

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜZEYE YAKIN SAÇICILARIN SAÇILMIŞ YÜZEY DALGALARI İLE
GÖRÜNTÜLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serdar DEMİREL

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeofizik Mühendisliği Programı

Ocak 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜZEYE YAKIN SAÇICILARIN SAÇILMIŞ YÜZEY DALGALARI İLE
GÖRÜNTÜLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Serdar DEMİREL
(505091415)**

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeofizik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ayşe KAŞLILAR

Ocak 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505091415 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Serdar Demirel**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**YÜZEYE YAKIN SAÇICILARIN SAÇILMIŞ YÜZEY DALGALARI İLE GÖRÜNTÜLENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Ayşe KAŞLILAR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Ayşe KAŞLILAR**

Prof. Dr. Argun KOCAOĞLU

Prof. Dr. Oğuz ÖZEL

Teslim Tarihi : **23 Aralık 2011**

Savunma Tarihi : **26 Ocak 2012**

Sevgili aileme,

ÖNSÖZ

Bu çalışmada en az benim kadar emeği geçen ve bana sürekli destek olan bitirme projesi danışmanım Sayın Doç. Dr. Ayşe KAŞLILAR' a, mezuniyet derecesine gelene kadar bende emeği olan tüm hocalarıma, aynı zamanda desteklerini sürekli hissettiren aileme yapmış oldukları bütün fedakarlıklardan dolayı teşekkürü borç bilirim. Bu çalışma, “Yüzeye yakın saçıcıların saçılmış yüzey dalgaları kullanılarak ters saçılma ve sismik interferometri yöntemleri ile belirlenmesi” başlıklı “110Y250” numaralı TÜBİTAK 1001 Araştırma projesi tarafından desteklenmiştir. TÜBİTAK tarafından sağlanan maddi destekten dolayı çok teşekkür ederim.

Aralık 2011

Serdar DEMİREL
(Jeofizik ve Matematik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. YÖNTEM.....	7
2.1 Saçılmış Yüzey Dalgalarının Modellenmesi.....	7
2.2 Saçılmış Yüzey Dalgaları ile Saçıcıların Görüntülenmesi.....	12
3. UYGULAMALAR.....	17
3.1 Born Yaklaşımının Geçerli Olduğu Durumdaki Farklı Saçıcı Boyutları ve Derinlikleri için Saçıcının Görüntülenmesi.....	21
3.2 Born Yaklaşımının Geçerli Olmadığı Durumdaki Farklı Saçıcı Boyutları ve Derinlikleri için Saçıcının Görüntülenmesi.....	33
3.3 Farklı Frekans Bantları Kullanılarak Saçıcının Görüntülenmesi.....	47
4. SONUÇLAR.....	53
KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	59

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 : Artalan ve saçıcı yoğunlukları.....	4
Çizelge 1.2 : Saçıcı boyut ve derinlikleri.....	5
Çizelge 3.1 : Artalan ve saçıcıya ait hız, yoğunluk bilgileri.....	17
Çizelge 3.2 : Çalışmada esas alınan parametreler.....	17
Çizelge 3.3 : Ters çözümde uygulanan farklı frekans bantları	47

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

- Şekil 1.1 :** Ortama gömülü olan saçıcı model gösterimi; artalan (gri), gömülü saçıcı (siyah).....2
- Şekil 1.2 :** Modelin şematik gösterimi.....4
- Şekil 2.1 :** Doğrudan gelen dalga alanını oluşturan yatay tabakalı ortam (sol) ve ortama saçıcı gömülerek saçılmış dalga alanını oluşturan ortam (sağ).....9
- Şekil 2.2 :** Ortamın 3 boyutlu gösterimi, kaynak konumu (kırmızı nokta), saçıcı gerçek konumu (kahverengi kutu) ve Green tablosunun hesapladığı noktalar (siyah üçgen).....11
- Şekil 2.3 :** Ortamın yukarıdan gösterimi, kaynak konumu (kırmızı nokta), saçıcı gerçek konumu (kahverengi kutu) ve Green tablosunun hesapladığı noktalar (siyah kutu).....11
- Şekil 3.1 :** Boyutu h ve derinliği d olan saçıcı için düz çözüm sonuçları: (a) Direk Dalga Alanı, (b) Saçılmış Dalga Alanı, (c) Direk Dalga Alanı.....18
- Şekil 3.2 :** Boyutu h ve derinliği d olan saçıcı için saçılmış dalga alanı (a), ters çözüm sonucu elde edilen saçılmış dalga alanı (b).....19
- Şekil 3.3 :** Boyutu h ve derinliği d olan saçıcının konumu ve yoğunluk kontrastı (Beyaz çubuk saçıcının gerçek konumunu temsil etmektedir).....20
- Şekil 3.4 :** Ters çözümdeki iterasyon sayısı ve hata değerleri.....20
- Şekil 3.5 :** Boyutu h ve yoğunluğu $3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan saçıcının konumu ve yoğunluk kontrastı, $z = 0 \text{ mm}$ () (a), $z = 0.8 \text{ mm}$ () (b), $z = 1.6 \text{ mm}$ () (c) ve $z = 2.4 \text{ mm}$ () (d) (Beyaz çubuklar saçıcının gerçek konumunu temsil etmektedir).....22
- Şekil 3.6 :** Boyutu h ve yoğunluğu $3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan saçıcının farklı derinliklerdeki (a) ve (b) grafikleri.....23
- Şekil 3.7 :** Boyutu h ve yoğunluğu $3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan saçıcının farklı derinlikler için ters çözüm sonucu elde edilen maksimum yoğunluk kontrastı değerleri, (a) ve (b) grafikleri.....24
- Şekil 3.8 :** Boyutu h ve yoğunluğu $3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan saçıcının konumu ve yoğunluk kontrastı, $z = 0 \text{ mm}$ () (a), $z = 0.8 \text{ mm}$ () (b), $z = 1.6 \text{ mm}$ () (c) ve $z = 2.4 \text{ mm}$ () (d) (Beyaz çubuklar saçıcının gerçek konumunu temsil etmektedir).....25
- Şekil 3.9 :** Boyutu h ve yoğunluğu $3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan saçıcının farklı derinliklerdeki (a) ve (b) grafikleri.....26

- Şekil 3.10 :** Boyutu 3×10^{-6} kg mm⁻³ ve yoğunluğu 3×10^{-6} kg mm⁻³ olan saçıcının farklı derinlikler için ters çözüm sonucu elde edilen maksimum yoğunluk kontrastı değerleri, (a) ve (b) grafikleri.....27
- Şekil 3.11 :** Boyutu 3×10^{-6} kg mm⁻³ ve yoğunluğu 3×10^{-6} kg mm⁻³ olan saçıcının konumu ve yoğunluk kontrastı, $z = 0$ mm () (a), $z = 0.8$ mm () (b), $z = 1.6$ mm () (c) ve $z = 2.4$ mm () (d) (Beyaz çubuklar saçıcının gerçek konumunu temsil etmektedir).....28
- Şekil 3.12 :** Boyutu 3×10^{-6} kg mm⁻³ ve yoğunluğu 3×10^{-6} kg mm⁻³ olan saçıcının farklı derinliklerdeki (a) ve (b) grafikleri.....29
- Şekil 3.13 :** Boyutu 3×10^{-6} kg mm⁻³ ve yoğunluğu 3×10^{-6} kg mm⁻³ olan saçıcının farklı derinlikler için ters çözüm sonucu elde edilen maksimum yoğunluk kontrastı değerleri, (a) ve (b) grafikleri.....30
- Şekil 3.14 :** Farklı boyuttaki ((Siyah), (Kırmızı), (Mavi)) saçıcıların, 3×10^{-6} kg mm⁻³ yoğunluk değeri ve farklı derinlikler için ters çözüm sonucu elde edilen maksimum yoğunluk kontrastı değerleri, (a) ve (b) grafikleri.....31
- Şekil 3.15 :** Yoğunluğu 3×10^{-6} kg mm⁻³ ve boyutları farklı olan çeşitli derinliklerdeki saçıcının; (a), (b), (c), (d) ters çözüm sonucu elde edilen hata değerleri.....32
- Şekil 3.16 :** Yoğunluğu 3×10^{-6} kg mm⁻³ olan ve boyutları , olan saçıcıların ters çözüm sonucundaki boyut kestirimi hata değerleri....33
- Şekil 3.17 :** Boyutu 7×10^{-6} kg mm⁻³ ve yoğunluğu 7×10^{-6} kg mm⁻³ olan Saçıcının konumu ve yoğunluk kontrastı, $z = 0$ mm () (a), $z = 0.8$ mm () (b), $z = 1.6$ mm () (c) ve $z = 2.4$ mm () (d) (Beyaz çubuklar saçıcının gerçek konumunu temsil etmektedir).....35
- Şekil 3.18 :** Boyutu 7×10^{-6} kg mm⁻³ ve yoğunluğu 7×10^{-6} kg mm⁻³ olan saçıcının farklı derinliklerdeki (a) ve (b) grafikleri.....36
- Şekil 3.19 :** Boyutu 7×10^{-6} kg mm⁻³ ve yoğunluğu 7×10^{-6} kg mm⁻³ olan saçıcının farklı derinlikler için ters çözüm sonucu elde edilen maksimum yoğunluk kontrastı değerleri, (a) ve (b) grafikleri.....37
- Şekil 3.20 :** Boyutu 7×10^{-6} kg mm⁻³ ve yoğunluğu 7×10^{-6} kg mm⁻³ olan Saçıcının konumu ve yoğunluk kontrastı, $z = 0$ mm () (a), $z = 0.8$ mm () (b), $z = 1.6$ mm () (c) ve $z = 2.4$ mm () (d) (Beyaz çubuklar saçıcının gerçek konumunu temsil etmektedir).....38
- Şekil 3.21 :** Boyutu 7×10^{-6} kg mm⁻³ ve yoğunluğu 7×10^{-6} kg mm⁻³ olan saçıcının farklı derinliklerdeki (a) ve (b) grafikleri.....39
- Şekil 3.22 :** Boyutu 7×10^{-6} kg mm⁻³ ve yoğunluğu 7×10^{-6} kg mm⁻³ olan saçıcının farklı derinlikler için ters çözüm sonucu elde edilen maksimum yoğunluk kontrastı değerleri, (a) ve (b) grafikleri.....40
- Şekil 3.23 :** Boyutu 7×10^{-6} kg mm⁻³ ve yoğunluğu 7×10^{-6} kg mm⁻³ olan Saçıcının konumu ve yoğunluk kontrastı, $z = 0$ mm () (a), $z = 0.8$ mm () (b), $z = 1.6$ mm () (c) ve $z = 2.4$ mm () (d) (Beyaz çubuklar saçıcının gerçek konumunu temsil etmektedir).....41
- Şekil 3.24 :** Boyutu 7×10^{-6} kg mm⁻³ ve yoğunluğu 7×10^{-6} kg mm⁻³ olan saçıcının farklı frekans batları için (a) ve (b) grafikleri.....42
- Şekil 3.25 :** Boyutu 7×10^{-6} kg mm⁻³ ve yoğunluğu 7×10^{-6} kg mm⁻³ olan saçıcının farklı derinlikler için ters çözüm sonucu elde edilen maksimum yoğunluk kontrastı değerleri, (a) ve (b) grafikleri.....43

grafikleri.....43

- Şekil 3.26 :** Farklı boyuttaki ((Siyah), (Kırmızı), (Mavi)) saçıcıların, 7×10^{-6} kg mm⁻³ yoğunluk değeri ve farklı derinlikler için ters çözüm sonucu elde edilen maksimum yoğunluk kontrastı değerleri, (a) ve (b) grafikleri.....44
- Şekil 3.27 :** Yoğunluğu 7×10^{-6} kg mm⁻³ ve boyutları farklı olan çeşitli derinliklerdeki saçıcının; (a), (b), (c), (d) ters çözüm sonucu elde edilen hata değerleri.....45
- Şekil 3.28 :** Yoğunluğu 7×10^{-6} kg mm⁻³ olan ve boyutları , olan saçıcıların ters çözüm sonucundaki boyut kestirimi hata değerleri.....46
- Şekil 3.29 :** Üç farklı derecedem alçak geçirir Butterworth filtresi: $n = \{1, 4, 10\}$. Derece artınca filtre ideale yaklaşmaktadır.....48
- Şekil 3.30 :** Boyutu ve yoğunluğu 7×10^{-6} kg mm⁻³ olan saçıcının, FB 0 (a), FB 1 (b), FB 2 (c) ve FB 3 (d) bantlarındaki ters çözüm sonuçları (Beyaz çubuklar saçıcının gerçek konumunu temsil etmektedir).....49
- Şekil 3.31 :** Boyutu ve yoğunluğu 7×10^{-6} kg mm⁻³ olan saçıcının farklı frekans batları için (a) ve (b) grafikleri.....50
- Şekil 3.32 :** Boyutu olan ve çeşitli derinliklerdeki (a), (b), (c), (d) saçıcının farklı frekans bantlarındaki hata değerleri.....51
- Şekil 3.33 :** Boyutu, derinliği ve yoğunluğu 7×10^{-6} kg mm⁻³ olan saçıcının, FB 0 (a), FB 1 (b), FB 2 (c) ve FB 3 (d) bantlarındaki ters çözüm sonucu elde edilen saçılmış dalga alanları.....52

YÜZEYE YAKIN SAÇICILARIN SAÇILMIŞ YÜZEY DALGALARI İLE GÖRÜNTÜLENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada saçılmış yüzey dalgaları yardımı ile yüzeye yakın saçıcıların görüntülenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için geliştirilmiş bir yöntem ve program kullanılmıştır. Yöntemde yatay tabakalı ortamda 3 boyutlu elasto-dinamik dalga yayılımı dikkate alınmıştır. Saçıcı ortama gömülerek modellenmektedir. Yöntemde Born yaklaşımı dikkate alınmakta ve saçılmış dalga alanı domen tipi integral yardımı ile ifade edilmektedir. Yöntemde saçılmış dalga alanı hesaplanırken sadece yoğunluk kontrastı dikkate alınmaktadır. Dalga yayılımı saçılma matrisi yöntemi ile modellenmektedir. Yatay tabakalı ortam varsayımı nedeniyle ortamın fiziksel özellikleri sadece düşey yönde değiştiğinden radyal simetriden yararlanılmakta ve integral ifadesinde yer alan Green tensörü elemanlarının hesaplama süresi etkin hale getirilmektedir.

Yüzeye yakın saçıcıların belirlenmesi amacıyla Born yaklaşımının geçerli olduğu ve olmadığı iki koşulda farklı saçıcı boyutları ve derinlikleri dikkate alınarak kestirilen yoğunluk kontrast değerlerinin değişimi incelenmiştir. Derinliğin artması ile kestirilen yoğunluk kontrastı değerlerinin gerçek değerden uzaklaştığı ve hata oranının arttığı belirlenmiştir. Bunun nedeni ise yüzey dalgaları genliğinin derinlikle azalmasından kaynaklanmaktadır. Ancak her koşulda saçıcının konumu doğru bir şekilde belirlenebilmektedir.

Sayısal olarak oluşturulan saçılmış dalga alanları, sinyal bandının tanımlı olduğu düşük, orta ve yüksek frekans bandlarında süzgeçlenerek ters çözümü yapılmıştır. Orta (baskın) frekans bandının yoğunluk kontrastı kestiriminde daha başarılı sonuç verdiği belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada dikkate alınan koşullar altında yüzey dalgaları yardımıyla saçıcının konumunun belirlenebildiğini gösterilmiştir. Gerçek yoğunluk kontrastı değeri ise koşula bağlı olarak belli hata oranları ile elde edilebilmiştir.

IMAGING NEAR-SURFACE SCATTERERS BY SCATTERED SURFACE WAVES

SUMMARY

Surface waves are widely used for determining properties of the subsurface on different scales. In most applications, the dispersion of surface waves is analysed to yield depth-dependent velocity profiles. However, the heterogeneity of the shallow subsurface complicates such as analysis because of the scattering it causes.

The estimation of the shear-wave velocity from the surface waves become a popular tool and different techniques are applied for this purpose. In civil and environmental engineering the detection of cavities is of great interest and surface waves are convenient for this purpose (Leparoux et al, 2000). Imaging shallow layers by body waves requires high resolution data acquired in a dense spatial array. Surface waves do not require the same dense sampling, since their wavelengths are longer when compared to body waves. Therefore, surface waves are more economic for this purpose. Surface waves are widely used in global, exploration and near-surface geophysics.

Scattering is a general physical process where some forms of radiation, such as light, sound, or moving particles, are forced to deviate from a straight trajectory by one or more localized non-uniformities in the medium through which they pass. In conventional use, this also includes deviation of reflected radiation from the angle predicted by the law of reflection. Reflections that undergo scattering are often called diffuse reflections and unscattered reflections are called specular (mirror-like) reflections. The types of non-uniformities which can cause scattering, sometimes known as scatterers or scattering centers, are too numerous to list, but a small sample includes particles, bubbles, droplets, density fluctuations in fluids, crystallites in polycrystalline solids, defects in monocrystalline solids, surface roughness, cells in organisms, and textile fibers in clothing. The effects of such features on the path of almost any type of propagating wave or moving particle can be described in the framework of scattering theory.

The complex structure of the near subsurface causes scattered surface waves. Scattered surface waves are sensitive to near-surface heterogeneities and they can be

used for imaging cavities, buried objects or shallow water reservoirs. A general theory of elastodynamic wave scattering is given by Snieder (2002a, b). The scattered waves often have high amplitudes and mask the reflections from deeper parts of the Earth. In some cases the information on the target reflectors is important, like in hydrocarbon exploration; therefore the elimination of the scattered surface waves becomes an important task.

There are many circumstances that necessitate nondestructive detection and characterization of underground cavities. For example, it may be required to locate a utility conduit before an excavation or to examine the presence of subsiding sinkholes to prevent pavement collapse. A number of different physical and geophysical techniques are being tested and used for cavity detection, such as ground penetrating radar (GPR), gravity gradiometer, magnetic and electromagnetic induction, seismic methods, and imagery analysis. Each of these methods has shown limited success in certain circumstances, but none of them has been unconditionally successful. By using the scattered surface waves Snieder (1987), Herman et al (2000) detect near surface objects. By considering a scalar approximation, Campman et al (2005) estimate the lateral variations and relative contrast of the heterogeneities from scattered surface waves. Riyanti and Herman (2005) consider 3D elastodynamic problem and include the effect of multiple scattering for near-surface imaging.

In this thesis, the propagation and scattering of elastic waves in an isotropic, laterally homogenous embedding is considered in which bounded objects with contrasting density are present. By using the linearity principle, the wavefield is expressed as the sum of an incident wavefield accounting for propagation in the embedding, and the scattered wavefield, accounting for the presence of the scatterer: $u_i = u_i^{inc} + u_i^{sc}$. Considering a vertical point force, the incident wave field can be expressed as $u_i = S \otimes u_{ij}^G$, where $S \otimes$ is the source waveform and u_{ij}^G is the Green's tensor. The Green's tensor elements are calculated in an efficient way by considering radial symmetry of the medium.

In this thesis, an inverse scattering method is used to determine the size, the location and properties of the heterogeneity. In the physics field of scattering theory, the inverse scattering problem is that of determining characteristics of an object (its shape, internal constitution, etc.) based on data of how it scatters incoming radiation or particles. In this study, it is aimed to observe the change of density contrast values for the different size of scatterers at the several depths with weak and strong density contrast.

The purpose of this thesis is to estimate the size, the location and the density contrast of the heterogeneity by using scattered surface waves. In this study an efficient

method developed by Kaslilar and Herman (2006) and Kaslilar (2007) is used for imaging the near surface heterogeneities in a half-space at different depths and sizes. For this reason, several models are considered: Imaging scatterers for several depths (, , ,), different sizes of scatterers (, , ,), different density contrasts (density contrast that satisfies the Born Approximation and not) and different frequency bands (low, middle and high bands).

First of all, forward problem has been solved. For this aim, different models are considered and by using these models' parameters, scattered wavefield is calculated. By using the calculated scattered wavefields, inverse problem has been solved. In here, inverse problem can be defined as estimating the size, the location and the density contrast value of scatterers. In all of models, the location and the size of the scatterers were observed; also the density contrast values were calculated. For the models with the scatterers on surface, density contrast values were measured with a high accuracy. On the other hand, when the scatterers located at any depths, the density contrast values are estimated with a low accuracy. But, it is possible to observe that in all conditions the locations of scatterers are well-estimated. It is possible to say that, the scatterer with the size of gives the best result and the calculated density contrast value is the closer the real density contrast value.

Another research in this project is to determine the results for specific frequency bands. In aiming of categorizing these bands, there have been applied Butterworth filter to full-band scattered wavefield which came with the result of three frequency bands: low, mid and high. At the end, the best results on the inversed scattered wavefield have been observed at mid (dominant) frequency band.

It is seen that, in all cases considered, the density contrast value is estimated with less accuracy as the depth of the scatterer increases. However in all cases the location of the scatterer is reasonably well estimated.

1. GİRİŞ

Sismik yöntemler yardımı ile yer altı yapılarının belirlenmesi, yer içinde yayılan cisim ve yüzey dalgalarının kayıt edilmesi, ve bu dalgaların yansıma, kırılma, saçılma ve dispersiyon özellikleri kullanılarak değerlendirilmesi ile gerçekleştirilir.

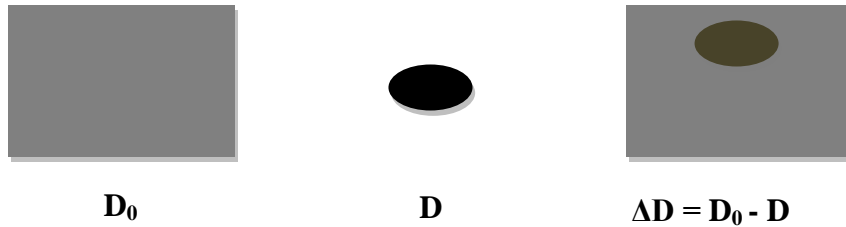
Cisim dalgaları yardımıyla ile yüzeye yakın yapıların kestirilmesi yüksek çözünürlükte ve sık alıcılarla toplanmış veri gerektirmektedir. Yüzey dalgaları ise bu kadar yoğun örnekleme aralığına ihtiyaç duymamaktadır. Yüzey dalgalarının dalga boyları cisim dalgalarına oranla daha uzun olduğundan sık alıcı örnekleme gerektirmez. Bu nedenle daha ekonomiktirler.

