I. F.**, 2013, Huxley’nin Cini, Aralık, 79-81s. (Erişim tarihi: 30 Aralık 2013).
- Akyildiz I. F.**, 2014, “GA Tech mevcut projeler, 2009-2016”, <http://www.ece.gatech.edu/research/labs/bwn/projects/granet/index.html> (2014)(Erişim Tarihi: 9 Kasım 2014)
- Akyildiz I. F., Sun Z., and Vuran M. C.**, 2009, Signal propagation techniques for wireless underground communication networks, Physical Communication (Elsevier) Journal, 2(3):167-183 pp.
- Akyildiz, I.F., Su, V., Sankarasubramaniam, Y., and Çayırıcı, E.**, 2002, A Survey on Sensor Networks, IEEE Communications Magazine, Vol. 40, No.8, 102-116 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Aske N., Kallevik H., and Sjoblom J.**, 2001, Determination of saturate, aromatic, resin and asphaltenic (sara) components in crude oils by means of infrared and near infrared spectroscopy, *Energy Fuels*, 15(5):1304-1312 pp.
- Atakan B. ,** 2013, Moleküler haberleşme ve nanoağlar, 5. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu, 16-17 Mayıs, Yaşar Üniversitesi, İzmir, 6 p.
- Atkins P. and De P. J.**, 2005, Elements of physical chemistry (4th ed.), W. H. Freeman.
- Bajaj N.**, 2001, http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/30995-digital-modulation-ask--psk--fsk/content/ASK_FSK_PSK.m (Erişim tarihi: 7 Kasım 2014).
- Bao R., Lu T., Zhao K., Zhu S., Liu L., and Zhao G.**, 2011, Spectroscopy Studies on The Tuha Crude Oil in the Terahertz Range, International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging, Terahertz Wave Technologies and Applications, Beijing, China.
- Barbara A.**, 2004, Infrared Spectroscopy, Fundamentals and Applications, John Wiley&Sons, Ltd.
- Basta J. S.**, 2010, Spectroscopic studies on some crude oils from the northwestern desert, Egypt, *Petroleum Science and Technology*, 28(8)
- Cheng D. K.**, 1989, Field and wave electromagnetics,. Addison- Wesley Publishers; 2nd edition.
- Chitre M., Potter J., Heng O. S.**, 2004, Underwater acoustic channel characterization for medium-range shallow water communications, in Proc. MTS/IEEE Oceans '04, vol. 1, 40 - 45 pp.
- De Peinder P., Petrauskas D. D., Singelenberg F., Salvatori F., Visser T., Soulimani F., and Weckhuysen B. M.**, 2008, Prediction of long and short residue properties of crude oils from their infrared and near-infrared spectra, *applied spectroscopy*, 62(4):414-422 pp.
- De Peinder P., Visser T., Petrauskas D. D., Salvatori F., Soulimani F and Weckhuysen B. M.**, 2009, Partial least squares modeling of combined infrared, 1h nmr and 13c nmr spectra to predict long residue properties of crude oils, *vibrational spectroscopy*, 51(2):205-212 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Dong X., and Vuran M.C. and Irmak S. ,** 2013, Autonomous precision agriculture through integration of wireless underground sensor networks with center pivot irrigation systems, Ad Hoc Networks Elsevier (11), 1975–1987 pp.
- Dong X., and Vuran M.C.,** 2011, A channel model for wireless underground sensor networks using lateral waves, IEEE Globecom '11, Houston, TX, December 2011.
- Dorsey E.,** 1940, Properties of Ordinary Water-Substance, Reinhold Publishing Corporation 1940.
- Elrashidi A., Elleithy A., Albogame M. and Elleithy K.,** 2012, Underwater wireless sensor network communication using electromagnetic waves at resonance frequency 2.4 GHz, CNS '12 Proceedings of the 15th Communications and Networking Simulation Symposium, (13).
- Foth H. D.,** 1990, Fundamentals of Soil Science, 8th ed. John Wiley & Sons.
- Gans, P.,** 1971, Vibrating Molecules. Chapman and Hall, London.
- Giacomin J. and Vasconcelos F.,** 2006, Wireless sensor network as a measurement tool in precision agriculture, in In Proc. XVIII IMEKO World Congress - Metrology for a Sustainable Development, Rio de Janeiro, Brazil.