Yüzey dalgalarının dispersif özelliği S-dalgası hız yapısının ve soğurulma yapısının kestirilmesine olanak vermektedir. Pasif gürültü kaynaklarından sismik interferometri yoluyla elde edilen yüzey dalgalarını kullanarak deprem kaynak özellikleri belirlenebilmektedir (Gertstoft ve diğ., 2006; Moschetti ve diğ., 2007). Aynı zamanda aktif doğal kaynaklı yüzey dalgası kayıtları, yüzey dalgaları küresel sismolojide kabuk ve üst manto hız yapılarının deprem kaynak özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Kovach, 1978; Cong ve Mitchell, 1998; Chang ve Baag, 2005). Jeoteknik araştırmalarda, yüzey dalgalarından hız yapısı kestirimi yoğun olarak kullanılmakta ve çeşitli teknikler geliştirilmektedir (Leparoux ve diğ., 2000; Boiero ve Socco, 2010). Bu tür çalışmalar sismik tehlike analizi ve tehlikenin önlenmesi çalışmalarının amacına uygundur (Nazarian ve diğ., 1983; Rix ve diğ., 1998; Park ve diğ., 1999; Foti, 2000; O'Neill, 2003). Yüzey dalgaları ayrıca gömülü objelerin aranmasında Ganji ve diğ. (1997), boşluk veya tünellerin belirlenmesinde Leparoux ve diğ. (2000), Gelis ve diğ. (2005, 2006); ve arkeolojik çalışmalarda da kullanılmaktadır (Luke ve Brady, 1998). Yüksek genlikteki yüzey dalgaları yer yüzünün daha derin kısımlarından gelen yansımaları maskeleymektedir. Bazı durumlarda hedef yansıtıcıdan gelen bilgiler önemlidir; hidrokarbon araştırmaları. Bundan dolayı yüzey dalgalarının giderilmesi çok önemli bir yer tutmaktadır. Yüzeye yakın saçıcı yapılar (boşluk, mağara, arkeolojik kalıntı, maden ocağı, vb.) saçılmış cisim ve yüzey dalgalarına yol açar. Genel elasto-dinamik dalga saçılımı

teorisi Sneider (2002a, b) tarafından verilmiştir. Saçılmış dalgaları kullanarak Snieder (1987) ve Herman ve diğ. (2000) yüzeye yakın cisimleri belirlemeye çalışmışlardır. Campman ve diğ. (2005) yatay değişim ve görece yoğunluk kontrastını saçılmış yüzey dalgalarını kullanarak belirlemişlerdir. Riyanti ve Herman (2005) üç boyutlu elasto-dinamik problemini dikkate almış ve yakın yüzey görüntülemesi için çoklu saçılmanın etkilerini dahil etmiştir.

Bu çalışmada amaç saçılmış yüzey dalgalarını kullanarak ters saçılma yardımıyla yüzeye yakın saçıcıların konumunu, boyutunu ve yoğunluk kontrastları kestirmektir. Bunun için Herman ve Kaslılar (2006) ve Kaslılar (2007) tarafından geliştirilmiş program kullanılmıştır. Ters saçılma problemleri çok sayıda mühendislik ve bilim problemlerinin ilgisini çekmiştir. Ters saçılmanın farklı metodları, ilgilenilen alanı görüntülemek amacı ile tıpta malzeme biliminde ve yer bilimlerinde kullanılmıştır. Görüntülemeye ki amaç ise hedeflenen nesnenin şeklini, yerini ve fiziksel özelliklerini (yoğunluk, hız, iletkenlik, kırılma indeksi, v.s.) elektromanyetik, akustik ya da elastik dalgaları kullanarak belirlemektir. Eğer dalgaların saçılımı sınırlı bir yüzey (kare, daire ve elips) için yapılırsa integral yöntemi saçılma problemini çözmek için çok daha etkin ve yeterlidir. Eğer saçıcının karmaşık bir geometrisi var ise sonlu farklar ya da sonlu elemanlar metodları uygun olacaktır. Ancak bu durumda ise hesaplama süresi daha fazla olacaktır.

Çalışmada üç boyutlu elasto-dinamik dalga yayılımı uygulanmıştır. Ortama gömülmüş bir şekilde duran saçıcının olduğu düşünülmüştür. Green tensörü elemanlarının hesaplama süresi ortamda radyal simetri olduğu için etkin hale getirilmiştir.



Şekil 1.1 : Ortama gömülü olan saçıcı model gösterimi; artalan (gri), gömülü saçıcın (siyah).

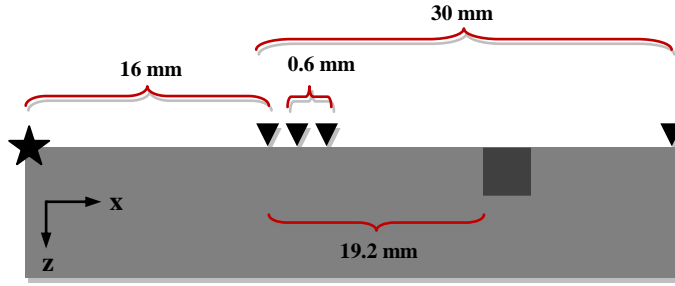
Şekil 1.1' de artalan ortam ve ortama gömülü bir şekilde duran saçıcı gösterilmiştir. Buna göre D artalan ortamın tanım kümesidir, D_0 ise saçıcının tanım kümesidir. Born yaklaşımı kullanılmış ve saçılmış dalga alanı domen tipi integral ile ifade edilmiştir. Düz ve ters saçılma problemleri bu durumlar altında çözülmüştür. Bu amaç ile çeşitli modeller ele alınmıştır. Ele alınan modeller; farklı derinlikteki saçıcıların görüntülenmesi, farklı boyutlardaki saçıcıların modellenmesi ve farklı yoğunluk kontrastının bulunduğu (Born yaklaşımının kullanıldığı ve kullanılmadığı) saçıcıların görüntülenmesi şeklinde sıralanabilir.

Çalışmadaki asıl amaç saçılmış yüzey dalgalarını kullanarak yüzeye yakın süreksizliklerin yoğunluk kontrastını ve yerini tespit etmektir.

Ters çözüm işlemlerine geçmeden önce düz çözüm sonuçlarının elde edilmesi gerekmektedir. Bunun için önce Kaslılar (2007)' deki model parametreleri baz alınmıştır. Önceden oluşturulan Green tablosu elemanları direk ve saçılmış dalga alanlarının oluşturulmasında kullanılarak düz çözüm işlemleri uygulanmıştır. Elde edilen direk dalga alanı ve saçılmış dalga alanları toplanarak toplan dalga alanı oluşturulmuştur.

Ters çözüm işlemleri düz çözüm sonucu elde edilen saçılmış dalga alanı kullanılarak yapılmıştır. Düz çözümde kullanılan saçıcı boyutları $2 \times 2 \times 2$, $4 \times 4 \times 4$ ve $6 \times 6 \times 6$ olan küp biçiminde düşünülmüştür. Bununla birlikte ortama ait hız ve yoğunluk değerleri girildikten sonra ters çözüm hücre sayıları optimum şekilde belirlenmiş (En büyük saçıcıyı içerisinde tutabilecek büyüklükte seçilmiştir: $9 \times 9 \times 14$) ve ters çözüm işlemine başlanmıştır. Yapılan modellerin derinlik dilimlerine bağlı olarak gösterimi yapılmış ve görsel olarak saçıcının yerinin nerede gözlemlendiği belirlenmiştir.

Çalışmalarda kullanılan modelin şematik gösterimi Şekil 1.2' de verilmiştir. Buna göre: arkaplan ortam alüminyum blok (gri), kaynak (yıldız), alıcılar (üçgen), saçıcı (kutu) şekilde belirtilmiştir. Kaslılar (2007)' deki model temel alındığı için çalışmada blok alüminyum, saçıcı ise epoksi olarak düşünülmüştür.



Şekil 1.2 : Modelin şematik gösterimi.

Çalışmada kullanılan farklı yoğunluk, boyut ve derinlikteki saçıcı aşağıdaki çizelgelerde ifade edilmiştir. Buna göre; artalan ortam yoğunluk değeri (Alüminyum) yoğunluk kontrastı;

(Born yaklaşımı kullanılmadan), (Born yaklaşımı kullanılarak). Alıcılar arası mesafe 0.6 mm ()'dir ve saçıcı üzerinde yerleştirilmişlerdir. Çalışmada kullanılan Rayleigh dalgasının baskın dalga boyu, baskın frekansın 1 MHz olduğu kabul edilerek olarak bulunmuştur. Çalışmanın ileri kısımlarında Rayleigh dalgasının baskın dalga boyu , şeklinde tanımlanacaktır.

Verilen Çizelge 1.1' artalan (alüminyum) içerisine gömülü olan farklı saçıcı yoğunlukları verilmiştir. Çizelgedeki yoğunluklar kullanılarak düz çözüm ile saçılmış dalga alanı oluşturulmuş ve oluşturulan dalga alanlarına ters çözüm yöntemi uygulanmıştır.

Çizelge 1.1: Arkaplan ortam ve saçıcı yoğunlukları.

	Yoğunluk (kg mm^{-3}) (Born yaklaşımı kullanılarak)	Yoğunluk (kg mm^{-3}) (Born yaklaşımı kullanılmadan)
Alüminyum	2.70×10^{-6}	2.70×10^{-6}
Saçıcı	3.00×10^{-6}	7.00×10^{-6}

Çizelge 1.2' de çalışmada kullanılan saçıcı boyutları ve her saçıcı boyutu için ele alınan derinlik değerleri verilmiştir.

Çizelge 1.2: Saçıcı boyut ve derinlikleri.

Saçıcı Boyutları (mm)				
Saçıcı Derinliği (mm)				

Bu çalışma kapsamında baskın dalga boyu ile ilişkilendirilen üç farklı saçıcı büyüklüğü ele alınmıştır. Saçıcı yerinin belli olduğu durumlar göz önüne alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Verilen fiziksel modelin alıcıda oluşturduğu dalga alanı hesaplanmış, bir başka deyişle düz problem çözümü (düz modelleme) yapılmıştır. Bu durumlar için düz problem çözümü ile dalga alanı oluşturulduktan sonra elde edilen verilere ters çözüm yöntemleri uygulanarak saçıcının yeri tespit edilmeye çalışılmıştır. Aynı çalışmada baskın dalga boyu ile ilişkilendirilen dört farklı derinliğe saçıcı yerleştirilmiş ve ters çözüm yöntemleri uygulanarak saçıcının yerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Derinlik dilimlerine bağlı olarak yoğunluk kontrastının değişimi şekil olarak elde edilmiş ve çalışmada sunulmuştur. Böylece saçıcının derinliği değiştikçe ters çözüm yöntemi sonucunda elde edilen yoğunluk farklarının ne şekilde değiştiği gözlemlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre; saçıcı yüzeydeyken yoğunluk kontrastı kestirimi gerçek değere en yakın değerini almıştır. Gerçek yoğunluk kontrastı ile elde edilen kontrast değeri hemen hemen aynı olduğu belirlenmiştir. Ancak saçıcı derine yerleştirildiğinde hesaplanan yoğunluk kontrastı gerçek değerden uzaklaşmıştır. Farklı boyuttaki saçıcılar ele alındığında ise elde edilen yoğunluk kontrastlarının benzer şekilde değişim gösterdiği belirlenmiştir. Çalışmada saçıcı boyutu kestiriminde incelenmiştir. Buna göre boyutu olan saçıcının boyutunun kestirimindeki hata miktarının daha az olduğu görülmüştür. Yapılan bir başka çalışmada, boyutu ve derinliği olan saçıcı için elde edilen saçılmış dalga alanına Butterworth filtresi uygulanmıştır. Farklı frekans bantları (düşük, orta ve yüksek bant) için uygulanan ters çözüm sonucunda ise, en iyi sonucu orta bantta filtrelenmiş saçılmış dalga alanının verdiği belirlenmiştir.

Bölüm 2' de, çalışmada kullanılan yöntem ve yöntemin teorisinden bahsedilmiştir.

Ters ve düz problem çözümü incelenmiştir. Bölüm 3' te, çalışmadaki uygulamalardan örnekler verilmiştir. Farklı saçıcı boyutları ve derinlikleri için Born yaklaşımının kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlar ele alınmıştır. Aynı zamanda farklı frekans bantlarındaki ters çözüm sonuçları incelenmiştir. Bölüm 4' te ise yapılan uygulamalar sonucunda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. YÖNTEM

2.1 Saçılmış Yüzey Dalgalarının Modellenmesi

Bu çalışmada Kaslılar (2007) tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır. Üç boyutlu elasto-dinamik dalga yayılımı ortamın yatay tabakalı ve yön bağımsız kabul edilerek modellenmiştir. Frekans ortamında hareket denklemi (2.1) ve bünye denklemi (2.2) aşağıdaki eşitliklerde ifade edilmiştir.

(2.1)

(2.2)

Uzaydaki bir \mathbf{x} noktasının konumu kartezyen koordinat sistemine göre belirlenmiştir. Buna göre \mathbf{x} noktasının konumu $\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3)$ dir. $x_1 = x$, $x_2 = y$ yatay eksenlerin temsilinde $x_3 = z$ ise dişey eksen olarak düşünölmüştür. Eşitliklerde Einstein uylasıımı kullanılarak toplam halinde yazılması gereken yerlerde kısaltılmaya gidilmiştir. Eşitlik (2.1)' de i ' ler üzerinde, eşitlik (2.2)' de ise k ' lar üzerinde bir toplam olduğu anlaşılmalıdır ($k, i = 1, 2, 3$). ∇_i , ∂_i ' ye göre türev alma operatörüdür. Eşitlik (2.2)' deki ortam parametreleri; Lamé parametreleri (λ ve μ), kütle ve yoğunluktur (ρ). Yer değiştirme vektörü, stres tensörü ve cisim kuvveti; sırasıyla \mathbf{u} , \mathbf{T} ve \mathbf{f} notasyonları ile gösterilmiştir ve δ_{ij} ise Kronocker deltayı ifade etmektedir. Dalga alanının integrasyon temsili eşitlik (2.3)' teki gibi ele alınmıştır.

(2.3)

öyle ki

(2.4)

Direk dalga alanına (2.4)'teki gibi ifade edilmiştir. Eşitlikte, W kaynak dalgacığıdır.

(2.5)

artalan ortam içerisinde gömölü olan saçıcının oluşturduğu saçılmış dalga alanı (2.5)'daki gibi ifade edilmiştir. W kaynak – alıcı toplam dalga alanı, yoğunluk kontrastı (Saıcı yoğunluğu ve artalan (background) yoğunluğu arasındaki fark) ve \mathbf{u}_s , \mathbf{u}_a ve \mathbf{u}_t kaynak, alıcı ve saçıcı konumlarıdır ve D saçıcının tanım kümesidir (Şekil 1.1). Bağıtıda \mathbf{u}_s ise saçıcıdan alıcıya olan Green yerdeğiştirme

tenzörünü ifade etmektedir. Eşitlik (2.5)' teki ifadesi, saçıcı içerisindeki yerdeğiştirme olarak tanımlanmaktadır. Bu bilgi bilinmediği için Born yaklaşımı dikkate alınmış ve saçıcı yoğunluğunun artalan yoğunluğuna yakın olduğu varsayılmıştır. Born varsayımına göre;

(2.6)

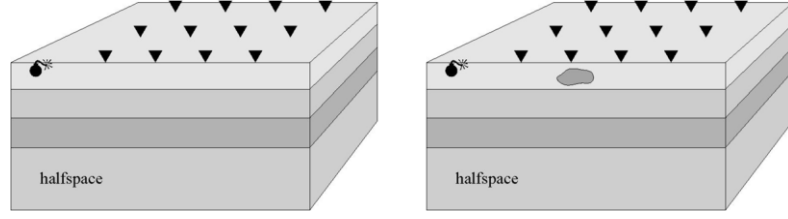
Eşitlik (2.6)' te, yoğunluk kontrastını, saçıcı yoğunluğu ve artalan yoğunluğu olarak ifade edilmiştir. Bu durumda yoğunluk farkının (), artalan yoğunluğundan çok küçük olduğu kabul edilmektedir. Born yaklaşımı ile saçıcı içerisindeki bilinmeyen dalga alanı direk dalga alanına eşit kabul edilmiş ve

(2.7)

ifadesi kullanılarak saçılmış dalga alanı elde edilmiştir, ifadede düşey bir nokta kaynak ile üretilmiş ve kaynaktan saçıcıya olan Green yerdeğiştirme tenzörünü (doğrudan gelen dalga alanı) temsil etmektedir.

(2.8)

(2.8) eşitliğinde dalga alanının doğrusallık özelliği kullanılarak toplam dalga alanı doğrudan gelen ve saçılmış dalga alanlarının toplamı şeklinde ifade edilir. Bağıntıda ve sırasıyla kaynak ve alıcı konumlarını, ve ise sırasıyla doğrudan gelen ve saçılmış dalga alanlarını tanımlamaktadır. Doğrudan gelen dalga alanı ortamda saçıcının olmadığı yatay tabakalı ortamı, saçılmış dalga alanı ise saçıcının bulunduğu ortamı temsil etmektedir (Şekil 2.1). Toplam dalga alanı (2.4), (2.7) ve (2.8) eşitlikleri kullanılarak yapılmıştır. Ortamda elasto-dinamik dalga yayılımının oluşturulabilmesi için bir takım varsayımlar yapılmıştır. Buna göre ortam lineer ve zaman bağımsız olarak düşünülmüştür. Aynı zamanda Betti-Rayleigh tersinirlik tipi evrişim uygulanmıştır. Bu evrişim tipine göre, özdeş olmayan iki durum aynı tanım kümesinde meydana geliyor ise birbirleri ile bağlantılılardır. Aynı zamanda ortamda Sommerfeld yayılma koşulu varsayımı kabul edilmiştir. Sommerfeld yayılma koşuluna göre; kaynaktan yayılan enerji geri dönmez. Çalışmada kullanılan kaynak düşey yönlü seçilmiş ve bu varsayımlar kullanılarak düz çözüm ile direk, saçılmış ve toplam dalga alanı oluşturulmuştur.



Şekil 2.1 : Doğrudan gelen dalga alanını oluşturan yatay tabakalı ortam (sol) ve ortama saçıcı gömülerek saçılmış dalga alanını oluşturan ortam (sağ).

Bağıntılarda yer alan Green tensörlerinin hesabı çok zaman aldığından önce ortamın fiziksel özellikleri (hız, yoğunluk ve soğurulma) ve geometrisi (atış, alıcı, saçıcı konumları) dikkate alınarak bir Green tablosu oluşturulmaktadır. Green tablosu hesaplama süresi oluşturulan modele göre değişmektedir. Yatay yönde süreksiz ve düşey yönde ortamın değiştiği kabul edilerek dalga (2.1) ve bünye (2.2) denklemleri adi diferansiyel denklemlere dönüştürülmüş ve silindirik koordinat sistemine geçilmiştir. Fourier-Henkel dönüşümleri uygulanarak dalga alanı düzlem dalgaya dönüştürülmüş ve Green tensörü elemanları Bessel fonksiyonu ile ifade edilmiştir. Denklem takımı saçılma matrisi metodu (Kennett, 1983; Ditzel, 2003) ile çözülmüştür. Ters Fourier-Henkel dönüşümü sonuçları aşağıdaki eşitliklerde belirtilmiştir:

$$\text{—————} \quad \text{——} \quad (2.9)$$

$$\text{——} \quad \text{—————} \quad (2.10)$$

$$(2.11)$$

Eşitliklerde J_m m mertebesindeki birinci tür Bessel fonksiyonudur. m, kaynak ile ilgili bir parametredir, yön bağımsız ortamdaki açı bağımlılığı olarak ifade eder. p ışın parametresi, z derinlik, θ açı, U Gerilme-Yer değiştirme vektörü düşey bileşeni, V ve W ise Gerilme-Yer değiştirme vektörü yatay bileşenleri olarak tanımlanmıştır. (2.9), (2.10) ve (2.11) integral ifadeleri analitik olarak çözülemediği için nümerik olarak çözülmüştür. Buna göre yukarıdaki yer değiştirme integral ifadeleri toplam olarak;

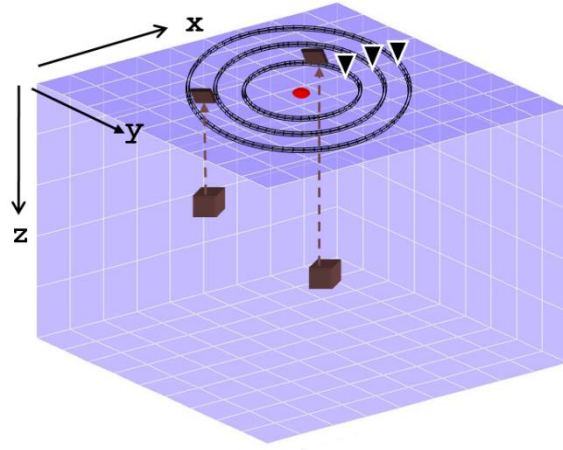
(2.12)

(2.13)

(2.14)

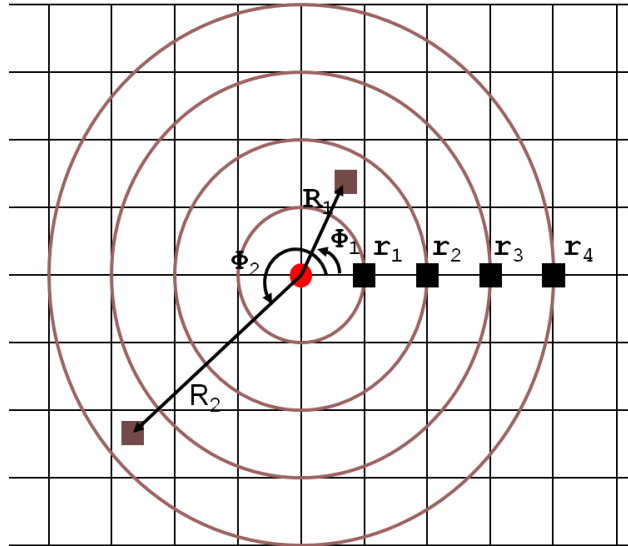
şeklinde ifade edilmiştir. , ve silindirik koordinatlarda yer değiştirme vektörleridir ve (2.9) - (2.11)' daki köşeli parantez içindeki ifadeler , ve şeklinde tanımlanmıştır. Eşitliklerde ışın parametresi ve açı bağımlılığı üzerinden bir toplam vardır; bu toplam işlemlerine saçıcının açı bilgiside eklenerek yer değiştirmeler silindirik koordinat düzleminde hesaplanmaktadır. Eşitliklerden görüldüğü gibi toplam her bir frekans (), uzaklık (), açı () ve derinlik () değeri için hesaplanmıştır. Daha sonra silindirik koordinatlardan kartezyen koordinatlara geçilmiş ve ters Fourier dönüşümü uygulanarak yer değiştirmenin zamana göre değişimi elde edilmiştir. Her bir frekans, uzaklık, açı, derinlik, açı bağımlılığı ve kaynak unsuru için bu elemanlar hesaplanmış ve bir tabloda tutulmuştur. Açı bağımlılığı, yön bağımsız ortamdaki kaynak tarafından oluşturulan açı değişimi olarak tanımlanabilir. Oluşturulan bu tabloya Green tablosu denilmektedir. Ancak bu tablo elde edildikten sonra, dalga alanları farklı atış, alıcı ve saçıcı konumları için çeşitli modeller üretilebilir ve ters çözümü yapılabilir gereksinimler için bir çok defa oluşturulabilir. Her seferinde tekrardan integralleri hesaplayarak zaman kaybetmek yerine hazırlanan Green tablosu kullanılmakta, modelde bulunan ancak tabloda değeri olmayan konumlar için ise interpolasyon yapılarak o nokta için Green tensör elemanı hesaplanmaktadır (Şekil 2.2).

Şekil 2.2' te üç boyutlu bir ortamda Green tensör elemanlarının hangi bölgeye denk geldiği gösterilmiştir. Ortamın içerisinde saçıcılar yerleştirilmiş ve yüzeydeki iz düşümleride gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Ortamın 3 boyutlu gösterimi, kaynak konumu (kırmızı nokta), saçıcı gerçek konumu (kahverengi kutu) ve Green tablosunun hesapladığı noktalar (siyah üçgen).

Aynı Çember üzerindeki her bir nokta için Green tensörü elemanı aynı değeri alacaktır, ancak saçıcının gerçek konumu için interpolasyon yapılmaktadır. İnterpolasyon ile hesaplanan tensör elemanlarının hatasının %1 den az olması için en küçük dalga boyunun $\frac{1}{4}$ ü kadar sıklıkta konum aralıklarında tensör elemanları hesaplanır. Şekil 2.3’ te Green tensör elemanlarının yukarıdan bakıldığında görüntüsü temsil edilmiştir.



Şekil 2.3 : Ortamın yukarıdan gösterimi, kaynak konumu (kırmızı nokta), saçıcı gerçek konumu (kahverengi kutu) ve Green tablosunun hesapladığı noktalar (siyah kutu).

2.2 Saçılmış Yüzey Dalgaları ile Saçıcıların Görüntülenmesi

Ters saçılma problemleri çok sayıda mühendislik ve bilim problemlerinin ilgisini çekmiştir. Ters saçılmanın farklı metodları, ilgilenilen alanı görüntülemek amacı ile tıpta, malzeme biliminde ve yer bilimlerinde kullanılmıştır. Görüntülemeye ki amaç ise hedeflenen nesnenin şeklini, yerini ve fiziksel özelliklerini (yoğunluk, hız, iletkenlik, kırılma indeksi, v.s.) elektromanyetik, akustik ya da elastik dalgaları kullanarak belirlemektir. Eğer dalgaların saçılımı sınırlı bir yüzey (kare, daire ve elips) için yapılırsa integral metodu saçılma problemini çözmek için çok daha uygun ve yeterlidir. Eğer saçıcının karmaşık geometrisi var ise sonlu farklar ya da sonlu elemanlar metodları uygun olacaktır. Ancak bu durumda ise hesaplama süresi daha fazla olacaktır.

Bu çalışmada Kaşlılar (2007)' de kullanılan yöntem kullanılmıştır. Ters çözüm işlemi, saçılmış dalga alanı kullanarak saçıcının konumunun, şeklinin ve fiziksel parametrelerinin belirlenmesini içermektedir. Green tensörünün tersinirlik prensibine göre, saçıcı ve alıcı yer değiştirebilmektedir:

(2.15)

Eşitlik (2.15)' te ifade edilen tersinirlik prensibi ile (2.7) eşitliği kullanılarak saçılmış dalga alanı elde edilmiştir. Aşağıdaki (2.16). eşitliği ile saçılmış dalga alanı ifade edilmiştir. Bu eşitlikte, saçılmış alan veri uzayı (S) olarak saçıcının yoğunluk kontrastı ise model uzayı olarak (D) ifade edilmiştir. Saçılmış dalga alanı model uzayı ve veri uzayı görüntülenerek (mapping) hesaplanmıştır. Alıcılardaki saçılmış dalga alanı.

(2.16)

ifadesi ile verilmiştir. Eşitlik (2.16)' daki M model verisini temsil etmektedir. Ters çözüm probleminde, Bu eşitlikteki bilinmeyen yoğunluk kontrastıdır (). Born yaklaşımı sonucu bu problem lineer ve birinci dereceden Fredholm integral denklemi formuna gelmiştir. Ters problemi çözmek için eşlenik gradyen metodu kullanılmıştır. Bu yöntem yoğunluk kontrastını iteratif olarak günceller ve optimum bir sonuca gelene kadar bir seri model üretir (Tarantola 1984; Kleinmann & van den Berg 1991). Buradaki amaç hatayı en küçük kareler yöntemi ile minimize etmektir.

Normalize hata fonksiyonu (2.17)' de ifade edilmiştir.

$$\text{---} \quad (2.17)$$

Bağıntıda objektif fonksiyonunu, n iterasyon sayısını, Tikhanov regülarizasyon parametresini, , residuel fonksiyonunu temsil etmektedir ve

(2.18)

eşitliği şeklinde tanımlanmıştır. saçıcı içerisindeki gerçek dalga alanı olarak tanımlanmıştır. Buna göre iteratif olarak saçılmış gerçek dalga alanını ile modellenen saçılmış dalga alanını arasındaki farkın normunu temsil etmektedir. Tikhanov parametresi bu çalışmada sıfır olarak ele alınmıştır. Amaç gerçek ile modellenen veri arasındaki farkı en küçük kareler anlamında en küçük hale getiren uygun yoğunluk kontrastı parametresini kestirmektir (Kaslilar, 2007). Eşitlik (2.18)' deki ,

(2.19)

ifadesi ile tanımlanmıştır. Buradaki adım büyüklüğü olarak tanımlanmıştır. Buradaki bilinmeyenlerin bulunabilmesi için bir takım tanımlamalar yapılmıştır. Buna göre;

$$\text{---} \quad (2.20)$$

ifadesi negatif gradyen olarak tanımlanır ve bu eşitlikteki , aşağıdaki bağıntı ile tanımlanmaktadır:

(2.21)

Eşitlik (2.21)' de yüzey üzerinden bir integrasyon işlemi vardır (dA), ifadesi eşleniği temsil etmektedir. ise bir adjoint operatörüdür ve iç çarpımla elde edilmektedir:

(2.22)

İlk iterasyon için olarak kabul edilir ve

(2.23)

(2.23) ifadesi kullanılarak öteki iterasyonlar için bir tanım yapılmıştır. , ifadesi

$$\text{---} \quad (2.24)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Adım büyüklüğü ise

$$\text{---} \quad (2.25)$$

bağıntısı ile ifade edilmiştir. (2.23) ve (2.25) bağıntıları ile ve hesaplanarak (2.19)' daki bağıntıda yerine yerleştirilerek güncellenmiş yoğunluk kontrastı elde edilmiştir.

Saçılmış dalga alanının ters çözümünde amaç, yer altındaki süreksizliğin konumunu, boyutunu ve yoğunluk kontrastının belirlemektir. Bu amaçla çeşitli grafikler hazırlanmış ve amaca ne kadar ulaşılabilirdiği görsel olarak belirtmeye çalışılmıştır. Saçıcı boyutunun ve derinliğin dalga boyunun katları cinsinden ifade edilmesiyle algılamanın daha kolay olması amaçlanmıştır. Oluşturulan grafiklerde aşağıda verilen eşitlikler kullanılmıştır:

$$\text{---} \quad (2.26)$$

birimsiz bir ifadedir. Bu bağıntısında ile dominant dalga boyu arasındaki oran kullanılmıştır. Bağıntıdaki , ters çözüm dilimlerinin derinliklerini göstermektedir.

$$\text{---} \quad (2.27)$$

bağıntıları ters çözüm dilimlerindeki yoğunluk kontrastını () ve yoğunluk kontrastının artalan yoğunluğuna oranlandığında () elde edilen değerdir.

$$\text{---} \quad (2.28)$$

bağıntısında z saçıcının derinliğini temsil etmektedir. Saçıcı derinliği ile dalga boyu arasındaki oran ile elimizde birimsiz bir büyüklük olacaktır ve böylece saçıcı derinliğinin dalga boyunun katı cinsinden ifade edilmesi sağlanacaktır.

$$\text{---} \quad (2.29)$$

(2.27) oranı bir hata tanımı olarak ifade edilmiştir. Bu tanım yardımıyla hesaplanan yoğunluk kontrastının gerçek değere ne kadar yakın olduğu anlaşılmaya çalışılmıştır.

, bağıntısı kullanılarak Bölüm 3' teki grafikler elde edilmiştir. Bağıntıdaki hesaplanan yoğunluk değeri ve ise gerçek yoğunluk değerini temsil etmektedir.

————— (2.30)

ifadesi ters çözüm sonucunda saçıcı boyutunun kestirimin belirlenebilmesi için kullanılmıştır. Burada , birimsiz bir büyüklüktür ve şeklindedir. , gerçek saçıcının birimsiz boyutudur. ise yarı yükselikteki tam genişliğin grafiklerden okunması ile elde edilen saçıcı boyutu değeridir. Bu ifadeler kullanılarak Bölüm 3' te yer alan şekiller elde edilmiştir.

Uygulamalar kısmında farklı saçıcı boyutları ve her farklı boyut için ele alınan derinliklere ait saçılmış dalga alanları elde edilmiştir. Elde edilen bu saçılmış dalga alanlarına ters çözüm uygulanarak sonuçlar elde edilmiştir ve saçıcının konumu, boyutu ve yoğunluk kontrast değeri kestirilmeye çalışılmıştır.

3. UYGULAMALAR

Bu tez çalışması “Yüzeğe yakın saçıcıların saçılmış yüzey dalgaları kullanılarak ters saçılma ve sismik interferometri yöntemleri ile belirlenmesi” isimli TÜBİTAK araştırma projesi kapsamında yapılmıştır, bundan dolayı bu çalışmadaki model geometrisi ve ortam parametreleri (Çizelge 3.1) ileride ultrasonik laboratuvarında toplanacak veri dikkate alınarak oluşturulmuştur.

Çizelge 3.1 : Çalışmada esas alınan parametreler.

Yüzey Dalgası Hızı	
Baskın frekans	1.00 MHz
Baskın dalgaboyu	2.85 mm
Alıcılar arası mesafe	0.60 mm
Zaman örnekleme	1.00e-08 s

Çizelge 3.2 : Artalan ve saçıcıya ait hız, yoğunluk bilgileri.

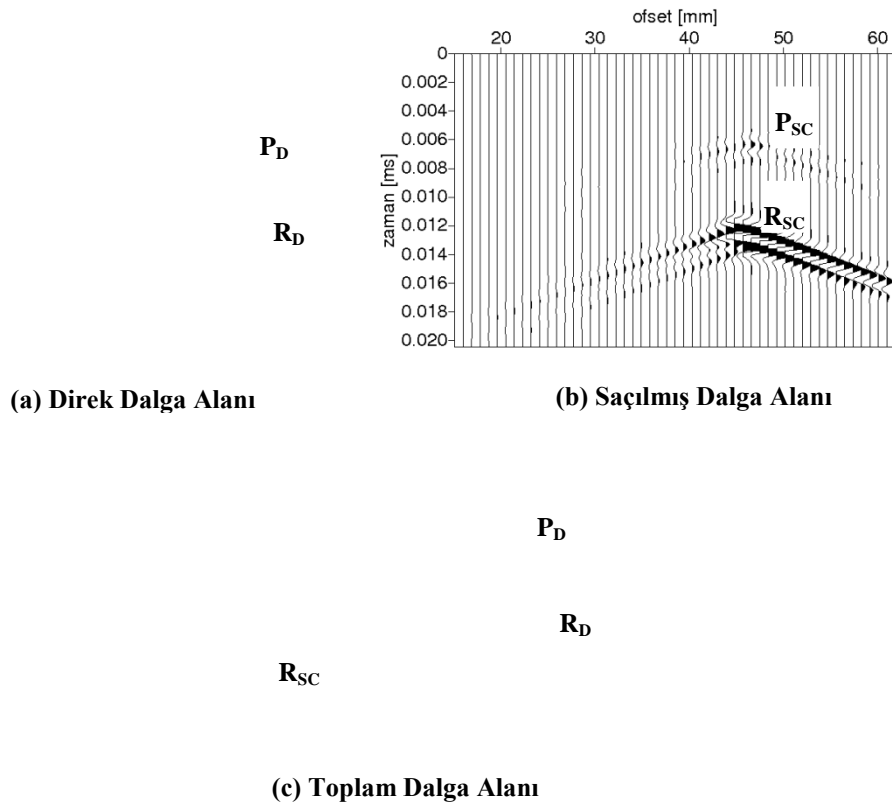
	Artalan	Saçıcı
(kg/m ³)	2700	7000
(m/s)	5700	-
(m/s)	3080	-

Düz çözüm ile elde edilen saçılmış dalga alanları Çizelge 3.2’deki hız ve yoğunluk değerleri kullanılarak oluşturulmuştur. Elde edilen saçılmış dalga alanlarına ters çözüm uygulanmıştır. Born yaklaşımının kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlar göz önüne alınarak, saçıcının boyutu, derinliği değiştirilmiş ve ters çözüm sonuçları elde edilmiştir. Yapılan çalışmalardan bir diğeri ise saçılmış dalga alanına Butterworth filtresi uygulanarak elde edilen farklı frekans bantlarındaki (Düşük, orta ve yüksek frekans bantları) verilen ters çözüm sonucunu ne şekilde etkileyeceği incelenmiştir.

Hazırlanan modellerde yatay yöndeki (x, y bileşenleri) uzaklıklar 30 mm olarak seçilmiş ve grid örnekleme aralığı 0.4 mm olarak alınmıştır. Buna göre x ve y doğrultusunda 75 tane grid bulunmaktadır. Düşey yönde (z bileşeni) ise 20 tane grid kullanılmıştır. Ters çözümde kullanılan grid sayıları saçıcıyı içerecek şekilde

optimum sayıda belirlenmiştir. Yatay yöndeki bileşenlerde 9, düşey yönde ise 14 tane ters çözüm gridi vardır.

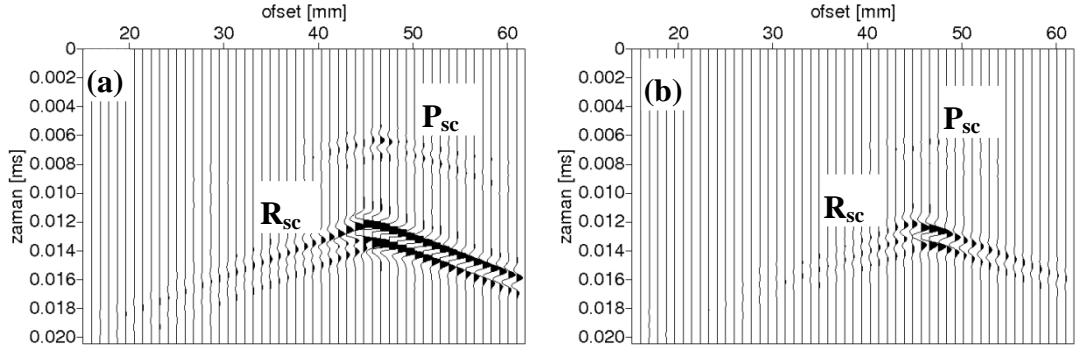
Şekil 3.1’ de boyutu ve derinliği olan saçıcının düz çözüm sonuçları gösterilmiştir. Saçıcının yoğunluğu (Born yaklaşımı kullanılmadan) olarak alınmış ve düz çözüm sonucu verilmiştir. Şekil 3.1 (a)’ da direk dalga alanı, Şekil 3.1 (b)’ saçılmış dalga alanı ve Şekil 3.1 (c)’ de toplam dalga alanı görülmektedir. Bu dalga alanları sırasıyla (2.4), (2.7) ve (2.8) ifadeleri kullanılarak oluşturulmuştur. Şekil 3.1 (c)’ de verilen toplam dalga alanında ise saçılmış Rayleigh dalgalarının, doğrudan gelen Rayleigh dalgalarına oranla zayıf genlikli olduğu gözlenmektedir. Bu çalışmada saçılmış dalga alanı hesaplanırken sadece yoğunluk kontrastı dikkate alındığından saçılmış dalga alanı olması gerekenden daha düşük genlikte elde edilmektedir.



Şekil 3.1 : Boyutu ve derinliği olan saçıcı için düz çözüm sonuçları: (a) Direk Dalga Alanı, (b) Saçılmış Dalga Alanı, (c) Toplam Dalga Alanı.

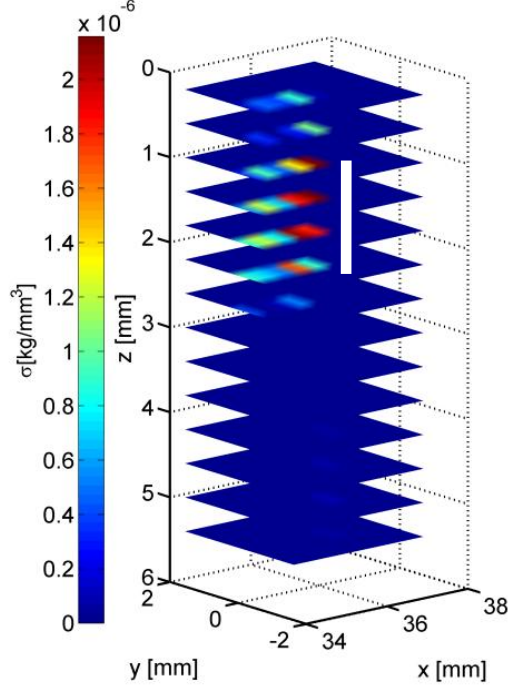
Şekil 3.2’ de boyutu ve derinliği olan saçıcının düz çözüm sonucu elde edilen saçılmış dalga alanı gösterilmiştir. Saçıcının yoğunluğu (Born yaklaşımı kullanılmadan) olarak alınmıştır. Şekil 3.2 (a)’

da saçılmış dalga alanı, Şekil 3.2 (b)' de ise ters çözüm sonucu elde edilmiş saçılmış dalga alanı görülmektedir. Anlaşılacağı gibi saçılmış P-dalgasının (P_{sc}) genliğinin ters çözüm sonucunda azaldığı görülmektedir. Benzer şekilde saçılmış yüzey dalgalarının ters çözüm sonucunda düşük genlikli elde edildiği gözlenmiştir.

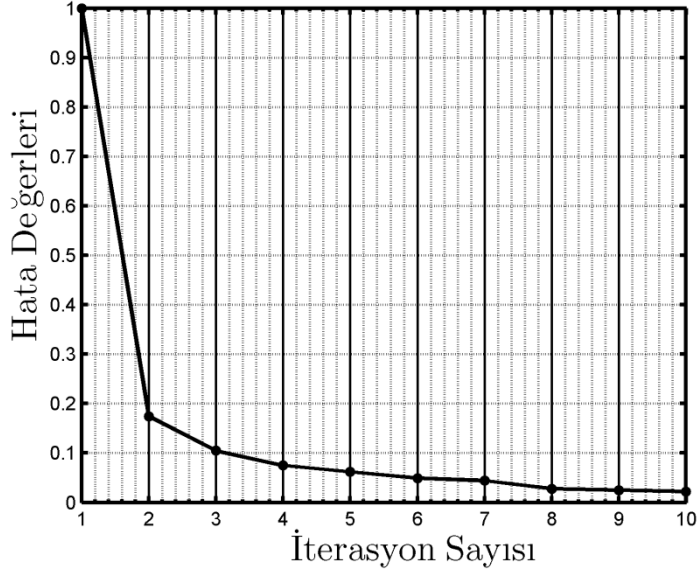


Şekil 3.2 : Boyutu ve derinliği olan saçıcı için saçılmış dalga alanı (a), ters çözüm sonucu elde edilen saçılmış dalga alanı (b).

Şekil 3.3' te boyutu ve derinliği olan saçıcının oluşturduğu saçılmış dalga alanının ters çözüm sonucu görülmektedir. Buna göre saçıcı konumu net bir şekilde belli olmaktadır. Bununla birlikte hesaplanan yoğunluk kontrastının gerçek değere yakın olduğuda görülmüştür. Ancak Şekil 3.3' te saçıcının bulunmadığı yerlerde yoğunluk kontrastı hesaplandığı belirlenmiş ve bu hesaplanan değerler ters çözüm sonucu oluşan yan etkiler olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.3 : Boyutu ve derinliği olan saçıcının konumu ve yoğunluk kontrastı (Beyaz çubuk saçıcının gerçek konumunu temsil etmektedir). Şekil 3.4’ te ters çözüm işleminin iterasyon sayısına karşılık gelen hata değeri gösterilmiştir. Grafikten anlaşılacağı gibi iterasyon sayısı arttıkça hata değerinde azalma görülmektedir.



Şekil 3.4 : Ters çözümdeki iterasyon sayısı ve hata değerleri.

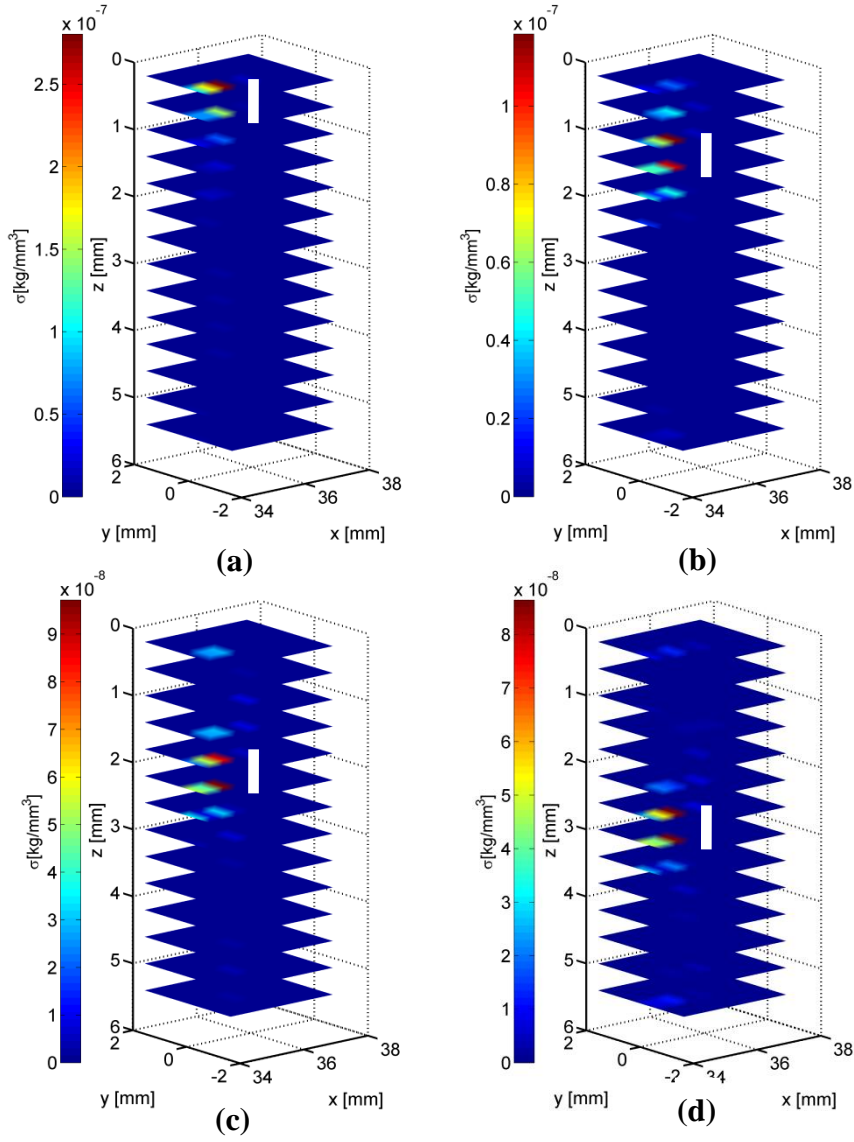
3.1 Born Yaklaşımının Geçerli Olduğu Durumdaki Farklı Saçıcı Boyutları ve

Derinlikleri için Saçıcının Görüntülenmesi

Bu çalışma kapsamında baskın dalga boyu ile ilişkilendirilen farklı boyutlardaki saçıcılar dört farklı derinliğe yerleştirilmiş ve ters çözüm yöntemi uygulanarak yoğunluk kontrastı değerlerine bakılmıştır. Derinlik dilimlerine bağlı olarak kontrast değişimi şekil olarak elde edilmiş ve çalışmada sunulmuştur. Böylece saçıcının derinliği değiştikçe ters çözüm yöntemi sonucunda elde edilen değişimler gözlemlenmiştir.