- Gozalpour F., Ren S.R. and Tohidi B.,** 2005, CO₂ EOR and storage in oil reservoirs, oil and gas science and technology, 60(3):537-546 pp.
- Green D.W. and Willhite G.P.,** 2003, Society of Petroleum Engineers, Enhanced Oil Recovery, SPE Textbook Series Vol. 6, Richardson, TX, USA.
- Haltrin V. I., Johnson D. R. and Weidemanncrossref A. D.,** 2010, Connection between salinity and light absorption coefficient, geoscience and remote sensing, 5(24):1845-1847 pp.
- Haykin S.,** 2001, Publisher: John Wiley & Sons, Inc. 4th Edition, Digital and Analog Communication Systems, 6 th Edition.
- İ.T.Ü.,** 2013, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, Merak edilenler, http://web.itu.edu.tr/~pdgmb/question/faq_t.html#7, (Erişim tarihi: 3 Nisan 2013).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- IEA Greenhouse Gas Programme**, 2000, Barriers to Overcome in Implementation of CO₂ Capture and Storage: Storage in Disused Oil and Gas Fields, Report Number PH3/22.
- Ingle J. D. J. and Crouch S. R.**, 1988, Spectrochemical Analysis, New Jersey, Prentice Hall.
- Ingle J. D. J. and Crouch S. R.**, 1988, Spectrochemical Analysis, Prentice Hall, New Jersey, 17 p.
- IPAC Staff**, 2007, Near, Mid and Far-Infrared, NASA ipac. <http://www.ipac.caltech.edu/Outreach/Edu/Regions/irregions.html>.
- Jayasekera A.J.**, 2002, Improved Hydrocarbon Recovery in the United Kingdom Continetal Shelf: Past, Present and Future, SPE 75171.
- John C.**, 2000, Interpretation of Infrared Spectra, A Practical Approach in Encyclopedia of Analytical Chemistry, John Wiley&Sons Ltd, Chichester, 10815-10837 pp.
- Jornet J. M. and Akyildiz I. F.**, 2011, Channel modeling and capacity analysis for electromagnetic wireless nanonetworks in the terahertz band, IEEE Transactions on Wireless Communications, 10(10), 3211-3221 pp.
- Jornet, J. M and Akyildiz, I. F.**, 2013, Fundamentals of Electromagnetic Nanonetworks in the Terahertz Band, Foundations and Trends in Networking, Now Publishers Inc.
- Jornet, J. M and Akyildiz, I. F.**, 2013, Graphene-based plasmonic nanoantennas for terahertz band communication in nanonetworks, IEEE Journal on Selected Areas in Communications (JSAC), Special Issue on Emerging Technologies in Communications, 31(12):685-694 pp.
- Komarov, V., Wang, S. and Tang, J.**, 2005, Permittivity and measurement, The Wiley Encyclopedia of RF and Microwave Engineering, vol. 4., John Wiley Sons, Inc., New York, 3693–3711 pp.
- Kutlu, N.**, 2007, 4-Amino-1H-Benzo[4,5] İmidazo[1,2α]Primidin-2-one Bileşiğinin Koordinasyon Modları ve Titreşim Frekanslarının Gaussian 03 ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, S.D.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- L. Shaoping, D. Luoyong and D. Qingxin**, 2010, Study on the Processes for Lubricant Base Oil from Oman and Cabinda Blended Crude Oil No. 3 Fraction, Petroleum Science and Technology, 28(11).
- Li L., Vuran M.C. and Akyildiz I.F.**, 2007, Characteristics of underground channel for wireless underground sensor networks, in: Proc. Med- Hoc-Net'07, Corfu, Greece, June.
- Liew S. C.**, 2006, Electromagnetic waves centre for remote imaging, sensing and processing, applied mechanics and materials, 239-240 p.
- Maréchal Y.**, 2011, The molecular structure of liquid water delivered by absorption spectroscopy in the whole ir region completed with thermodynamics data, Journal of Molecular Structure 1004, 146-155 pp.
- Max J.J. and Chapados C.**, 2009, J. Chem. Phys., 131 (2009), 184505 p.
- NASA**, "IR Astronomy: Overview".NASA Infrared Astronomy and Processing Center (Erişim tarihi: 30 Ekim 2006).
- Naumann D, Helm D, Labischinski H and Giesbrecht P.**, 1991. The Characterization of Microorganisms by Fourier-Transform Infrared Spectroscopy. In: Modern Techniques for Rapid Microbiological Analysis, Nelson WH (chief ed.) VCH, New York, 43–96 p.