Artalan yoğunluğu (Alüminyum) saçıcı yoğunluğu ve buna göre yoğunluk kontrastı şeklinde ele alınmıştır. Doğrudan saçıcı üzerinden geçen alıcı hattı olduğu düşünülmüş ve alıcılar arası mesafe (0.6 mm) olarak seçilmiştir.

Boyutu olan saçıcı için farklı derinliklere () yerleştirildiğinde elde edilen ters çözüm sonuçları, Şekil 3.5 (a), (b), (c) ve (d)' de yoğunluk kontrastı sonuçları farklı derinlik dilimleri halinde gösterilmiştir. Çeşitli derinlikler için saçıcının konumunun net bir şekilde belirlendiği görülmektedir. Derindeki saçıcı için hesaplanan yoğunluk kontrastlarının gerçek değerlerden farklı olduğu, gerçek değerden uzaklaştığı görülmektedir. Ancak buna rağmen ters çözüm işlemi sonuçlarında maksimum yoğunluk kontrastı saçıcının yerleştirildiği yerde görülmüştür.

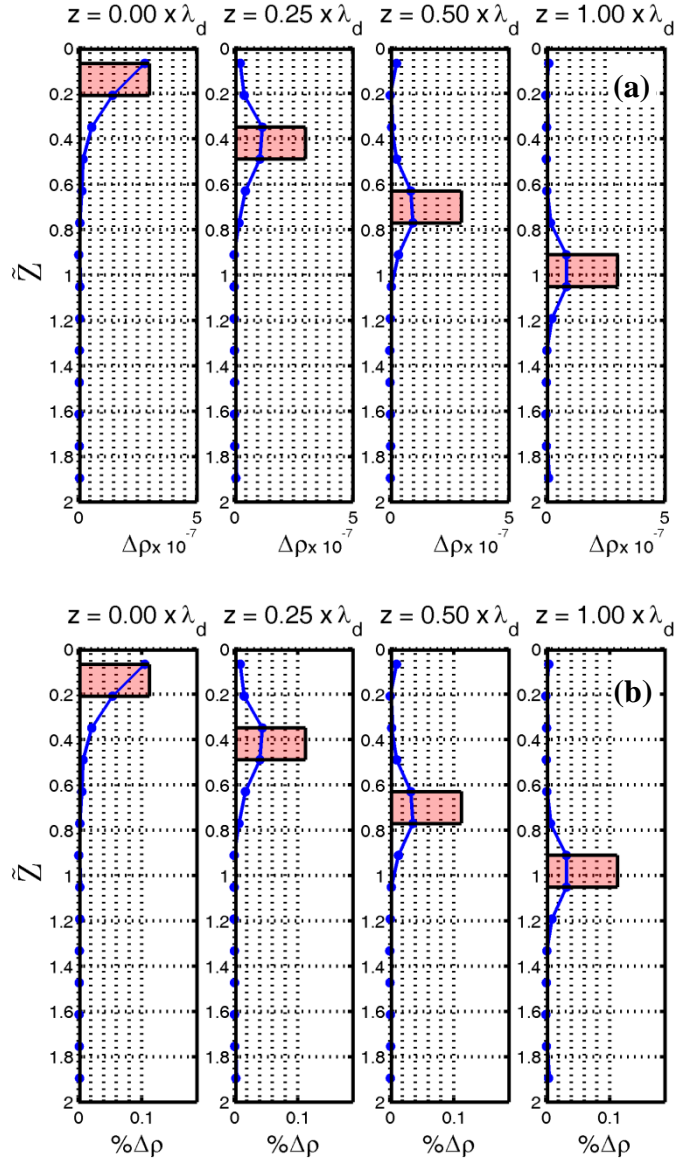


Şekil 3.5 : Boyutu $3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ ve yoğunluğu $3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan saçıcının konumu ve yoğunluk kontrastı, $z = 0 \text{ mm}$ () (a), $z = 0.8 \text{ mm}$ () (b), $z = 1.6 \text{ mm}$ () (c) ve $z = 2.4 \text{ mm}$ () (d) (Beyaz çubuklar saçıcının gerçek konumunu temsil etmektedir).

Şekil 3.5 (b), (c) ve (d)' de bazı derinlik dilimlerinde yoğunluk kontrastı olmamasına rağmen kontrast varmış gibi yan etkiler görülmektedir. Bu yan etkiler ters çözüm işleminde oluşan nümerik hatalar olarak tanımlanmaktadır. Örnek olarak Şekil 3.5 (c)' de, saçıcı 1.6 mm () derinlikte bulunmasına rağmen ters çözüm sonucunda yüzeyde sanki yoğunluk kontrastı varmış gibi gözlenmektedir.

Ters çözüm sonucunda saçıcının konumunun ve yoğunluk kontrastı değerinin incelenmesi için Bölüm 2.2'deki (2.26) bağıntısında z' ile dominant dalga boyu arasındaki oran kullanılmıştır. Bağıntıdaki z' , ters çözüm dilimlerinin derinliklerini göstermektedir. (2.27)' deki bağıntılar ise bütün derinlikler için ters çözüm

dilimlerdeki yoğunluk kontrastını ve yoğunluk kontrastının artalan yoğunluğuna oranlandığında elde edilen değerlerdir. Bu eşitlikler kullanılarak Şekil 3.6' daki grafikler elde edilmiştir.

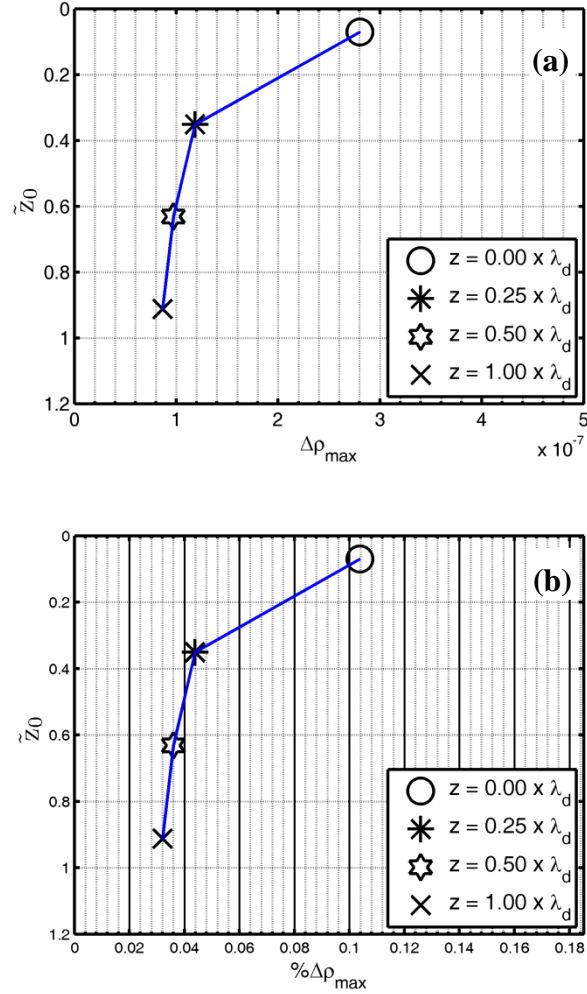


Şekil 3.6 : Boyutu $3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ ve yoğunluğu $3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan saçıcının farklı derinliklerdeki (a) ve (b) grafikleri.

Şekil 3.6' daki taralı bölgeler saçıcının gerçek konumunu ve yoğunluk kontrastını göstermektedir. Elde edilen ters çözüm sonuçları yüzeyde bulunan saçıcı için gerçek değerlere yaklaşmış ancak derinlere inildiğinde gerçek değerden uzaklaşmıştır. Saçıcı yüzeydeyken ters çözüm dilimlerinde hesaplanan maksimum yoğunluk kontrastı $2.80 \times 10^{-7} \text{ kg mm}^{-3}$ tür. Derine inildiğinde ise bu değer $0.86 \times 10^{-7} \text{ kg mm}^{-3}$ değerine düştüğü görülmüştür.

(2.28) bağıntısı kullanılarak Şekil 3.7’teki grafiklerin düşey eksenini elde edilmiştir.

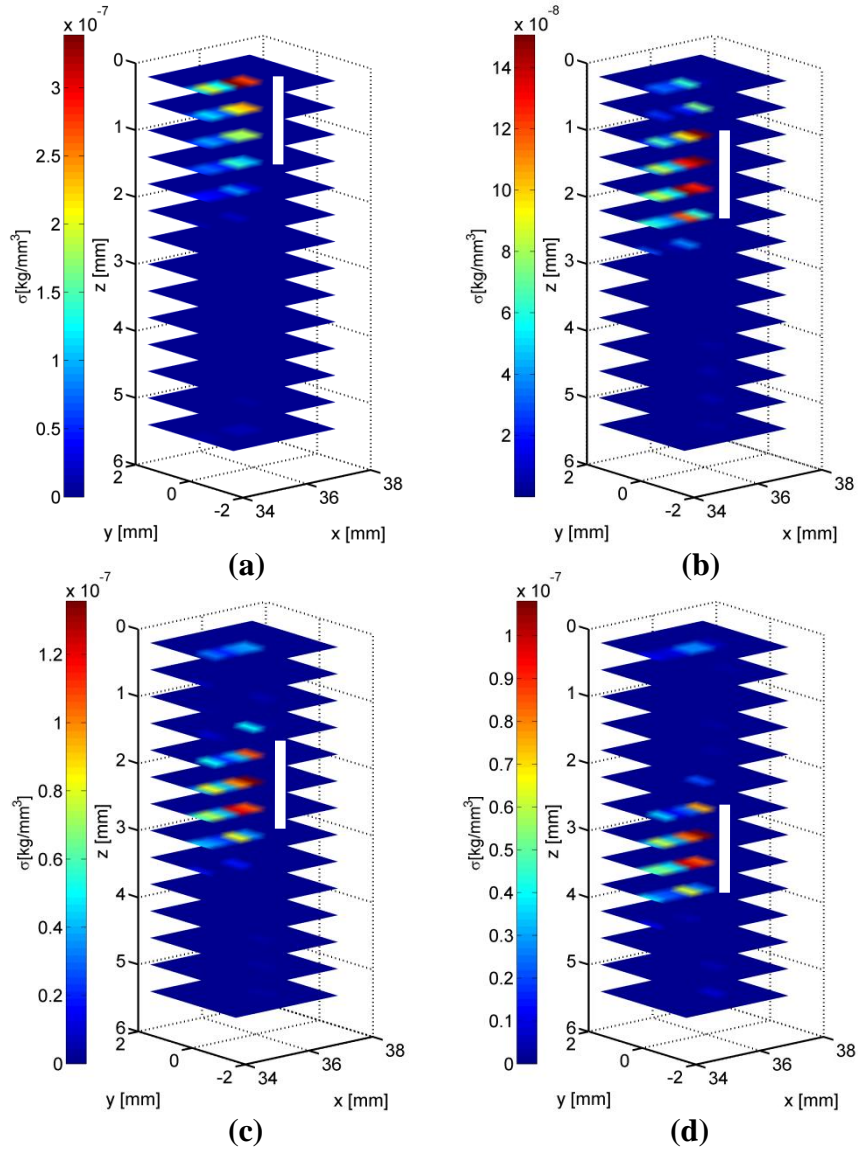
ise ilgili derinlikteki ters çözüm sonucunda elde edilen maksimum yoğunluk kontrastı değeridir. , maksimum yoğunluk kontrastı değerinin artan yoğunluğuna oranıdır. Şekil 3.7’ de elde edilen grafiklere göre en iyi sonucun yüzeydeki saçıcı için elde edildiği net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 3.7 : Boyutu ve yoğunluğu $3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan saçıcının farklı derinlikler için ters çözüm sonucu elde edilen maksimum yoğunluk kontrastı değerleri, (a) ve (b) grafikleri.

Boyutu olan saçıcı için farklı derinliklere yerleştirildiğinde elde edilen ters çözüm sonuçları, Şekil 3.8 (a), (b), (c) ve (d)’ de yoğunluk kontrastı sonuçları farklı derinlik dilimleri halinde gösterilmiştir. Buna göre farklı derinlikteki saçıcıların konumunun net bir şekilde belirlendiği görülmektedir. Derindeki saçıcı için hesaplanan yoğunluk kontrastlarının gerçek değerlerden farklı olduğu, asıl değerden uzaklaştığı görülmesine rağmen ters çözüm işlemi sonuçlarında maksimum yoğunluk kontrastı saçıcının yerleştirildiği yerde görülmüştür. Şekil 3.8 (b), (c) ve (d)’ de bazı

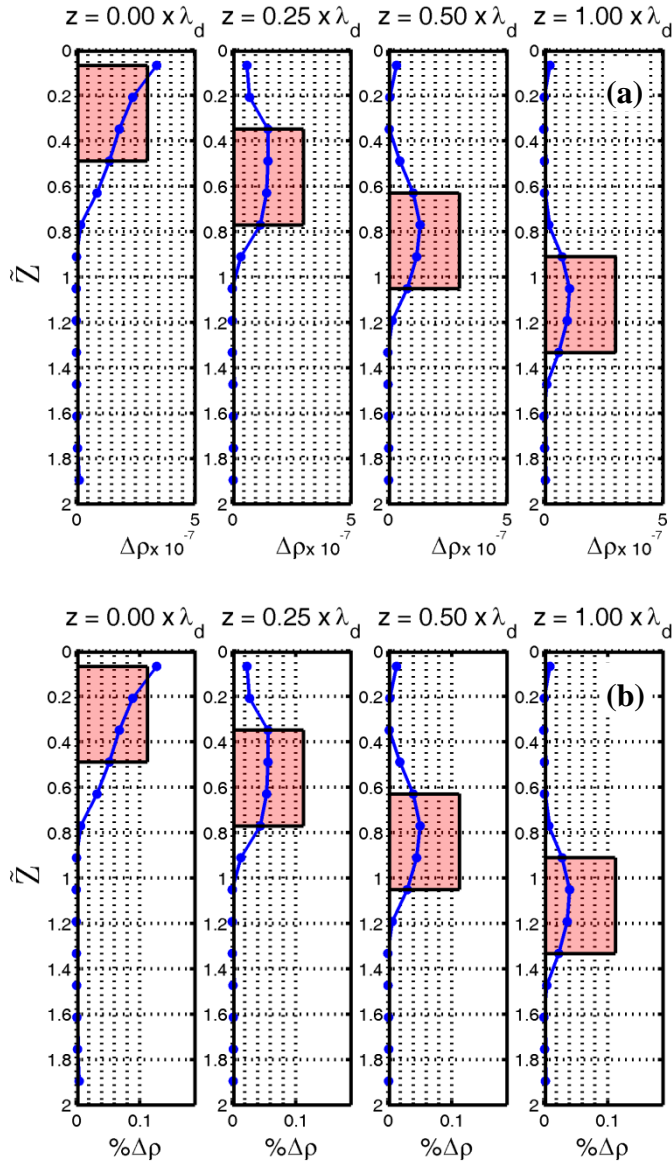
derinlik dilimlerinde yoğunluk kontrastı olmamasına rağmen kontrast varmış gibi görülmektedir.



Şekil 3.8 : Boyutu ve yoğunluğu $3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan saçının konumu ve yoğunluk kontrastı, $z = 0 \text{ mm}$ () (a), $z = 0.8 \text{ mm}$ () (b), $z = 1.6 \text{ mm}$ () (c) ve $z = 2.4 \text{ mm}$ () (d) (Beyaz çubuklar saçının gerçek konumunu temsil etmektedir).

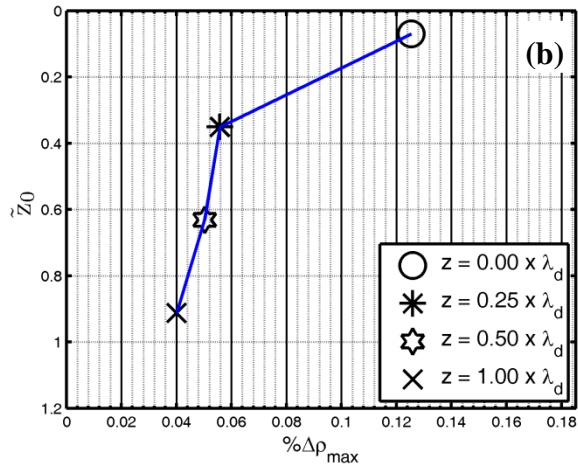
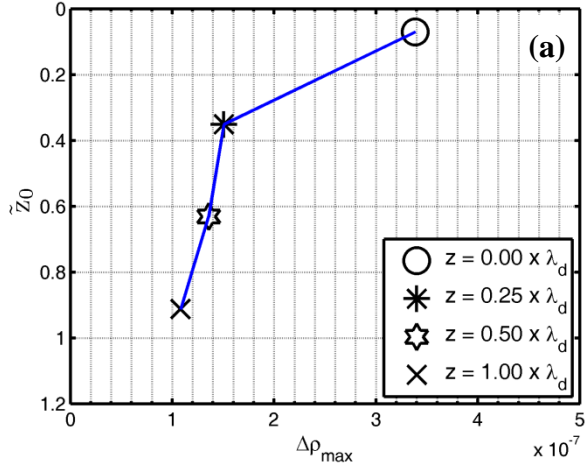
(2.26) ve (2.27) bağıntıları kullanılarak Şekil 3.9'daki grafikleri hazırlanmıştır. Hazırlanan grafiklerde taralı bölgeler saçının gerçek konumunu ve yoğunluk kontrastını göstermektedir. Elde edilen ters çözüm sonuçları yüzeyde bulunan saçıcı için gerçek değerlere yaklaşmış ancak derinlere inildiğinde gerçek değerden uzaklaşmıştır. Yüzeyde bulunan saçıcı için, hesaplanan maksimum yoğunluk kontrastı $3.38 \times 10^{-7} \text{ kg mm}^{-3}$, tür. Derine inildiğinde ise bu değer $1.08 \times 10^{-7} \text{ kg mm}^{-3}$

değerine kadar düştüğü görülmüştür.



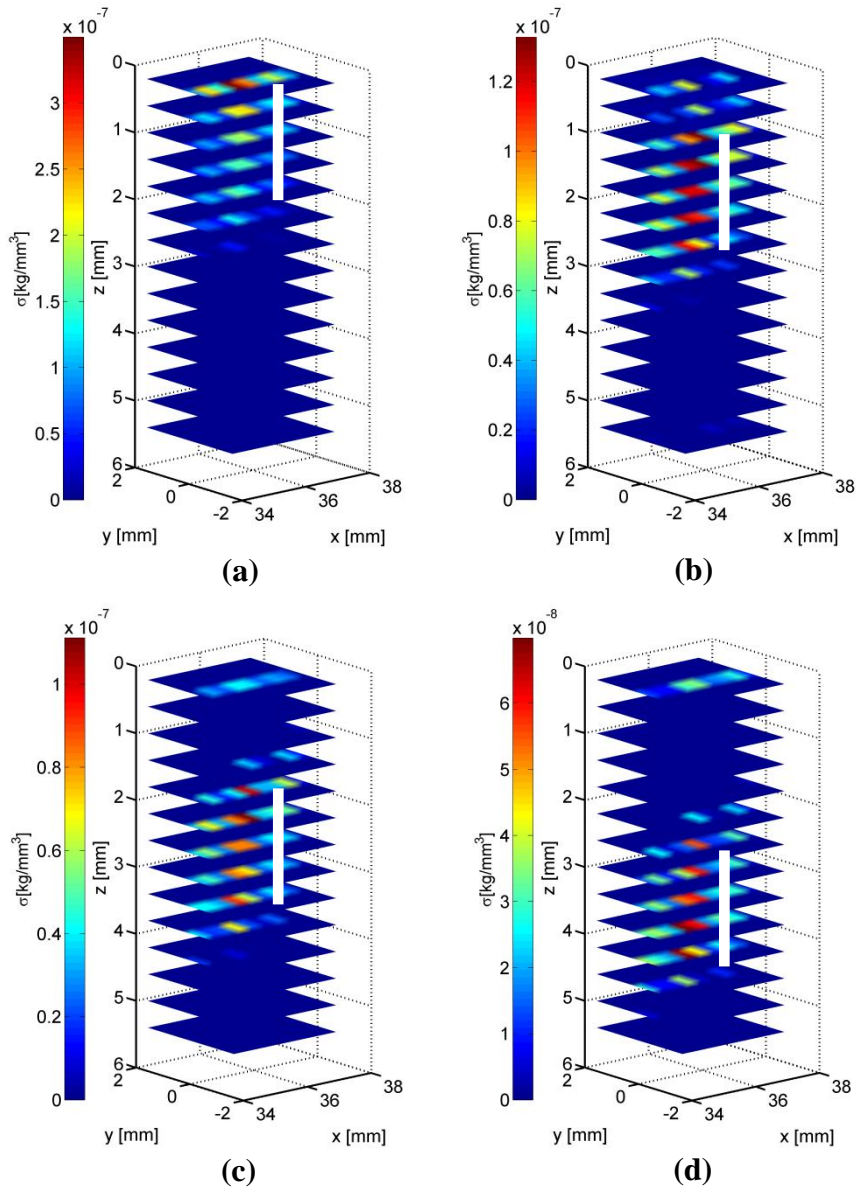
Şekil 3.9 : Boyutu ve yoğunluğu $3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan saçıcının farklı derinliklerdeki (a) ve (b) grafikleri.

(2.28) eşitliği kullanılarak hazırlanan Şekil 3.10' daki grafiklere göre en iyi sonucun yüzeydeki saçıcı için elde edildiği net bir şekilde görülmektedir. Saçıcı derine yerleştirildiğinde yoğunluk kontrastı kestirimindeki hata oranının arttığı grafiklerden anlaşılmaktadır.



Şekil 3.10 : Boyutu $3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan saçıcının farklı derinlikler için ters çözüm sonucu elde edilen maksimum yoğunluk kontrastı değerleri, (a) ve (b) grafikleri.

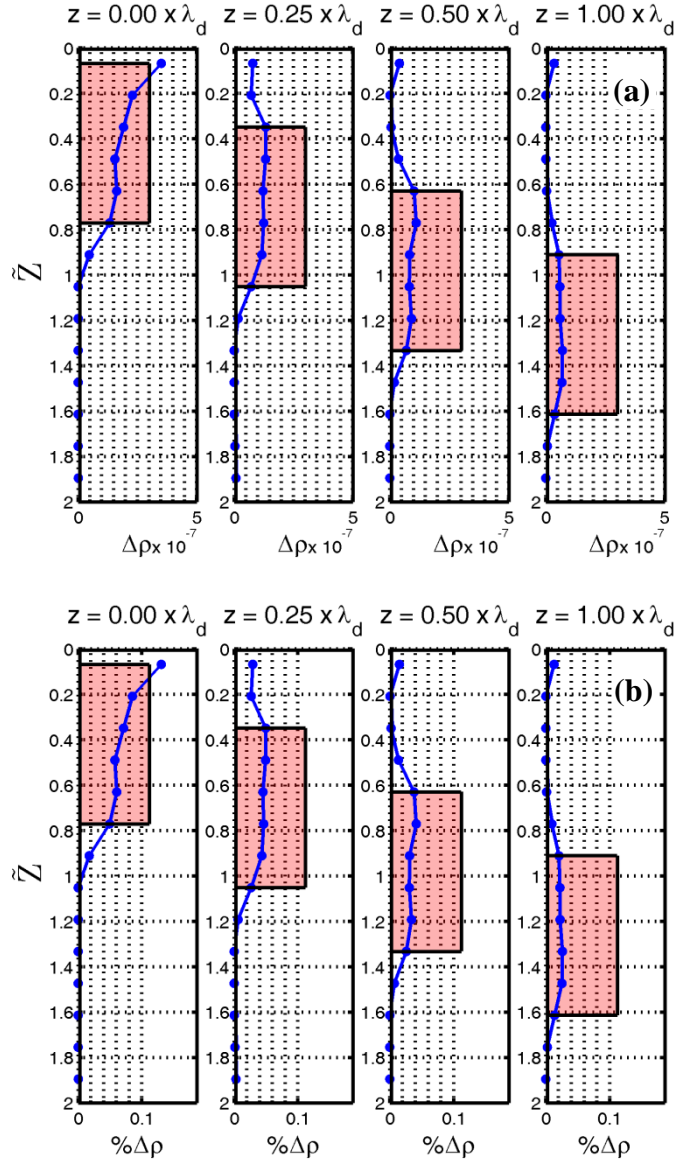
Boyutu $3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan saçıcı için farklı derinliklere yerleştirildiğinde elde edilen ters çözüm sonuçları, Şekil 3.11 (a), (b), (c) ve (d)' de yoğunluk kontrastı sonuçları farklı derinlik dilimleri halinde gösterilmiştir. Saçıcı konumunun net bir şekilde belirlendiği görülmektedir. Derindeki saçıcı için hesaplanan yoğunluk kontrastlarının gerçek değerlerden farklı olduğu görülmüştür. Buna rağmen ters çözüm işlemi sonuçlarında maksimum yoğunluk kontrastı saçıcının yerleştirildiği yerde görülmüştür. Şekil 3.11 (b), (c) ve (d)' de bazı derinlik dilimlerinde yoğunluk kontrastı olmamasına rağmen kontrast varmış gibi görülmektedir. Örnek olarak; Şekil 3.11 (c)' de, saçıcı 1.6 mm ($0.5 \lambda_d$) derinlikte bulunmasına rağmen ters çözüm sonucunda yüzeyde yoğunluk kontrastı varmış gibi gözlenmektedir.



Şekil 3.11 : Boyutu $3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ ve yoğunluğu $3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan saçıcının konumu ve yoğunluk kontrastı, $z = 0 \text{ mm}$ () (a), $z = 0.8 \text{ mm}$ () (b), $z = 1.6 \text{ mm}$ () (c) ve $z = 2.4 \text{ mm}$ () (d) (Beyaz çubuklar saçıcının gerçek konumunu temsil etmektedir).

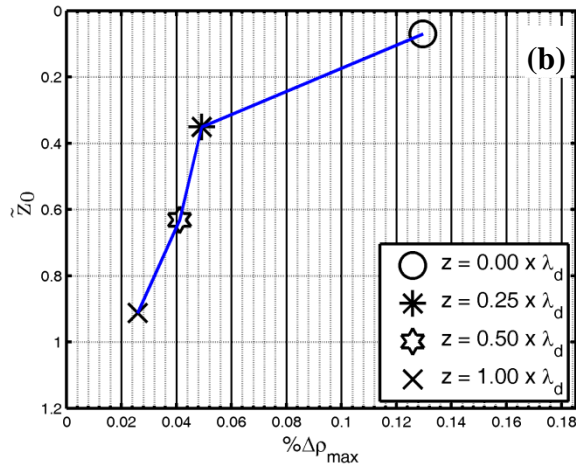
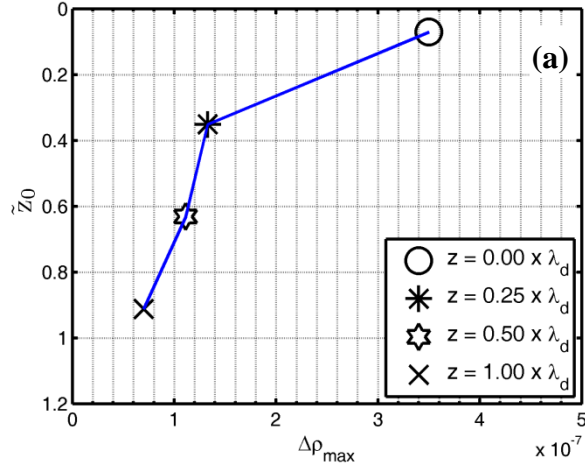
(2.26) bağıntısı kullanılarak hazırlanan grafiklerde, farklı derinliklere yerleştirilen saçıcıların gerçek yoğunluk kontrastı değerine ve gerçek saçıcı konumuna ne kadar yaklaşıldığını göstermektedir. Şekil 3.12’deki grafiklerden anlaşıldığı üzere hesaplanan yoğunluk kontrastının saçıcının yerleştirildiği yerde oluştuğu görülmüştür. Şekillerdeki taralı bölge saçıcının gerçek konumunu ve yoğunluk kontrastını göstermektedir. Elde edilen ters çözüm sonuçları yüzeyde bulunan saçıcı için gerçek değerlere yaklaşmış ancak derinlere inildiğinde gerçek değerden uzaklaşmıştır. Yüzeydeki saçıcı için, hesaplanan maksimum yoğunluk kontrastı $3.49 \times 10^{-7} \text{ kg mm}^{-3}$ tür. Derine inildiğinde ise bu değer $6.98 \times 10^{-7} \text{ kg mm}^{-3}$ olduğu

belirlenmiştir.



Şekil 3.12 : Boyutu ve yoğunluğu $3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan saçıcının farklı derinliklerdeki (a) ve (b) grafikleri.

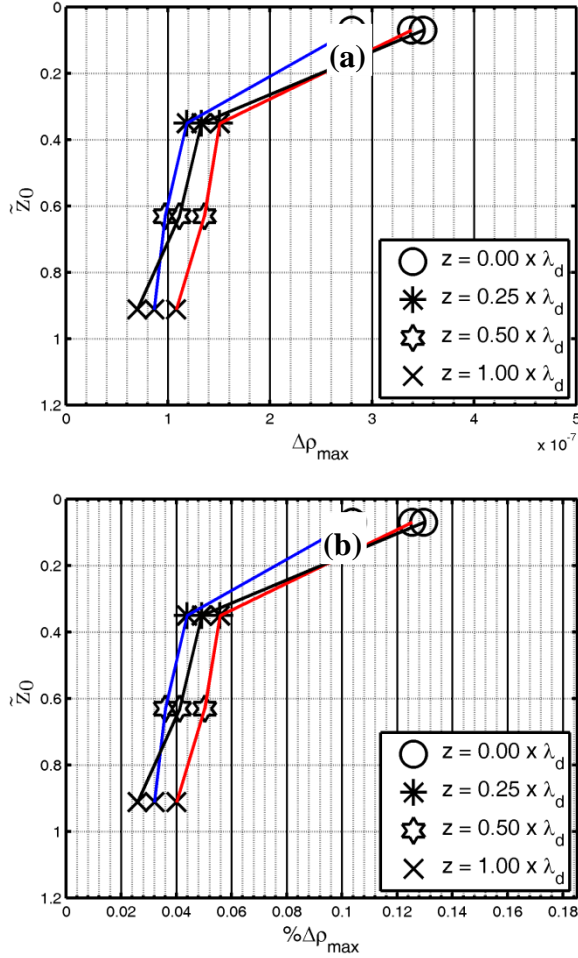
(2.28) bağıntısı kullanılarak elde edilen Şekil 3.13' teki grafiklere göre en iyi sonucun yüzeydeki saçıcı için elde edildiği görülmektedir. Gerçek yoğunluk kontrastının $0.3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olduğu bu durum için yüzeydeki saçıcının hesaplanan yoğunluk kontrastının gerçek değere çok yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 3.13 : Boyutu ve yoğunluğu $3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan saçıcının farklı derinlikler için ters çözüm sonucu elde edilen maksimum yoğunluk kontrastı değerleri, (a) ve (b) grafikleri.

Şekil 3.14' te farklı boyutlardaki saçıcıların farklı derinliklerdeki ters çözümlerinden elde edilen maksimum yoğunluk kontrastları birarada gösterilmiştir. Buna göre; mavi çizgi ile ifade edilen boyutundaki saçıcının ters çözüm sonucu; kırmızı, boyutundaki saçıcının; siyah, boyutundaki saçıcının ters çözüm sonuçlarıdır. Şekil 3.14 (a)' da grafiği; Şekil 3.12 (b)' de ise grafikleri verilmiştir.

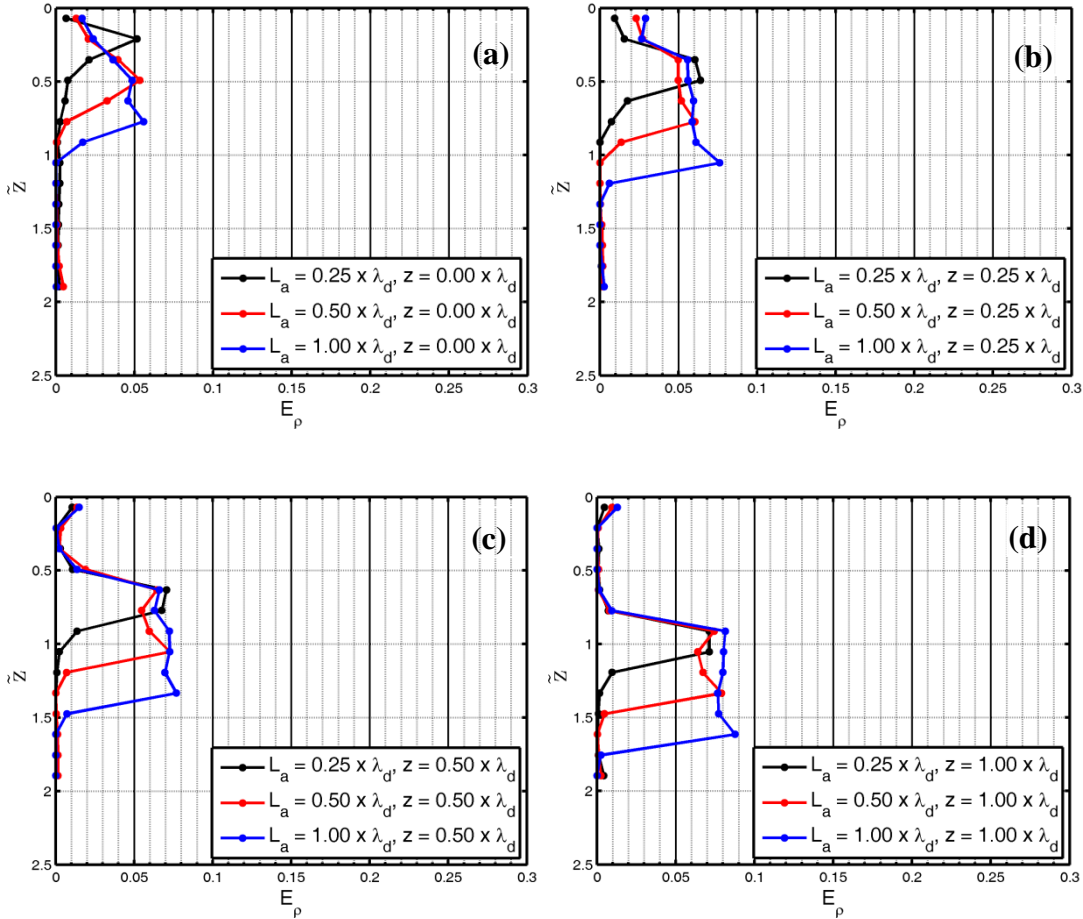
Born yaklaşımının geçerli olduğu modellerde, yüzeydeki saçıcı için yoğunluk kontrastı kestirimi her üç boyuttaki saçıcı için son derece iyi sonuç vermiştir. Saçıcı derine indirildiğinde kestirimde gerçek değerden uzaklaşmalar görülmüştür.



Şekil 3.14 : Farklı boyuttaki (Siyah), (Kırmızı), (Mavi)) saçıcıların, $3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ yoğunluk değeri ve farklı derinlikler için ters çözüm sonucu elde edilen maksimum yoğunluk kontrastı değerleri, (a) ve (b) grafikleri.

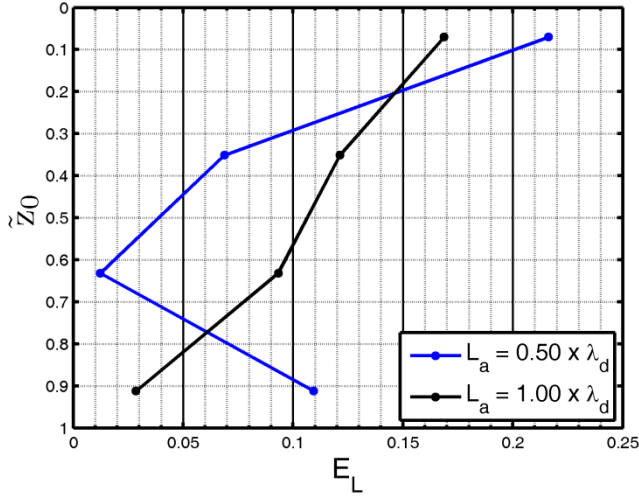
Bölüm 2' de (2.29) bağıntısı Şekil 3.15' i oluşturmak için kullanılmıştır. z saçıcının derinliğini, L_a ise saçıcının boyutunu göstermektedir. Her bir grafikte saçıcının yerinin net bir şekilde gözlendiği görülmektedir. Farklı saçıcı boyutlarındaki durum incelendiğinde farklı derinlikler için; saçıcının bulunduğu konum dışında her hangi bir yoğunluk kontrastı bulunmadığı için o bölgelerde hata değerleri sıfır ya da sıfıra yakın hesaplanmıştır. Bir başka ifadeyle üç farklı saçıcının bulunduğu konumlarda yoğunluk kontrastı oluşmuş ve bundan dolayı hata değeri oluşacaktır. Elde edilen bu şekillerdeki hedef, gerçek ve hesaplanan yoğunluk kontrastları arasındaki hatanın ne kadar olduğunu tespit etmektir. Şekil 3.15 (a)' da yüzeydeki farklı saçıcı boyları için hesaplanan yoğunluk kontrastının gerçek değere ne kadar yaklaştığı incelenmiştir. Şekil 3.15 (b)' de saçıcılar derinliğe yerleştirilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre boyutu olan saçıcının hata değerinin en az olduğu görülmektedir. Şekil 3.15 (c)' de saçıcılar derinliğe yerleştirilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir.

Benzer şekilde boyutu $0.25 \times \lambda_d$ olan saçıcının hata değerinin en az olduğu görülmektedir. Şekil 3.15 (d)' de ise saçıcılar $1.00 \times \lambda_d$ derinliğe yerleştirilmiş ve sonuçlar benzer şekilde elde edilmiştir. Bu durum içinde boyutu $0.25 \times \lambda_d$ olan saçıcının hata değerinin en az olduğu görülmektedir.



Şekil 3.15 : Yoğunluğu $3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ ve boyutları farklı olan çeşitli derinliklerdeki saçıcının; (a), (b), (c), (d) ters çözüm sonucu elde edilen hata değerleri.

Bölüm 2' deki, (2.30) ilişkisi kullanılarak Şekil 3.16' daki grafikler oluşturulmuştur. Saçıcı boyutunun kestirimindeki hatayı inceleyen bu grafikler, Şekil 3.9 (a) ve Şekil 3.12 (a)' daki yarı yükseklikteki tam genişlik değerlerinin hesaplanması ve (2.30)' da gerekli yerlere yazılmasıyla elde edilmiştir. Buna göre saçıcının yüzeyde olduğu durumlarda, saçıcının gerçek boyutu ne olursa olsun kestirilen saçıcı boyutundaki hata oranı yüksek olmaktadır. Bunun sebebi yüzeydeki saçıcı için yarı yükselikteki tam genişliğin net bir şekilde okunamamasıdır. Ancak saçıcı derine yerleştirildiğinde yarı yükseklikteki tam genişlik net bir şekilde okunabilmektedir, sonuç olarak kestirilen saçıcı boyutundaki hatada azalmıştır.



Şekil 3.16 : Yoğunluğu $3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan ve boyutları , olan saçıcıların ters çözüm sonucundaki boyut kestirimi hata değerleri.

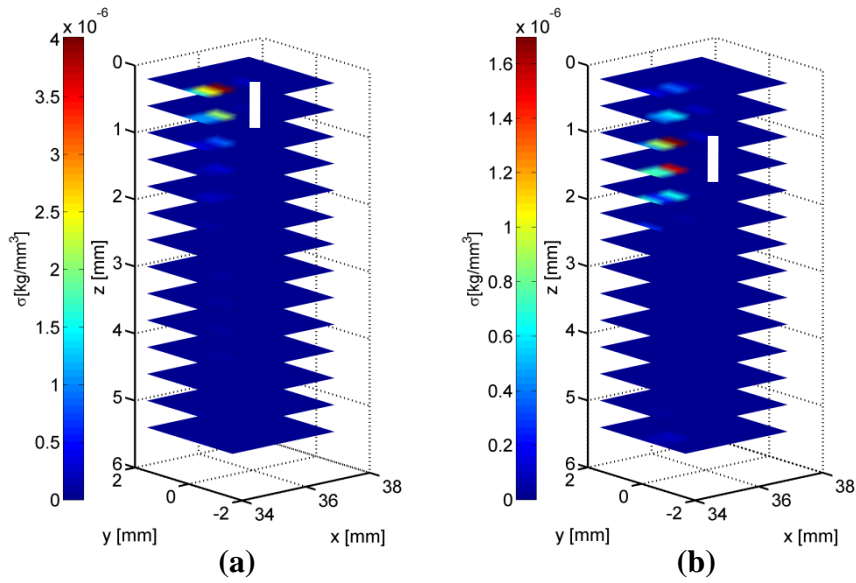
3.2 Born Yaklaşımının Geçerli Olmadığı Durumlardaki Farklı Saçıcı Boyutları ve Derinlikleri için Saçıcı Görüntülenmesi

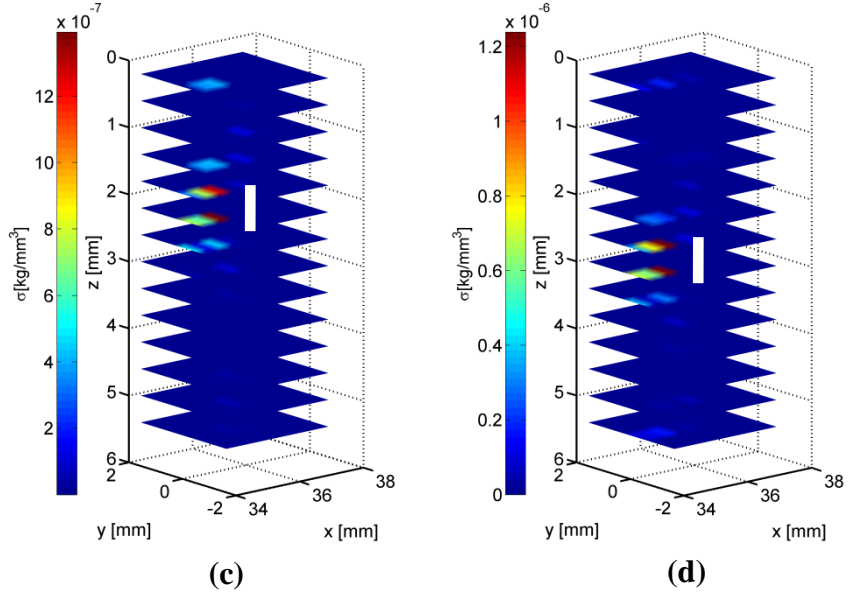
Bu çalışmada da baskın dalga boyu ile ilişkilendirilen farklı boyutlardaki saçıcı dört farklı derinliğe yerleştirilmiş ve ters çözüm yöntemi uygulanarak yoğunluk kontrastı değerlerine bakılmıştır. Saçıcının boyutu ve derinliği değiştikçe ters çözüm yöntemi sonucunda elde edilen yoğunluk kontrastları ile gerçek yoğunluk kontrastı arasındaki hata oranı incelenmiştir.

Artalan yoğunluğu (Alüminyum) saçıcı yoğunluğu ve buna göre yoğunluk kontrastı şeklinde ele alınmıştır. Doğrudan saçıcı üzerinden geçen alıcı hattı olduğu düşünülmüş ve alıcılar arası mesafe (0.6 mm) olarak seçilmiştir.

Saçıcı boyutu olan saçıcı için farklı derinliklere yerleştirildiğinde elde edilen ters çözüm sonuçları, Şekil 3.17 (a), (b), (c) ve (d)' de yoğunluk kontrastı sonuçları farklı derinlik dilimleri halinde gösterilmiştir. Çeşitli derinlikler için saçıcının konumunun net bir şekilde belirlendiği görülmektedir. Derindeki saçıcı için

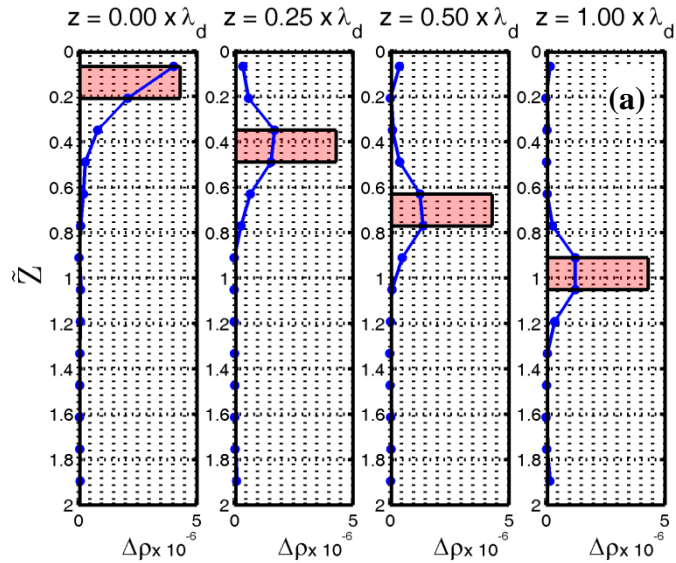
hesaplanan yoğunluk kontrastlarının gerçek değerlerden farklı olduğu görülmektedir. Ancak ters çözüm işlemi sonuçlarında maksimum yoğunluk kontrastı saçıcının yerleştirildiği yerde görülmüştür. Şekil 3.17 (b), (c) ve (d)' de bazı derinlik dilimlerinde yoğunluk kontrastı olmamasına rağmen kontrast varmış gibi görülmektedir. Örnek olarak Şekil 3.17 (c)' de, saçıcı 1.6 mm () derinlikte bulunmasına rağmen ters çözüm sonucunda yüzeyde sanki yoğunluk kontrast varmış gibi gözlenmiştir.