- Peplinski N., Ulaby F., and Dobson M.**, 1995, Dielectric properties of soils in the 0.3-1.3-GHz range, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 33 (3) 803-807 pp.
- Perez-Caballero G., Andrade J. M., Muniategui S., and Prada D.**, 2009, Comparison of singlereflexion near-infrared and attenuated total reflection mid-infrared spectroscopies to identify and monitor hydrocarbons spilled in the marine environment, analytical and bioanalytical chemistry, 395 (7), 2335-2347 pp.
- Rosales P. I, Suidan M. T and Venosa A. D**, 2010, A laboratory screening study on the use of solidifiers as a response tool to remove crude oil slicks on seawater, chemosphere, 80(4):389-395 pp.
- Roy H.**, 2007, Wavelength Considerations, Instituts für Umform- und Hochleistungs. http://info.tuwien.ac.at/iflt/safety/section1/1_1_1.htm.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Schulte W.**, 2004, Experience for Use in CO₂ for Enhanced Oil Recovery in the USA, CO₂ Conference, Norway.
- Silva S. L., Silva A. M.S., Ribeiro J. C., Martins F. G., Da Silva F. A. and Silva C. M.**, 2011, Chromatographic and spectroscopic analysis of heavy crude oil mixtures with emphasis in nuclear magnetic resonance spectroscopy: a review, Vol.707 (1-2):18-37 pp.
- Sokullu R., Akkas M. A., and Demirel F.**, 2011, Data gathering system for watering and gas pipelines using wireless sensor networks, in Proc. of the Seventh International Conference on Networking and Services ICNS, Venice, Italy, May 2011, 190-195 pp.
- Stuart B.**, 2004, Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications, John Wiley & Sons, Ltd ISBNs: 0-470-85427-8 (HB); 0-470-85428-6 (PB).
- Stuber G.**, 1996, Principles of Mobile Communication, Kluwer Academic Publishers, 2/e 2001.
- Sun, Z. and Zhu, B.**, 2013, Channel and energy analysis on magnetic induction-based wireless sensor networks in oil reservoirs, IEEE ICC 2013, Ad-hoc and Sensor Networking Symposium, 1748–1752 pp.
- Sun, Z. and Akyildiz I. F.**, 2010, On capacity of magnetic induction-based wireless underground sensor networks, IEEE INFOCOM, March 2010, 370 – 378 pp.
- Sun, Z. and Akyildiz I. F.**, 2012, Key Communication Techniques for Underground Sensor Networks, in Foundations and Trends in Networking, Now Publishers Inc, Boston-Delft.
- Tilton L. W. and Taylor J. K.**, 1938, J. Res. Nat. Bur. Stand., 20, 419 (RP1085).
- Tzimas E., Mercier A., Cormos C.C. and Peteves S.D.**, 2005, Enhanced oil recovery using carbon dioxide in the European energy system. DG JRC, EUR 21895.
- UgMO**, 2014, Knows Irrigation Control Systems, <http://www.ugmo.com/solutions/sports-turf> (Erişim Tarihi: 9 Kasım 2014)
- Venkatesh M.S. and Raghavan G.S.V.**, 2004, An overview of microwave processing and dielectric properties of agri-food material, Biosystems Engineering, Elsevier, 88(1):1-18 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Vuran M. C. and Akyildiz, I. F.**, 2010, Channel modeling and analysis for wireless underground sensor networks, Physical Communication Journal (Elsevier), 3(4):245-254 pp.
- Wang P., Sun Z., Vuran M.C., Al-Rodhaan M.A., Al-Dhelaan A.M. and Akyildiz I.F.**, 2011, On network connectivity of wireless sensor networks for sandstorm monitoring, Computer Networks 55, 1150–1157 pp.
- William R.**, 1999, Infrared Spectroscopy, Michigan State University (Erişim tarihi: 27 Ekim 2006).
- Yamauchi S., Takayama K., Imai Y., Takeya K. and Tonouchi M.**, 2010, Dielectric behavior of water in thz influenced by alkali and alkaline-earth halides, infrared millimeter and terahertz waves (irmmw-thz), 35th International Conference, Rome, Italy. 33 -35 pp.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Mustafa Alper AKKAŞ