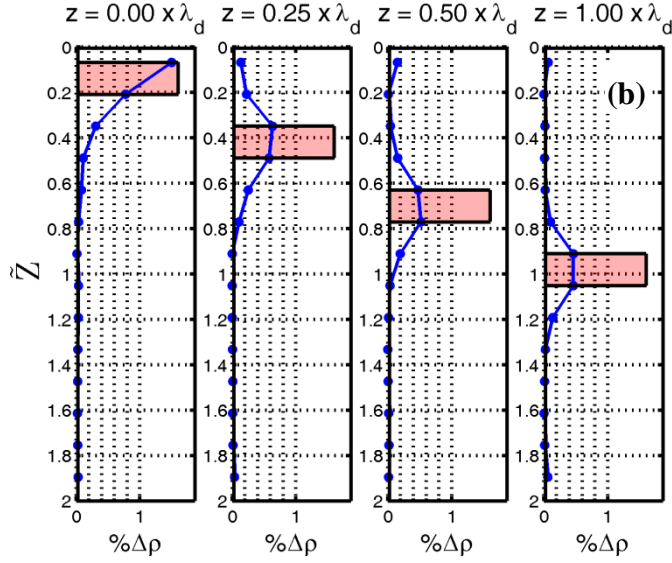




Şekil 3.17 : Boyutu $7 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan Saçıcının konumu ve yoğunluk kontrastı, $z = 0 \text{ mm}$ () (a), $z = 0.8 \text{ mm}$ () (b), $z = 1.6 \text{ mm}$ () (c) ve $z = 2.4 \text{ mm}$ () (d) (Beyaz çubuklar saçıcının gerçek konumunu temsil etmektedir).

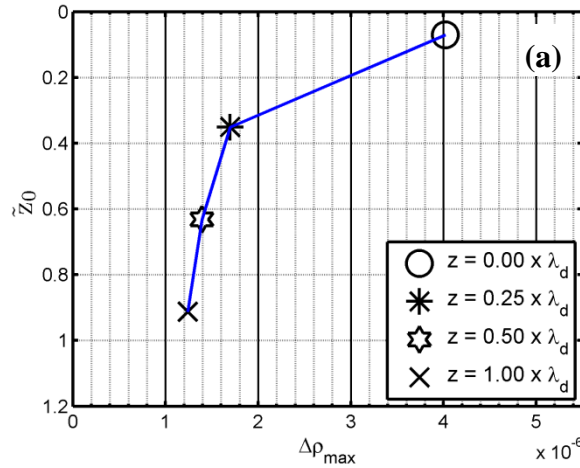
Bölüm 2.2'deki (2.26) ve (2.27) bağıntıları kullanılarak Şekil 3.18' deki grafikler oluşturulmuştur. Şekildeki taralı bölgeler saçıcının gerçek konumunu ve yoğunluk kontrastını göstermektedir. Elde edilen ters çözüm sonuçları yüzeyde bulunan saçıcı için gerçek değerlere yaklaşmış ancak derinlere inildiğinde gerçek değerden uzaklaşmıştır. Yüzeydeki saçıcı için, hesaplanan maksimum yoğunluk kontrastı $4.01 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ tür. Derine inildiğinde ise bu değer $1.23 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olduğu belirlenmiştir.

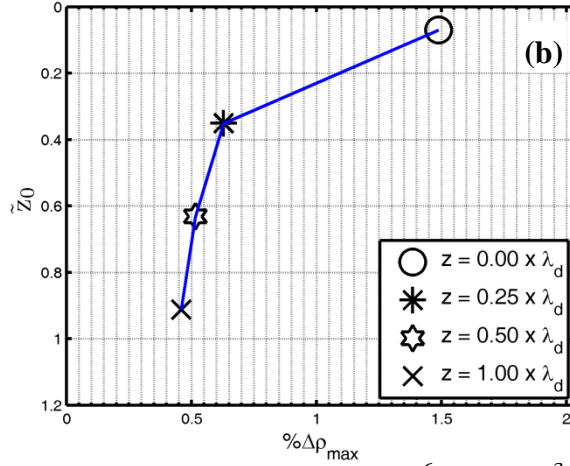




Şekil 3.18 : Boyutu ve yoğunluğu $7 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan saçıcının farklı derinliklerdeki (a) ve (b) grafikleri.

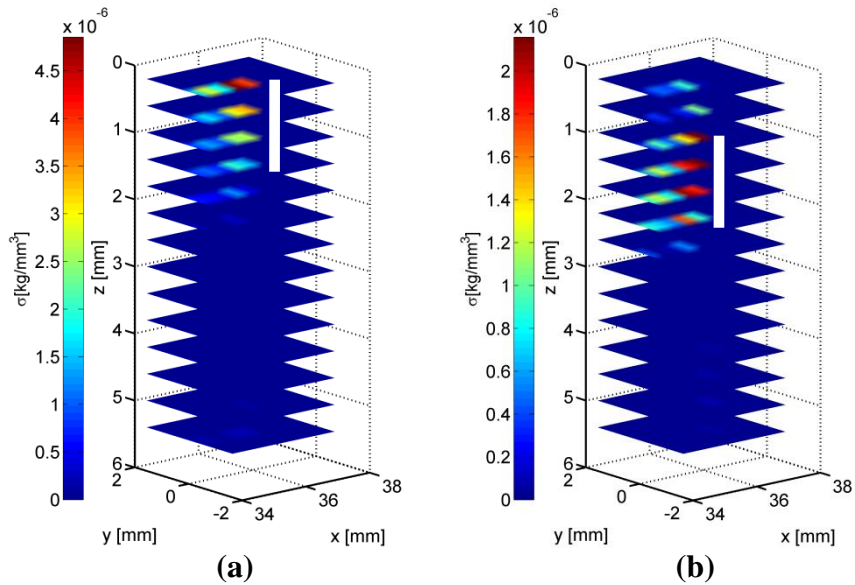
(2.28) bağıntısı kullanılarak elde edilen Şekil 3.19' daki grafiklere göre en iyi sonucun yüzeydeki saçıcı için elde edildiği görülmektedir. Gerçek yoğunluk kontrastının $4.3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olduğu bu durum için yüzeydeki saçıcının hesaplanan yoğunluk kontrastının bu değere yakın $4.01 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olduğu hesaplanmıştır.

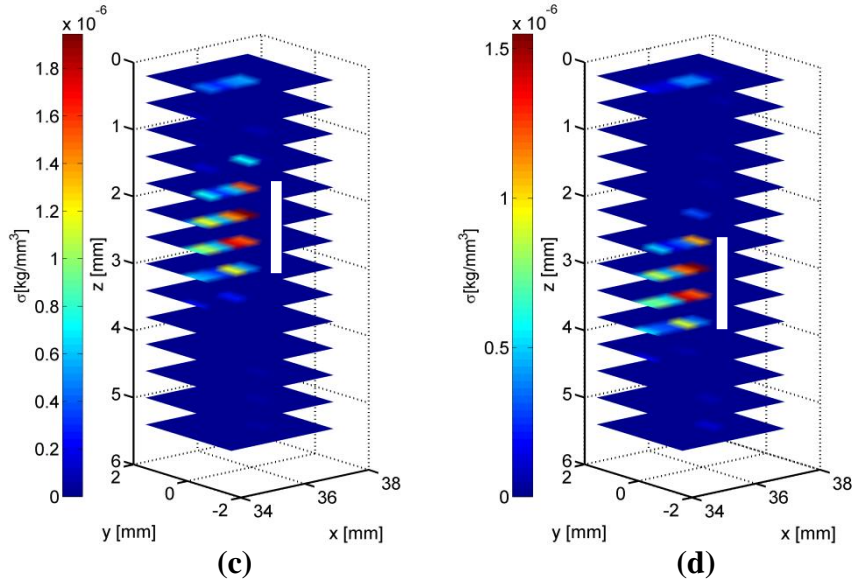




Şekil 3.19 : Boyutu 7×10^{-6} ve yoğunluğu $7 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan saçıcının farklı derinlikler için ters çözüm sonucu elde edilen maksimum yoğunluk kontrastı değerleri, (a) ve (b) grafikleri.

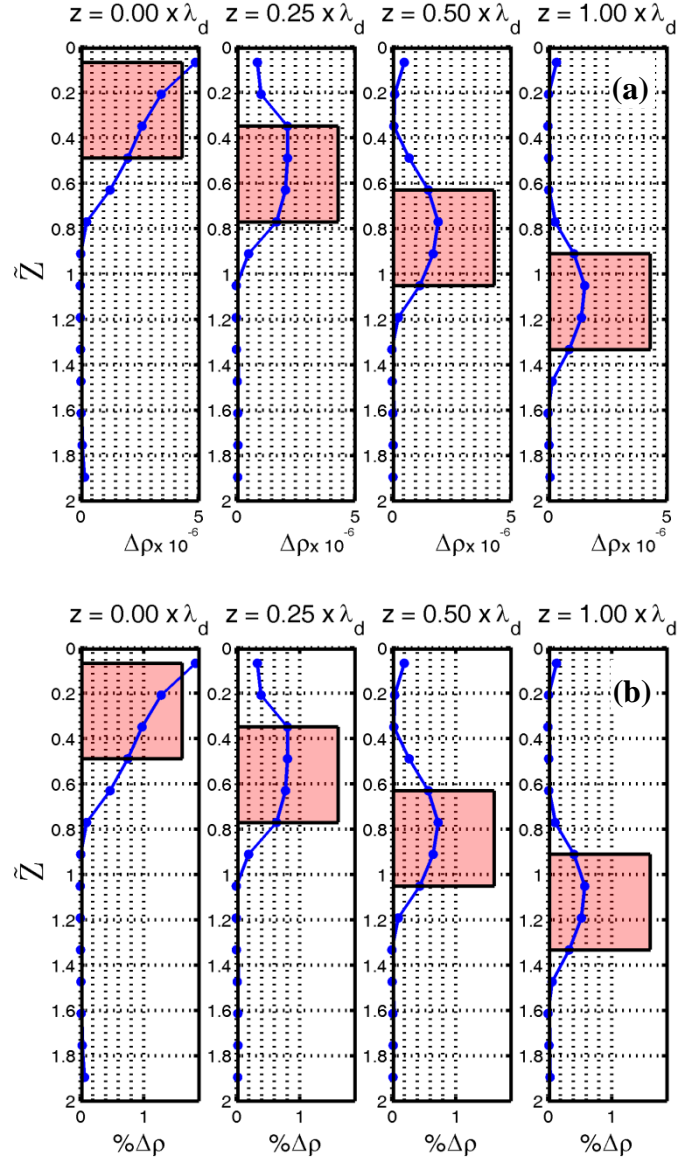
Boyutu 7×10^{-6} olan saçıcı için farklı derinliklere yerleştirildiğinde elde edilen ters çözüm sonuçları, Şekil 3.20 (a), (b), (c) ve (d)' de yoğunluk kontrastı sonuçları farklı derinlik dilimleri halinde gösterilmiştir. Çeşitli derinlikler için saçıcının konumunun net bir şekilde belirlendiği görülmektedir. Derindeki saçıcı için hesaplanan yoğunluk kontrastlarının gerçek değerlerden farklı olduğu, gerçek değerden uzaklaştığı görülmektedir. Ancak buna rağmen ters çözüm işlemi sonuçlarında maksimum yoğunluk kontrastı saçıcının yerleştirildiği yerde görülmüştür. Şekil 3.20 (b), (c) ve (d)' de bazı derinlik dilimlerinde yoğunluk kontrastı olmamasına rağmen kontrast varmış gibi görülmektedir. Örnek olarak Şekil 3.20 (c)' de, saçıcı 1.6 mm () derinlikte bulunmaktadır fakat; ters çözüm sonucunda yüzeyde sanki kontrast varmış gibi gözlenmektedir.





Şekil 3.20 : Boyutu 7×10^{-6} ve yoğunluğu $7 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan Saçıcının konumu ve yoğunluk kontrastı, $z = 0 \text{ mm}$ () (a), $z = 0.8 \text{ mm}$ () (b), $z = 1.6 \text{ mm}$ () (c) ve $z = 2.4 \text{ mm}$ () (d) (Beyaz çubuklar saçıcının gerçek konumunu temsil etmektedir).

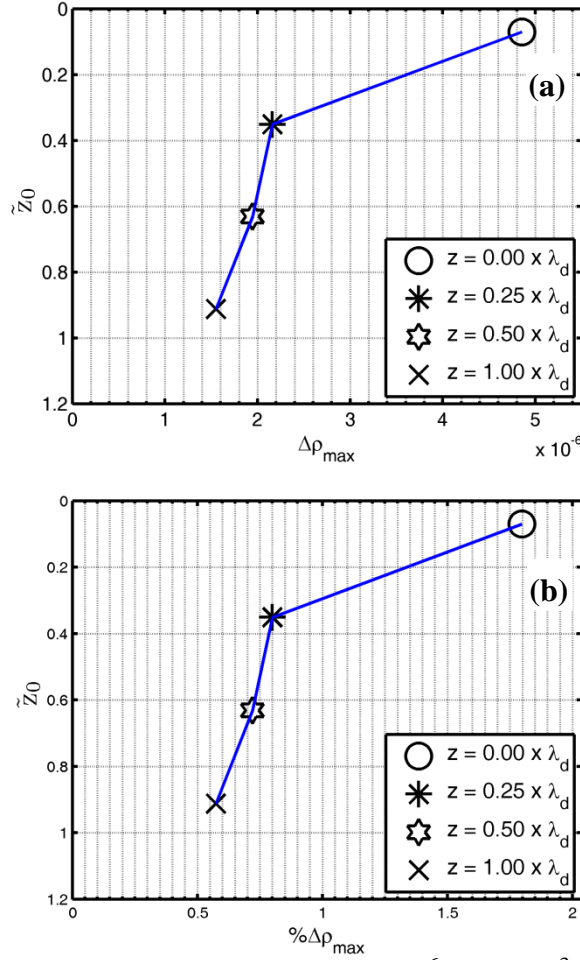
Bölüm 2.2'deki (2.26) bağıntısında z ile dominant dalga boyu arasındaki oran kullanılmıştır. Bu eşitlik ve (2.27)' deki bağıntılar kullanılarak hazırlanan grafiklerde, farklı derinliklere yerleştirilen saçıcıların gerçek yoğunluk kontrastı değerine ve gerçek saçıcı konumuna ne kadar yaklaşıldığını göstermektedir. Şekil 3.21' deki grafiklerden anlaşıldığı üzere hesaplanan yoğunluk kontrastının saçıcının yerleştirildiği yerde olduğu görülmüştür. Şekillerdeki taralı bölge saçıcının gerçek konumunu ve yoğunluk kontrastını göstermektedir. Elde edilen ters çözüm sonuçları yüzeyde bulunan saçıcı için gerçek değerlere yaklaşmış ancak derinlere inildiğinde gerçek değerden uzaklaşmıştır. Yüzeydeki saçıcı için, hesaplanan maksimum yoğunluk kontrastı $4.85 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ tür. Derine inildiğinde ise bu değer $1.59 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.21 : Boyutu ve yoğunluğu $7 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan saçıcının farklı derinliklerdeki (a) ve (b) grafikleri.

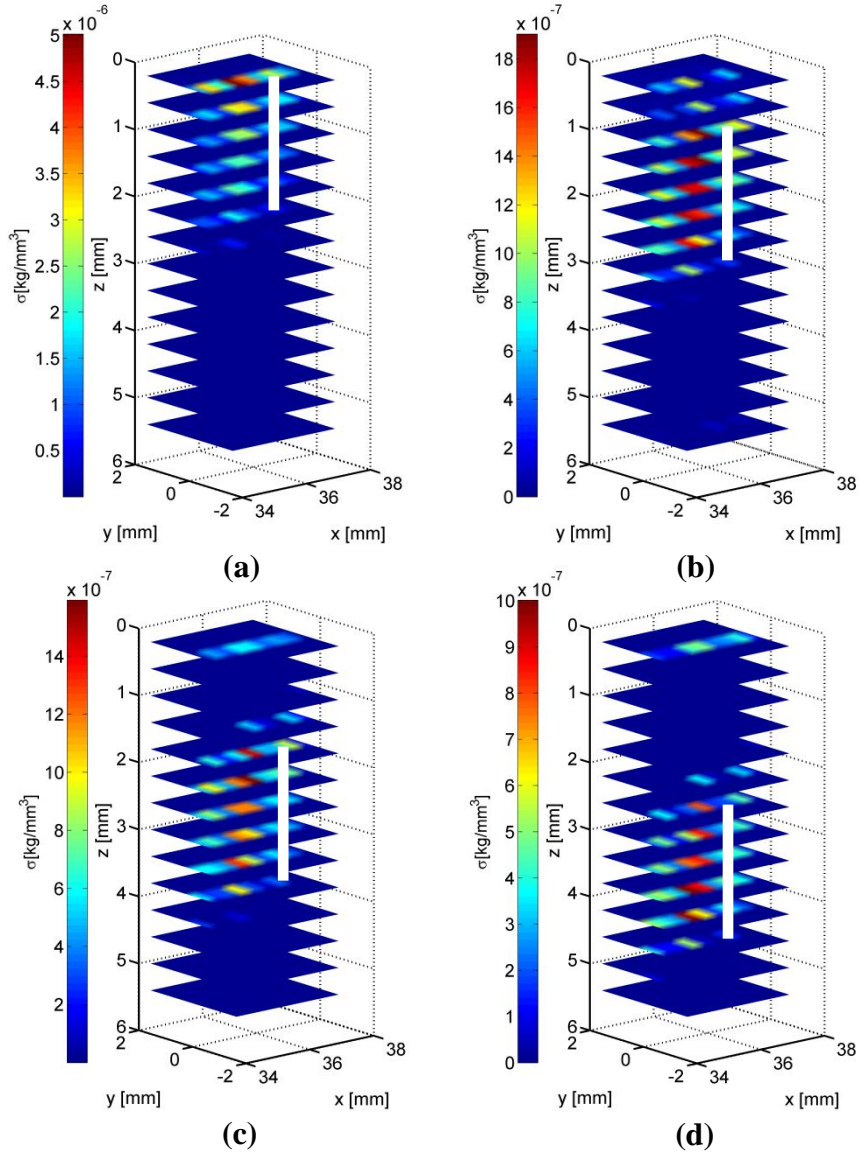
Şekil 3.22' de elde edilen grafiklere göre, saçıcı yüzeydeyken hesaplanan yoğunluk kontrastı değeri gerçek yoğunluk kontrastı değerine çok yakındır. Saıcıcı derine indirildiğinde ani bir şekilde hatanın arttığı görülmektedir. (2.26) bağıntısı kullanılarak elde edilen Şekil 3.22' deki grafiklere göre en iyi sonucun yüzeydeki saçıcı için elde edildiği görülmektedir.

Gerçek yoğunluk kontrastının $4.3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olduğu bu durum için yüzeydeki saçıcının hesaplanan maksimum yoğunluk kontrastının ise $4.85 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olduğu belirlenmiştir.



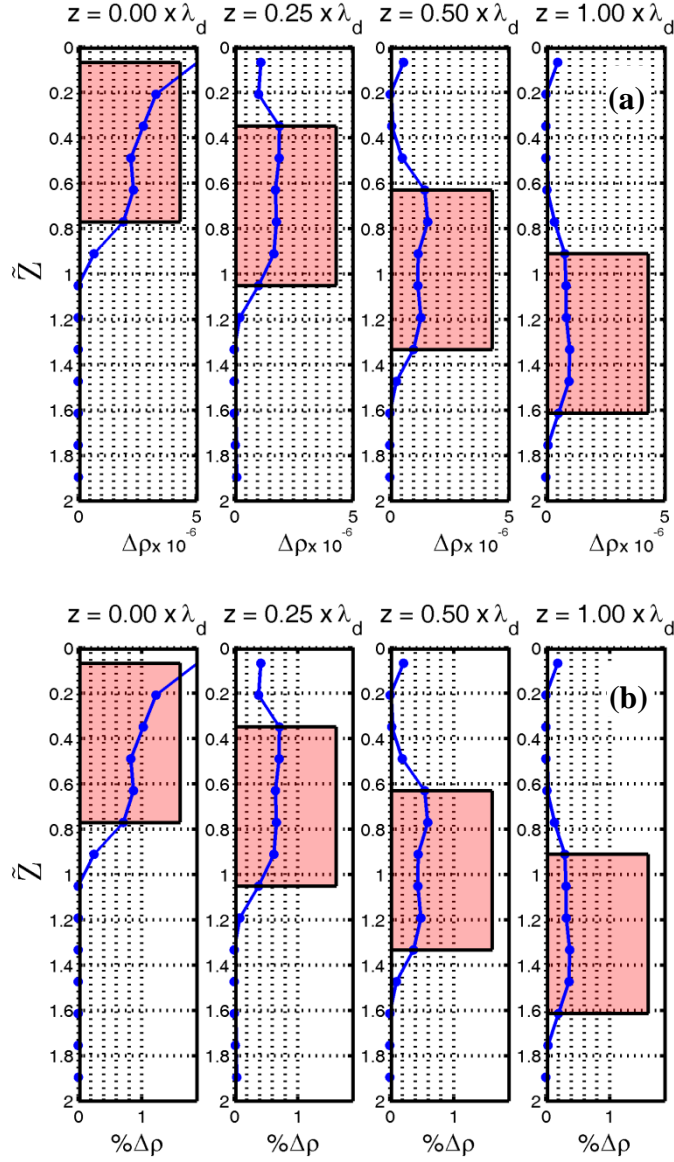
Şekil 3.22 : Boyutu 7×10^{-6} mm ve yoğunluğu 7×10^{-6} kg mm⁻³ olan saçıcının farklı derinlikler için ters çözüm sonucu elde edilen maksimum yoğunluk kontrastı değerleri, (a) ve (b) grafikleri.

Boyutu 7×10^{-6} mm olan saçıcı için farklı derinliklere yerleştirildiğinde elde edilen ters çözüm sonuçları, Şekil 3.23 (a), (b), (c) ve (d)' de yoğunluk kontrastı sonuçları farklı derinlik dilimleri halinde gösterilmiştir. Çeşitli derinlikler için saçıcının konumunun net bir şekilde belirlendiği görülmektedir. Derindeki saçıcı için hesaplanan yoğunluk kontrastlarının gerçek değerlerden farklı olduğu, gerçek değerden uzaklaştığı görülmektedir. Ancak buna rağmen ters çözüm işlemi sonuçlarında maksimum yoğunluk kontrastı saçıcının yerleştirildiği yerde görülmüştür. Şekil 3.23 (b), (c) ve (d)' de bazı derinlik dilimlerinde yoğunluk kontrastı olmamasına rağmen kontrast varmış gibi görülmektedir. Örnek olarak Şekil 3.23 (c)' de, saçıcı 1.6 mm () derinlikte bulunmaktadır fakat; ters çözüm sonucunda yüzeyde sanki kontrast varmış gibi gözlenmektedir.



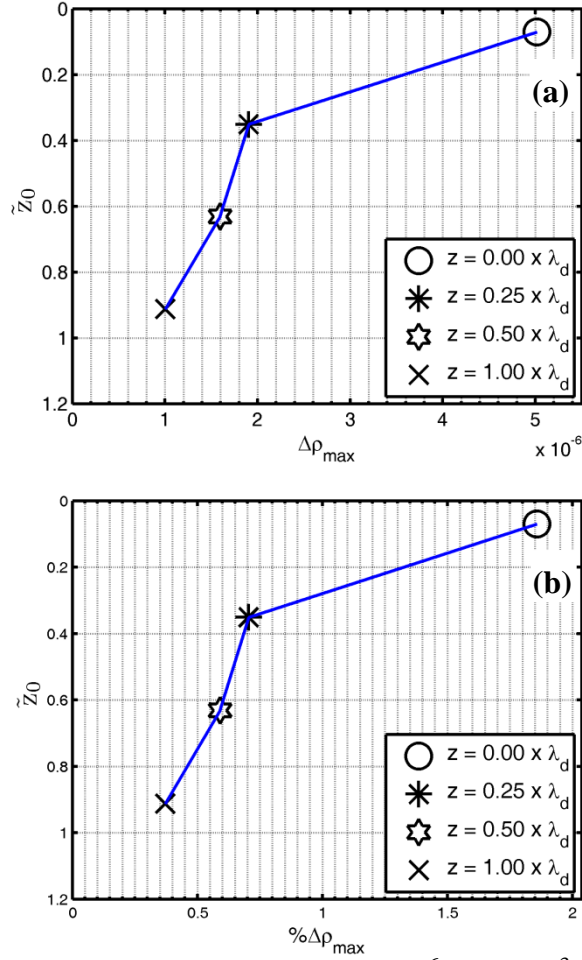
Şekil 3.23 : Boyutu $7 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ ve yoğunluğu $7 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan Saçıcının konumu ve yoğunluk kontrastı, $z = 0 \text{ mm}$ () (a), $z = 0.8 \text{ mm}$ () (b), $z = 1.6 \text{ mm}$ () (c) ve $z = 2.4 \text{ mm}$ () (d) (Beyaz çubuklar saçıcının gerçek konumunu temsil etmektedir).

(2.26) bağıntısı ve (2.27)' deki bağıntılar kullanılarak hazırlanan grafiklerde, farklı derinliklere yerleştirilen saçıcıların gerçek yoğunluk kontrastı değerine ve gerçek saçıcı konumuna ne kadar yaklaştığı gösterilmektedir. Şekil 3.24' teki grafikler taralı bölge saçıcının gerçek konumunu ve yoğunluk kontrastını göstermektedir. Elde edilen ters çözüm sonuçları yüzeyde bulunan saçıcı için gerçek değer olan $4.3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$, e yaklaşmış ancak derinlere inildiğinde gerçek değerden uzaklaşmıştır. Yüzeydeki saçıcı için, hesaplanan maksimum yoğunluk kontrastı $5.01 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$, tür. Derine inildiğinde ise bu değer $1.00 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.24 : Boyutu 7×10^{-6} ve yoğunluğu $7 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan saçıcının farklı derinliklerdeki (a) ve (b) grafikleri.

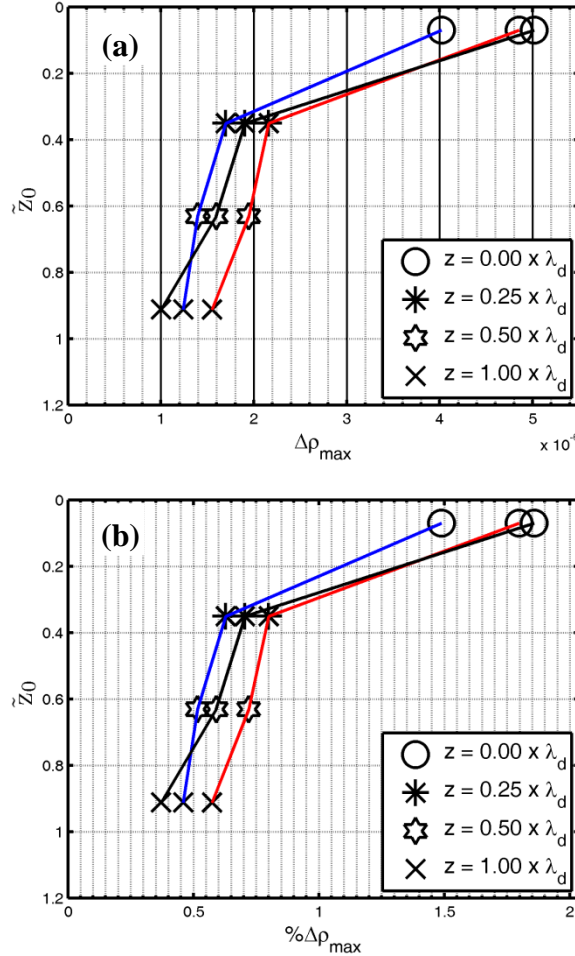
Şekil 3.25' te, (2.26) bağıntısı kullanılarak ve grafikleri oluşturulmuştur. Grafiklerden anlaşıldığı gibi, ters çözüm sonucu yüzeydeki saçıcının yoğunluk kontrastının bulunmasında iyi çözüm vermektedir. Ancak saçıcı derine yerleştirildiğinde hesaplanan yoğunluk kontrastının gerçek değerden uzaklaştığı görülmüştür. Şekil 3.25' teki grafiklere göre en iyi sonucun yüzeydeki saçıcı için elde edildiği görülmektedir. Gerçek yoğunluk kontrastının $4.3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olduğu bu durum için yüzeydeki saçıcının hesaplanan yoğunluk kontrastının gerçek değere çok yakın; $5.01 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olduğu görülmektedir.



Şekil 3.25 : Boyutu $7 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ ve yoğunluğu $7 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan saçıcının farklı derinlikler için ters çözüm sonucu elde edilen maksimum yoğunluk kontrastı değerleri, (a) ve (b) grafikleri.

Şekil 3.26' da farklı boyutlardaki saçıcıların farklı derinliklerdeki ters çözümlerinden elde edilen maksimum yoğunluk kontrastları birarada gösterilmiştir. Saçıcı yoğunluğu $7 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olarak ele alınmıştır. Buna göre; mavi çizgi ile ifade edilen boyutundaki saçıcının ters çözüm sonucu; kırmızı, boyutundaki saçıcının; siyah, boyutundaki saçıcının ters çözüm sonuçlarıdır. Şekil 3.26 (a)' da grafiği; Şekil 3.26 (b)' de ise grafikleri verilmiştir.

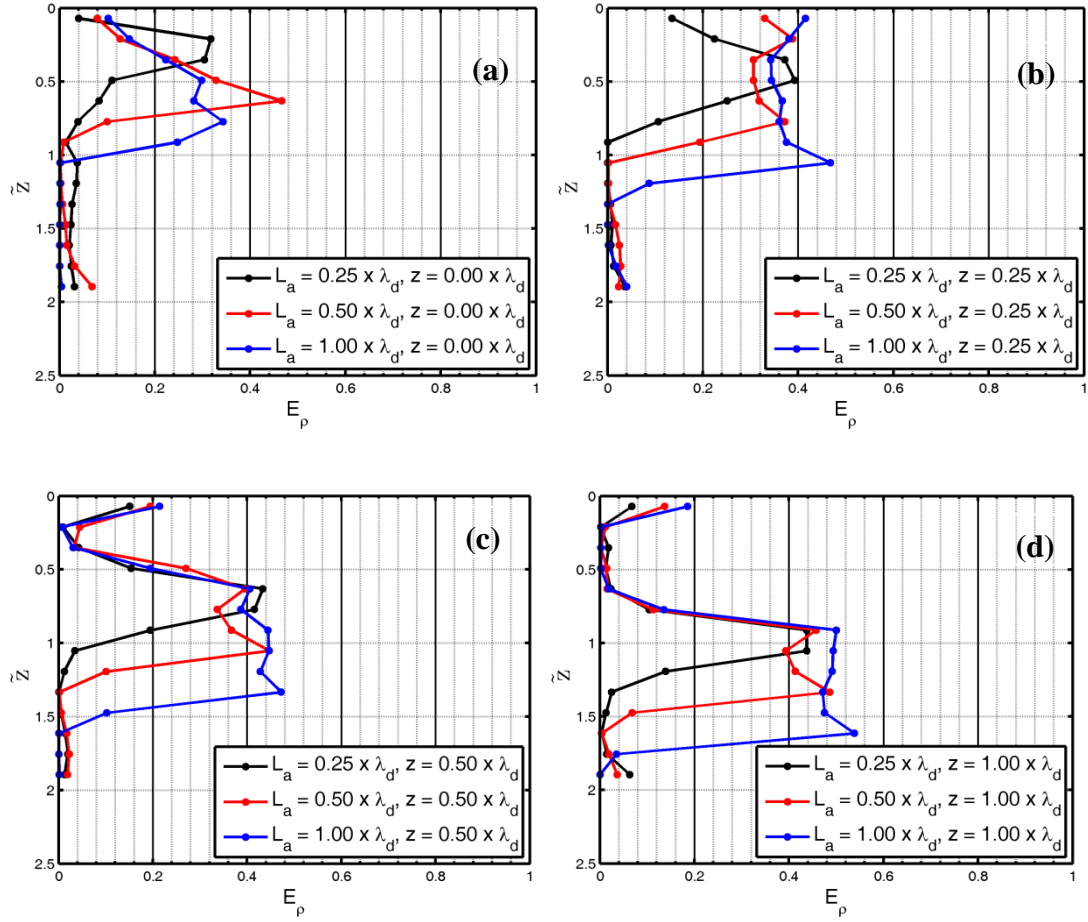
Born yaklaşımının geçerli olmadığı modellerde, yüzeydeki saçıcı için yoğunluk kontrastı kestirimi her üç boyuttaki saçıcı için son derece iyi sonuç vermiştir. Saçıcı derine indirildiğinde kestirimde gerçek değerden uzaklaşmalar görülmüştür.



Şekil 3.26 : Farklı boyuttaki ((Siyah), (Kırmızı), (Mavi)) saçıcıların, $7 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ yoğunluk değeri ve farklı derinlikler için ters çözüm sonucu elde edilen maksimum yoğunluk kontrastı değerleri, (a) ve (b) grafikleri.

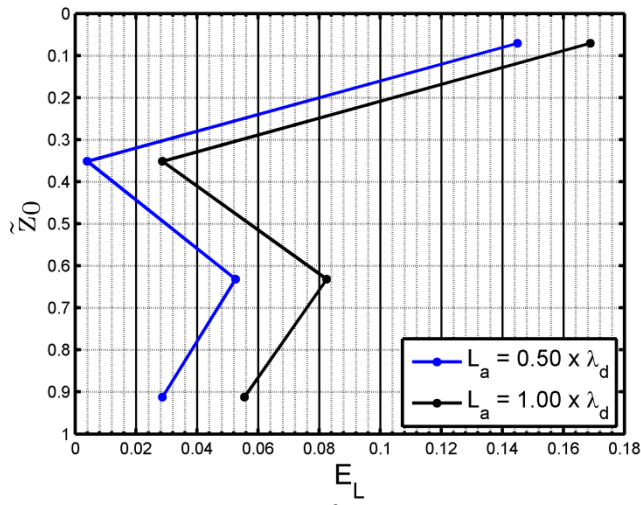
Bölüm 2.2' deki (2.27) bağıntısı Şekil 3.27' yi oluşturmak için kullanılmıştır. Her bir grafikte saçıcının yerinin net bir şekilde gözlemlendiği görülmektedir. Şekil 3.27' deki z saçıcının derinliğini, L_a ise saçıcının gerçek boyutunu göstermektedir. Her bir grafikte görülen yükselimler saçıcının bulunduğu yerde gözlenmiştir. Farklı saçıcı boyutlarındaki durum ve farklı derinlikler göz önüne alındığında; saçıcının bulunduğu konum dışında herhangi bir yoğunluk kontrastı bulunmadığı için o bölgelerde hata değerleri sıfır ya da sıfıra yakın hesaplanmıştır. Bir başka ifadeyle üç farklı saçıcının bulunduğu konumlarda yoğunluk kontrastı oluşmuş ve bundan dolayı hata değeri oluşacaktır. Elde edilen bu şekillerdeki hedef, gerçek ve hesaplanan yoğunluk kontrastları arasındaki hatanın ne kadar olduğunu tespit etmektir. Şekil 3.27 (a)' da yüzeydeki farklı saçıcı boyları için hesaplanan yoğunluk kontrastının gerçek değere ne kadar yaklaştığı incelenmiştir. Şekil 3.27 (b)' de saçıcılar derinliğe yerleştirilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre boyutu olan

saçıcının hata değerinin en az olduğu görülmektedir. Şekil 3.27 (c)' de saçıcılar derinliğe yerleştirilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir. Benzer şekilde boyutu olan saçıcının hata değerinin en az olduğu görülmektedir. Şekil 3.27 (d)' de ise saçıcılar derinliğe yerleştirilmiş ve sonuçlar benzer şekilde elde edilmiştir. Bu durum içinde boyutu olan saçıcının hata değerinin en az olduğu görülmektedir.



Şekil 3.27 : Yoğunluğu $7 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ ve boyutları farklı olan çeşitli derinliklerdeki saçıcının; (a), (b), (c), (d) ters çözüm sonucu elde edilen hata değerleri.

Bölüm 2' deki, (2.30) ilişkisi kullanılarak Şekil 3.28' deki grafikler oluşturulmuştur. Saçıcı boyutunun kestirimindeki hatayı inceleyen bu grafikler, Şekil 3.21 (a) ve Şekil 3.24 (a)' daki yarı yükseklikteki tam genişlik değerleri hesaplanarak elde edilmiştir. Saçıcının yüzeyde olduğu durumlarda, kestirilen saçıcı boyutundaki hata oranı yüksek olmaktadır. Bunun sebebi yüzeydeki saçıcı için yarı yükselikteki tam genişliğin net bir şekilde okunamamasıdır. Saçıcı derine yerleştirildiğinde yarı yükseklikteki tam genişlik net bir şekilde okunabilmektedir. Şekil 3.28 de görüldüğü gibi boyutu 0.03 mm olan saçıcının elde edilen boyut kestirimleri boyutu 0.03 mm olan saçıcıdan daha iyi sonuç vermiştir.



Şekil 3.28 : Yoğunluğu $7 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan ve boyutları 0.03 mm , 0.06 mm , 0.12 mm , 0.24 mm olan saçıcıların ters çözüm sonucundaki boyut kestirimi hata değerleri.

3.3 Farklı Frekans Bantları Kullanılarak Saçıcının Görüntülenmesi

Düz problem çözümü ile oluşturulan saçıcı dalga alanına zaman ortamında farklı frekans bantları için filtre uygulanarak, elde edilen filtrelenmiş dalga alanlarına ters çözüm yöntemi uygulanmış ve yoğunluk kontrastları arasındaki ilişki incelenmiştir.

Gerçek yoğunluk kontrastı değeri ile ters çözüm sonucunda elde edilen yoğunluk kontrastları karşılaştırılmış ve hangi frekans bandı için en az hatanın hesaplandığı tespit edilmiştir.

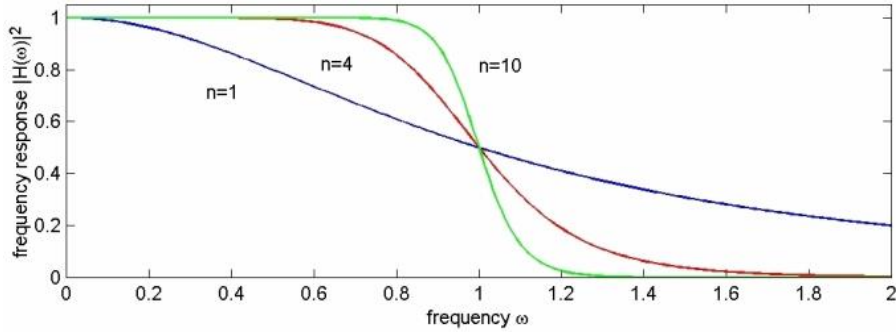
Çizelge 3.3 : Ters çözümde uygulanan farklı frekans bantları.

	F_{\min} (Hz)	F_{\max} (Hz)
FB 0	0.20×10^6	1.80×10^6
FB 1	0.15×10^6	0.80×10^6
FB 2	0.60×10^6	1.10×10^6
FB 3	0.90×10^6	1.75×10^6

Saçılmış dalga alanının farklı frekans bantlarındaki değerlerine tüm frekans bandına Butterworth filtresi uygulanarak ulaşılmıştır. Butterworth filtresi ideal bir band geçirir filtresidir. Verilen frekans bandındaki aralığı diğer frekansları bastırmadan geçirir. Buna göre ideal bir bant geçirir filtre frekans ortamında dikdörtgen fonksiyonu şeklindedir; ancak oluşturulan filtre idealden uzakta olacaktır. Butterworth filtresinin çeşitli dereceleri vardır. En düşük derece zaman ortamındaki en kısa filtredir, daha yüksek dereceleri ise frekans ortamında daha iyi olmaktadır.

(3.1)

(3.1) eşitliğinde n derece sayısını göstermektedir. , frekans; ise kesme frekans değeridir. Şekil 3.29' da farklı derecelerdeki Butterworth filtreleri görülmektedir. Anlaşılacağı gibi derece artınca, ideale yakın bir alçak geçirir filtre oluşturulmaya yaklaşılmaktadır.

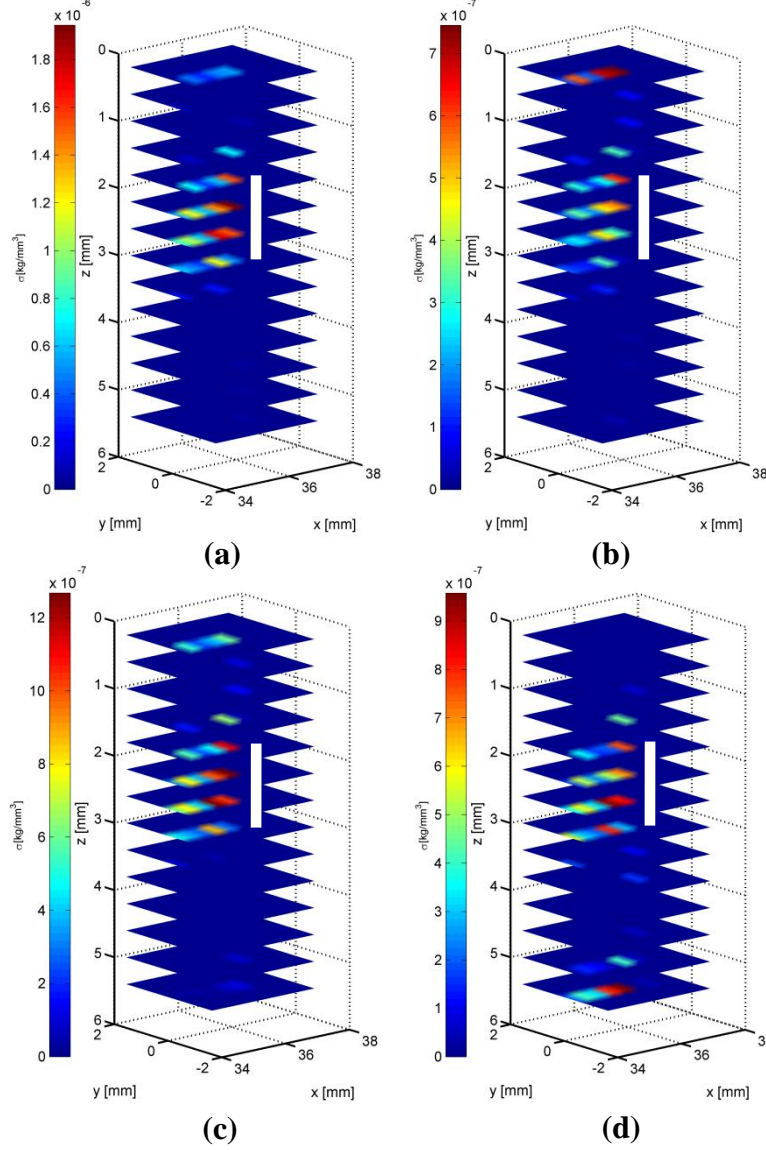


Şekil 3.29 : Üç farklı derecedem alçak geçirir Butterworth filtresi: $n = \{1, 4, 10\}$. Derece artınca filtre ideale yaklaşmaktadır.

Oluşturulan saçılmış dalga alanında, maksimum ve minimum frekans aralığı tanımlanmış ve veri üç farklı banda ayrılmıştır. Her bir bandın tespit edilen maksimum ve minimum frekans değerleri Çizelge 3.3' te verilmiştir. Buna göre; FB 0 bütün frekans bandını, FB 1, FB 2 ve FB 3 farklı frekans bantlarını ve bu bantların minimum ve maksimum frekans değerlerini göstermektedir. Elde edilen grafiklerde de bu şekilde bir gösterim kullanılmıştır. FB 0, bütün frekans bandını; FB 1 alçak frekans bandını; FB 2 orta frekans bandını; FB 3 ise yüksek frekans bandını ifade etmektedir.

Boyutu ve derinliği , yoğunluğu $7 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan saçıcı durumu için elde edilen saçılmış dalga alanına Butterworth filtresi uygulanmış ve üç farklı bant için veriler elde edilmiştir. Elde edilen veriler ve tüm frekans bandı ters çözüme sokularak sonuçlar incelenmiştir.

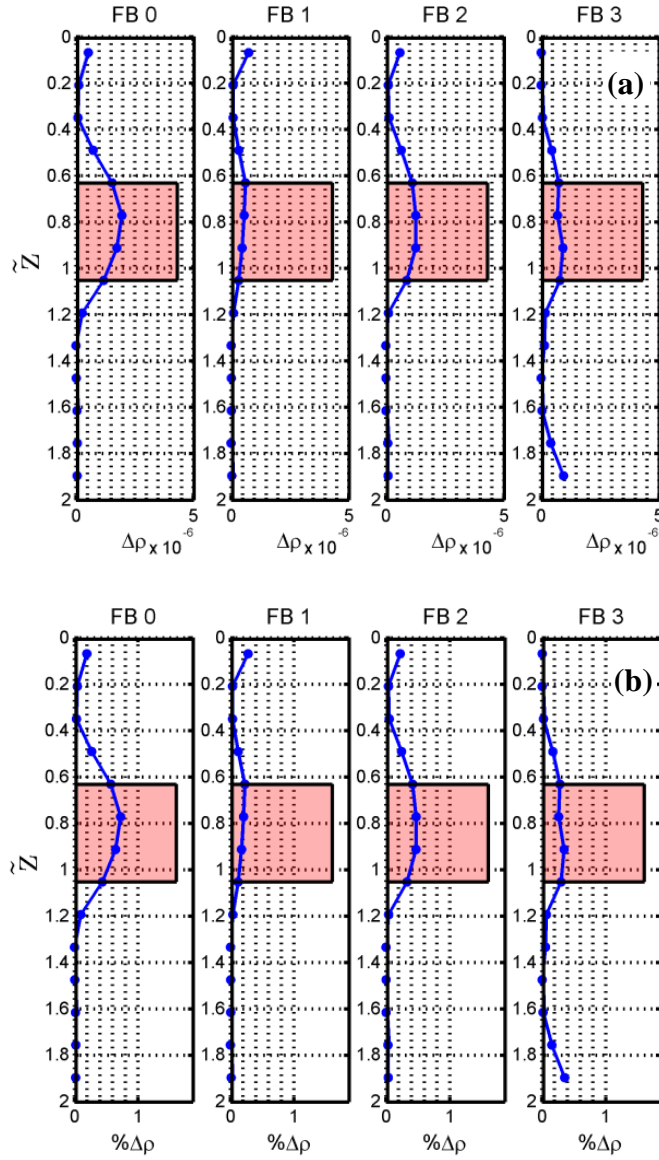
Şekil 3.30 (a), (b), (c) ve (d)' de yoğunluk kontrastı sonuçları farklı derinlik dilimleri halinde gösterilmiştir. Çeşitli frekans bantları için saçıcının konumu belirlenmiştir. Şekil 3.30 (a), (b), (c) ve (d)' de saçıcı ve yan etkilerde görülmektedir. Yan etkiler ters çözüm sonucunda yoğunluk kontrastının bulunmadığı yerlerden kontrast değerlerinin alınması olarak ifade edilebilir. Derindeki saçıcının farklı frekans bantları için hesaplanan yoğunluk kontrastlarının gerçek değerlerden farklı olduğu görülmektedir. Farklı bantlar için yapılan ters çözüm işlemi sonuçlarında maksimum yoğunluk kontrastı saçıcının yerleştirildiği yerde görülmüştür. Sonuç olarak bütün frekans bantları için saçıcının konumunun net bir şekilde belirlendiği görülmektedir.