Doğum tarihi : 22/06/1982

Doğum yeri : KONYA/Seydişehir (TR)

Adres : Yaylacık Mah. 173. Sok no:30/4 Buca/İzmir Turkey

Telefon :(+90) 5447191737

E-mail : m_alperakkas82@yahoo.com

Eğitim :

- 1998-2001 Çankırı Süleyman Demirel Fen Lisesi CGPA: 4.13/5.00
- 2001–2006 Erciyes Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü (sınıf dördüncüsü) CGPA: 3.00/4

Çalışmalar :

- R. SOKULLU, M.A.AKKAŞ, 'Ns-2 Eğitimi ve Laboratuvar Programı' Elektrik Elektronik Bilgisayar Biyomedikal Mühendislikleri Eğitimi IV. Ulusal Sempozyumu, 22-24 Ekim 2009
- M.A.AKKAŞ, R. SOKULLU ' Monitoring and collecting data using micaZ motes' The Fourth International Student Conference on Advanced Science and Technology ICAST, 25-26 May 2010 Ege University, İzmir,
- The Fourth International Student Conference on Advanced Science and Technology ICAST, 25-26 May 2010 Ege University, İzmir, düzenleme komitesinde yer aldı.
- R. SOKULLU, M.A.AKKAŞ, and H. E. ÇETİN 'Wireless Patient Monitoring System' The Fourth International Conference on Emerging Security Information, Systems and Technologies SECURWARE 2010, July 18 - 25, 2010 - Venice/Mestre, Italy
- R. SOKULLU, M.A.AKKAŞ, and F. DEMİREL 'Data Gathering System for Watering and Gas Pipelines Using Wireless Sensor Networks' The Seventh International Conference on Networking and Services ICNS 2011 May 22-27, 2011 - Venice/Mestre, Italy
- O. Karaca, M. A. Akkas, R. Sokullu, "Application Specific Joint Optimization Model in WSN," in Proc. of the International

Student Conference on Advanced Science and Technology ICAST, Shandong University, China, September 2011.

- Prof.Dr.I.Fuat Akyıldız , "Nanonetworks: A New Frontier in Communications", 14.Şubat, 2011, İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi konferansına katıldı.
- Akkas, M. A., Akyildiz, I. F., and Sokullu, R, "Terahertz Channel Modeling of Underground Sensor Networks in Oil Reservoirs," to appear in Proc. of IEEE GLOBECOM 2012, Anaheim, California, December 2012.
- Akkas, M. A, Sokullu, R, "A Channel Model for Underground Sensor Networks in the Mixture of Crude Oil, Water and Soil" Journal of Communication and Computer: Volume 10, Number 10, October 2013, David Publishing Company, pp1333-1349

Diğer Akademik Faliyetler :

- 2005-2006 Erciyes Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü Sınıf Dördüncülüğü.
- 2006-2007 Almanya, Japonya veya A.B.D ülkelerinde geçerli olmak üzere Nanomanyetizma, Nanooptik ve Nanoelektronik alanında MEB Bakanlığı doktora bursu.
- 2011-2012 ÖYP bursu, Georgia Teknoloji Enstitüsünde, Geniş bant Kablosuz Ağ Laboratuvarında bir yıllık yurtdışı bursu.
(2011-2012 Georgia Teknoloji Enstitüsünde Geniş bant Kablosuz Ağ Laboratuvarın da bir yıl boyunca Prof. Dr. Ian F. Akyildiz danışmanlığında Kablosuz Yeraltı Alıcı Ağlarında ziyaretçi öğrenci olarak çalıştı) <http://users.ece.gatech.edu/~makkas3/index.html>
- TURKISH JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING & COMPUTER SCIENCES dergisinde hakemlik.
- IEEE Transactions on Vehicular Technology dergisinde hakemlik.
- Wireless Personal Communications dergisinde hakemlik.