Şekil 3.30 : Boyutu ve derinliği z ve yoğunluğu $7 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan saçıcının, FB 0 (a), FB 1 (b), FB 2 (c) ve FB 3 (d) bantlarındaki ters çözüm sonuçları (Beyaz çubuklar saçıcının gerçek konumunu temsil etmektedir).

Bölüm 2' deki, (2.26) ve (2.27) bağıntıları kullanılarak hazırlanan grafiklerde derinliğe yerleştirilen, boyutu z ve yoğunluğu $7 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan saçıcının farklı frekans bantları için elde edilen yoğunluk kontrastı değerleri görülmektedir. Anlaşıldığı gibi tüm frekans bandına en yakın sonuç ikinci frekans bant (orta bant) için elde edilen sonuçlardır. Şekil 3.31' deki grafikler taralı bölge saçıcının gerçek konumunu ve yoğunluk kontrastını göstermektedir. Gerçek yoğunluk kontrastı değerine ve gerçek saçıcı konumuna ne kadar yaklaştığı gösterilmektedir. Tüm frekans bandı (FB 0) için elde edilen ters çözüm sonucunda hesaplanan maksimum yoğunluk kontrastı $1.94 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$, alçak frekans bandı sonucunda $0.74 \times 10^{-6} \text{ kg}$

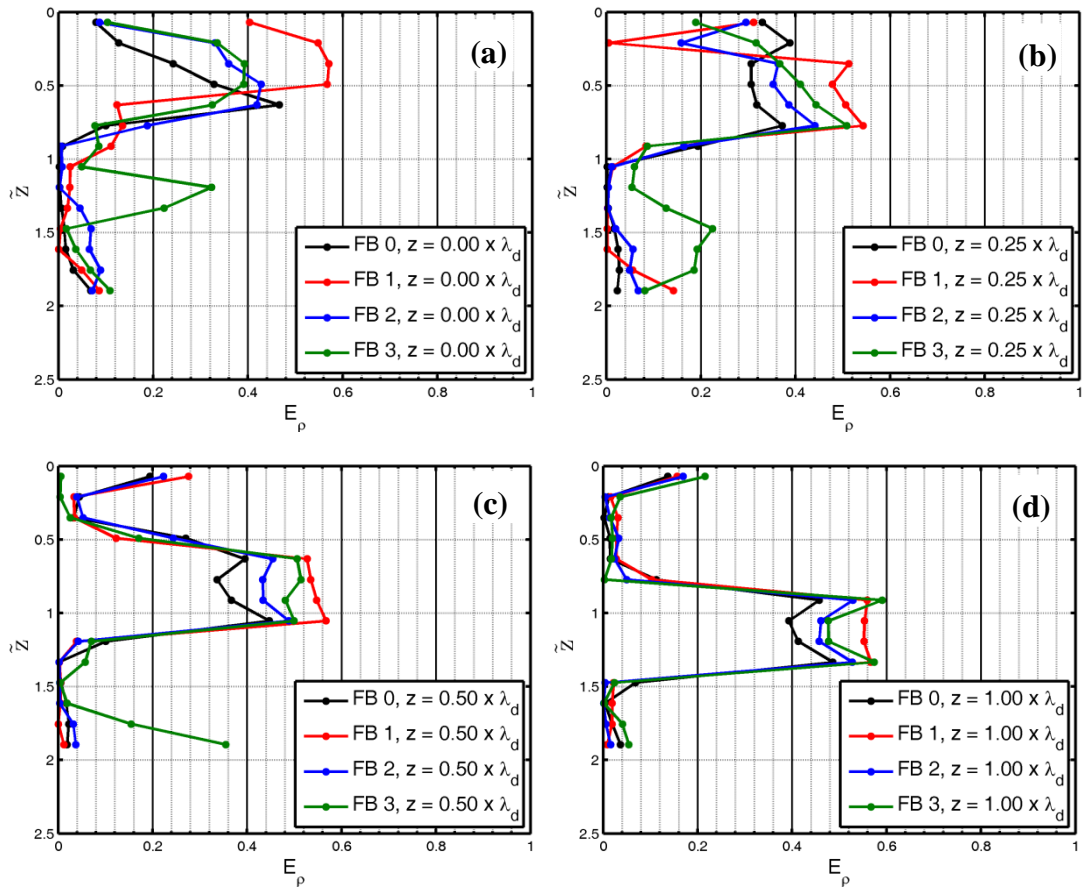
mm^{-3} , orta frekans bant $1.26 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ ve yüksek frekans bant sonucunda $0.96 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olarak elde edilmiştir (Şekil 3.31 (a)).



Şekil 3.31 : Boyutu ve derinliği ve yoğunluğu $7 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan saçıcının farklı frekans batları için (a) ve (b) grafikleri.

Bölüm 2' deki, (2.29) bağıntısı Şekil 3.32' yi oluşturmak için kullanılmıştır. Bu oran hesaplanan yoğunluk kontrastının gerçek değere ne kadar yakın olduğu ifade etmek için kullanılmaktadır. Her bir grafikte saçıcının yerinin net bir şekilde gözlemlendiği görülmektedir. Şekil 3.32' deki z saçıcının derinliğini; FB 0, FB 1, FB 2 ve FB 3 ise farklı frekans bantları için saçılmış dalga alanının ters çözüm sonuçlarını göstermektedir. Farklı derinlikler için de yapılan bu çalışmada frekans bantlarının ters çözüm sonuçları incelenmiştir. Her bir grafikte saçıcının yerinin net bir şekilde gözlemlendiği görülmektedir, bununla birlikte orta frekans bandında ters çözüm

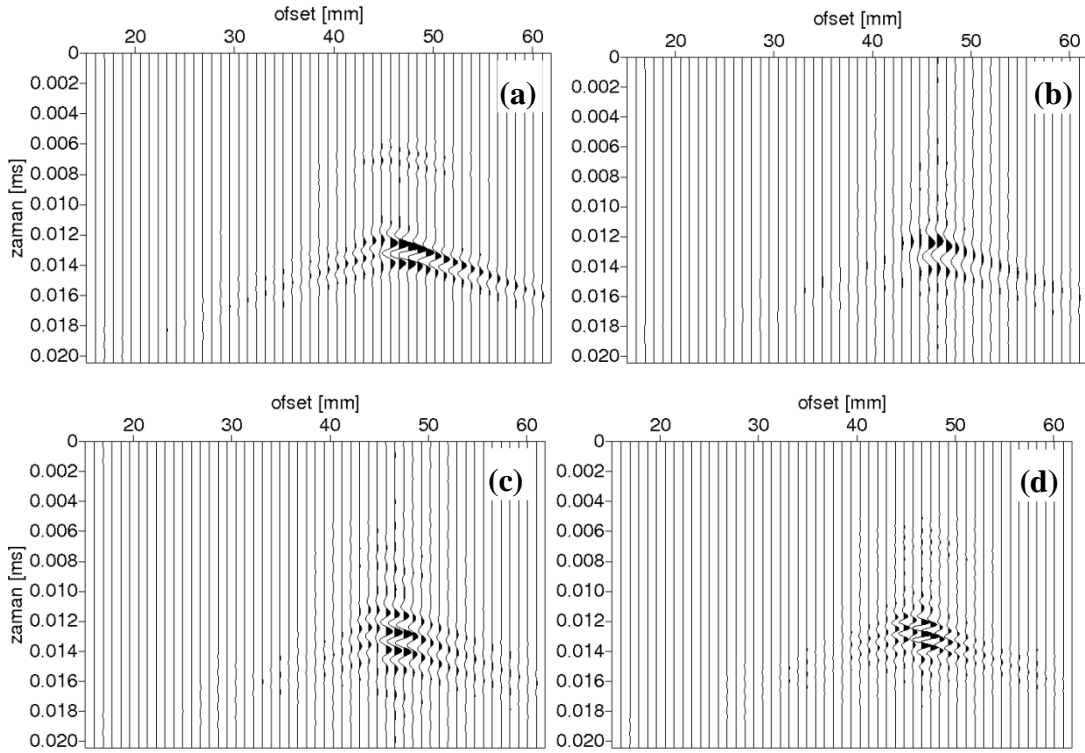
sonuçlarının saçıcının bütün konumları için iyi sonuç verdiği tesbit edilmiştir. Elde edilen bu şekillerdeki hedef, gerçek ve hesaplanan yoğunluk kontrastları arasındaki farkın farklı frekans bantları için farklı derinliklerde tespit etmektir. Şekil 3.32 (a)' da yüzeydeki saçıcının farklı frekans bantlarındaki hata oranı görülmektedir. Alçak ve orta frekans bandındaki sonuçların birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Şekil 3.32 (b)' de saçıcı derinliğe yerleştirilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre orta frekans bandından elde edilen sonuçların tüm frekans bandına yakın olduğu görülmektedir. Şekil 3.32 (c)' de saçıcı derinliğe yerleştirilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir. Benzer şekilde orta frekans bandındaki sonucun alçak ve yüksek frekans bantlarından daha az hata verdiği görülmektedir. Şekil 3.302(d)' de ise saçıcı derinliğe yerleştirilmiştir. Bu durum içinde orta frekans bandının hata değerinin en az olduğu görülmektedir



Şekil 3.32 : Boyutu olan ve çeşitli derinliklerdeki ((a), (b), (c), (d)) saçıcının farklı frekans bantlarındaki hata değerleri.

Şekil 3.33' de, boyutu ve derinliği olan ve yoğunluğu $7 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ alınan saçıcının farklı bantlar için ters çözüm sonucunda elde edilen saçılmış dalga alanları

görülmektedir. Şekil 3.33 (a)' da tüm bant (FB 0) için ters çözüm uygulanmış ve sonuç grafikteki gibi elde edilmiştir. Şekil 3.33 (b)' de, saçılmış dalga alanına düşük frekans bandı (FB 1) için filtre uygulanmıştır. Filtrelenen dalga alanına ters çözüm uygulandığında grafikteki sonuç elde edilmiştir. Sismogramdaki düşük frekanslı dalga alanı belirgin hale gelmiştir. Şekil 3.33 (c)' de, saçılmış dalga alanına orta frekans bandı (FB 2) için filtre uygulanmıştır. Filtrelenen dalga alanına ters çözüm uygulanmıştır. Şekil 3.33 (d)' de, saçılmış dalga alanına yüksek frekans bandı (FB 3) için filtre uygulanmıştır. Filtrelenen dalga alanına ters çözüm uygulandığında grafikteki sonuç elde edilmiş ve yüksek frekanslı dalga alanı belirgin hale gelmiştir.



Şekil 3.33 : Boyutu, derinliği ve yoğunluğu $7 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ olan saçıcının, FB 0 (a), FB 1 (b), FB 2 (c) ve FB 3 (d) bantlarındaki ters çözüm sonucu elde edilen saçılmış dalga alanları.

4. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada elastodinamik dalga denkleminin integral temsiline dayalı olan, ters saçılma metodu kullanılmıştır. Born yaklaşımı kullanılarak, düz ve ters saçılma problemleri çözülmüştür. Çalışmanın amacı saçılmış yüzey dalgalarının kullanarak farklı derinlik, büyüklük ve yoğunluktaki süreksizliklerin saçıcı kestirimi üzerindeki etkisini incelemektir. Bunun için hazırlanan farklı modeller üzerinde düz çözüm yapılarak saçılmış dalga alanı oluşturulmuş daha sonrada oluşturulan saçılmış dalga alanlarına ters çözüm uygulanarak yoğunluk kontrastı, saçıcı konumu ve boyut kestirimi yapılmıştır.

Bu çalışma kapsamında farklı yoğunluk kontrastlarına sahip modeller (Born yaklaşımının kullanıldığı ve kullanılmadığı) için baskın dalga boyu ile ilişkilendirilen üç farklı boyuttaki (, ,) saçıcılar ele alınmıştır. Farklı yoğunluk kontrastlarındaki ($0.3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$ ve $4.3 \times 10^{-6} \text{ kg mm}^{-3}$) ve boyuttaki saçıcılar çeşitli derinliklere (, , ,) yerleştirilmiş ve ters çözüm sonuçları incelenmiştir. Saçıcının büyüklüğü ve derinliğinin ters çözüme ne şekilde etki ettiği anlaşılmaya çalışılmıştır. Öncelikle verilen fiziksel modelin alıcıda oluşturduğu dalga alanı hesaplanmış, bir başka deyişle düz problem çözümü (düz modelleme) yapılmıştır. Bu durumlar için düz problem çözümü ile dalga alanı oluşturulduktan sonra elde edilen verilere ters çözüm uygulanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre Born yaklaşımın kullanıldığı ve kullanılmadığı modeller için saçıcıların konumları net bir şekilde belirlenmiştir. Yoğunluk kontrastı değerleri ise saçıcının yüzeyde olduğu durumda en iyi sonucu vermiş; ancak saçıcı derine yerleştirildiğinde gerçek yoğunluk kontrastı değerinden uzaklaştığı görülmüştür. Aynı derinlikte farklı saçıcı boyları incelendiğinde ise; boyutu olan saçıcının her derinlik için hata değerlerinin düşük olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlardan bütüm koşullar için yoğunluk kontrastı kestiriminde gerçek değere yakın sonuçlar elde edilmesede buna rağmen saçıcının konumu net bir şekilde tespit edilmiştir.

Saçıcı boyutunun kestirilmesi çalışmasında yarı yükseklikteki tam derinlik şekillerden okunarak hesaplamalar yapılmıştır. Buna saçıcı yüzeye yerleştirildiğinde saçıcı boyutu kestiriminde hata yüksek çıkmaktadır çünkü, yüzeydeki durumlarda yarı yükseklikteki tam genişliği net bir şekilde okumak mümkün olmamıştır. Ancak saçıcının derine yerleştirildiği durumlar için okumalar yapılarak sonuçlar elde

edilmiş ve boyut kestirimi yapılmıştır. Saçıcı derindeyken boyut kestirimindeki hatanın azaldığı belirlenmiştir. Buna göre; saçıcı derine yerleştirildiğinde boyut kestirimindeki hatanın yaklaşık %2-4 değerleri arasında değiştiği gözlenmiştir.

Başka bir çalışmada ise boyutu ve derinliği olan düz problem çözümü ile oluşturulan saçıcı dalga alanına farklı frekans bantları için Butterworth filtresi uygulanmış ve elde edilen filtrelenmiş dalga alanlarına ters çözüm yöntemi uygulanmıştır. Farklı frekans bantlarının (düşük, orta ve yüksek bant) ters çözüm sonuçları incelenmiş ve yoğunluk kontrastları ve saçıcı konumu kestirimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Buna göre gerçek yoğunluk kontrastı değeri ile ters çözüm sonucunda elde edilen yoğunluk kontrastı sonuçları karşılaştırılmış ve hangi frekans bandı için en az hatanın hesaplandığı tespit edilmiştir. Orta bant için elde edilen sonuçlarda kestirilen yoğunluk kontrastının gerçek değere en yakın olduğu belirlenmiştir. Bunun dışında yüksek ve düşük bantlardaki saçılmış dalga alanlarının ters çözüm sonuçlarında kestirilen yoğunluk kontrastı değerinin gerçek değerden uzaklaştığı belirlenmiştir. Aynı zamanda bütün bantlar için saçıcının konumunun doğru bir şekilde kestirildiği görülmüştür. Boyutu sabit tutularak yüzeyden derine indirilen saçıcının, aynı bantlardaki ters çözüm sonuçlarına göre: Orta frekans bandındaki ters çözüm sonucu gerçek yoğunluk kontrastı değerine en yakın neticelerdir. Bunun sebebi ise orta frekans bandının, dominant frekans bandında bulunması olarak açıklanmıştır. Yapılacak olan diğer çalışmalarda ise farklı saçıcı büyüklükleri için aynı uygulamaların yapılması ve elde edilecek sonuçların incelenmesi amaçlanmıştır. Bunlara ek olarak oluşturulan saçılmış dalga alanına gürültü eklenerek, ters çözüm sonucunun ne şekilde değişeceği incelenecektir.

KAYNAKLAR

- Boiero, B. ve Socco, L.V.** (2010). Retrieving Lateral Variations from Surface Wave Dispersion Curves, *Geophysical Prospecting*, 1-20.
- Campman, X., Wijk van K., Scales, J. ve Herman, G.C.** (2005). Imaging and suppressing near-receiver scattered surface waves. *Geophysics*, 70 (2), V21-V29.
- Chang, S. ve Baag, C.** (2005). Crustal Structure in Southern Korea from Joint Analysis of Teleseismic Receiver Functions and Surface-wave Dispersion, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 95, 1516-1234.
- Cong, L. ve Mitchell, B.J.** (1998). Seismic Velocity and Q Structure of the Middle Eastern Crust and Upper Mantle from Surface-wave Dispersion and Attenuation, *Pure Appl. Geophys.*, 153, 503-538.
- Ditzel, A.** (2003). *Train –Induced Ground Vibrations: Modeling and Experiments*, PhD thesis, Delft University of Technology, The Netherlands.
- Foti, S.** (2000). Multi Station Methods for Geotechnical Characterisation Using Surface Waves, Ph. D. Thesis, Politecnico di Torino.
- Ganji, V., Gucunski, N. ve Maher, A.** (1997). Detection of ;Underground Obstacles by SASW Method-Numerical Aspects, *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 123(3), 212-219.
- Gelis, C., Virieux, J. ve Grandjean, G.** (2006). Two-dimensional Elastic Fullwaveform Inversion Using Born and Rytov Formulations in the Frequency Domain, *Geophysics. J. Int.*, 168, 605-633.
- Gelis, C., Leparoux, D., Virieux, J., Bitri, A., Operto, S., Grandjean, G.** (2005). Numerical Modeling of Surface Waves Over Shallow Cavities, *J: Environ. Eng. Geophys.*, 10, 49-59.
- Gertstoft, P., Sabra, K.G., Roux, P., Kuperman, W.A., Fehler, M.C.** (2006). Green's Functions Extraction and Surface-wave Tomography from Microseismics in Southern California, *Geophysics*, 71, SI23-SI31.

- Herman, G.C., Milligan, P.A., Huggins, R.J. ve Rector, J.W.** (2000). Imaging shallow objects and heterogeneities with scattered guided waves. *Geophysics*, 65 (1), 247-252.
- Kaslilar, A.** (2007). Inverse Scattering of Surface Waves: Imaging of Near-Surface Heterogeneities, *Geophys. J. Int.*, doi:10.1111/j.1365-246X.2007.03524.x.
- Kaslilar, A., Riyanti, C.D., Campman, X. ve Herman, G.C.** (2005). Forward and inverse scattering of surface waves. 67th EAGE Conference, Madrid, Spain, Extended Abstracts, A-034.
- Kaslilar, A. ve Herman, G.C.** (2006). Imaging of scattered surface waves- Application to Ultrasonic Data. 68th EAGE Conference & Exhibition, Vienna, Austria, Extended Abstracts, H-009.
- Kennett, B.L.N.** (1983). *Seismic Wave Propagation in Stratified Media*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Kleinmann, R.E. ve van den Berg, P.M.** (1991). Iterative methods for solving integral equations, *Radio Sci.*, 26, 175-181.
- Kovach R.L.** (1978). Seismic Surface Waves and Crustal and Upper ;Mantle Structure, *Rev. Geophys. Space Phys.*, 16, 1-13.
- Leparoux, D., Grandjean G., ve Bitri, A.** (2000). Underground cavity detection: a new method based on seismic Rayleigh waves. *European Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 5, 33-53.
- Luke B.A. ve Braddy J.E.** (1998). Application of Seismic Surface Waves at a Pre-Columbian Settlement in Honduras Archaeol. Prospect. 5, 139±157.
- Moschetti M.P., Ritzwoller, M. ve Shapiro, N.** (2007). Surface Wave Tomography of the Western United States from Ambient Seismic Noise: Rayleigh Wave Group Velocity Maps, *Geochem., Geophys., Geosys*, 8, Q08010.
- Nazarian, S., Stokoe, K.H. ve Hudson, W.R.** (1983). Use of Spectral Analysis of Surface Waves Method for Determination of Moduli and Thicknesses of Pavement Systems, *Tanns. Res. Rec.*, 930, 38-45.
- O'Neill, A.** (2003). *Full Waveform Reflectivity for Modeling, Inversion and Appraisal of Seismic Surfacewave Dispersion in Shallowsite Investigations*, Ph. D. Thesis, The University of Western Australia, Australia.

- Park, C.B., Miller, R.D. ve Xia, J.** (1999). Multichannel Analysis of Surface Waves, *Geophysics*, 64, 800-808.
- Riyanti, C.D., ve Herman, G.C.** (2005). *Three-Dimensional Elastic Scattering by Near-Surface Heterogeneities*, *Geophys. J. Int.*, 160, 609-620.
- Rix, G.J., Hebel, G.L. ve Orozco, M.C.** (1998). *Near-surface Vs Profiling in the New Madrid Seismic Zone Using Surface Wave Methods*, *Seis. Res. Lett.*, 73 (3), 380-392.
- Snieder, R.K.** (1987). Surface wave holography. In: *Seismic tomography* (ed. G.Nolet) D.Reidel Pub. Co., 323-337.
- Snieder, R.K.** (2002a). *General Theory of Elastic Scattering*, in *Scattering and Inverse Scattering in Pure and Applied Sciences*, pp. 528-542, eds Pike, E. R. & Sabatier, P. C., Academic Press, London.
- Snieder, R.K.** (2002b). *Scatter of Surface Waves*, in *Scattering and Inverse Scattering in Pure and Applied Sciences*, pp. 562-577, eds Pike, E. R. & Sabatier, P. C., Academic Press, London.
- Tarantola, A.** (1984). *Linearized Inversion of Seismic Reflection Data*, *Geophys. Prospect.*, 32, 998-1015.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Serdar Demirel

Doğum Yeri ve Tarihi: Bakırköy, 20/05/1986

Adres: Cevizlik Mahallesi Morsümbül Sokak No:22/1
Bakırköy / İST.

E-Posta: srdrdemirel@yahoo.com, srdrdemirel@gmail.com

Lisans: Jeofizik ve Matematik Mühendisliği

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

▪ **Demirel, S., Kashi, A.** Examining the effect of depth, size and density contrast of the scatterer in inverse scattering of surface waves. *74th European Association of Geoscientists and Engineers Conference and Exhibition in Cooperating SPE Europec 2012*, 4-7 June 2012 Kopenhagen, Denmark (submitted extended abstract).