

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GENETİK ALGORİTMA YARDIMIYLA**  
**SİSMİK TERS ÇÖZÜM**

**Taner ÇAYIR**

**Aralık, 2006**

**İZMİR**

# **GENETİK ALGORİTMA YARDIMIYLA SİSMİK TERS ÇÖZÜM**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Anabilim Dalı  
Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği Programı**

**Taner ÇAYIR**

**Aralık, 2006  
İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

**TANER ÇAYIR**, tarafından **Doç.Dr. ERDENİZ ÖZEL** yönetiminde hazırlanan **“GENETİK ALGORİTMA YARDIMIYLA SİSMİK TERS ÇÖZÜM”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Erdeniz ÖZEL

Yönetici

Prof. Dr. Atilla ULUĞ

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Mustafa AKGÜN

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Bilimsel bir çalıŐmayı hazırlayıp ortaya koymak kolay bir iş değildir. Birçok zorlu yoldan geçerek ve emek verilerek hazırlanmaktadır. Bu hazırladığım yüksek lisans tezi de birçok fedakrlık, sabır, disiplin, araştırma ve çalışma sonucunda ortaya çıkmıŐtır. Umarım bu tez ile jeofizik bilimine bir parça dahi olsa katkıda bulunabilmiŐimdir.

Bu araştırma sırasında bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen danıŐman hocam sayın Doç.Dr. Erdeniz ÖZEL'e teşekkür ederim.

Tezimin hazırlanması sırasında değerli zamanını ayırarak bilimsel konularda fikir veren ve yol gösteren hocam sayın Doç. Dr. Mustafa AKGÜN'e teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi her konuda desteklerini bir an olsun bile esirgemeyen, bugünlere gelmemi sağlayan ve haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim AİLEME teŐekkürü bir borç bilirim.

**Taner ÇAYIR**

# GENETİK ALGORİTMA YARDIMIYLA SİSMİK TERS ÇÖZÜM

## ÖZ

Bu çalışmanın amacı genetik algoritma yönteminin sismik veriler üzerine uygulanıp uygulanamayacağı ve ne kadar başarı göstereceğinin araştırılmasıdır. Çalışmada sismik travel time verileri basit genetik algoritma yöntemi ve en küçük kareler yöntemi üzerine uygulanmış ve sonuçlar irdelenmiştir.

Kare şeklinden oluşan iki adet blok mekanizma üzerinde yapılan ve kayıt sürelerini temel alan çalışmada blokların sismik hızları her iki yöntem yardımıyla bulunmuştur. Ayrıca yine model yapısı ve varış süreleri sabit kalmak koşulu ile boyutlar küçültülmüş ve uygulamalar tekrarlanıp sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Araştırma sonucunda genetik algoritma ile ters çözüm işleminin başlangıç seviyelerde ve basit modeller üzerinde başarılı sonuçlar ortaya koyduğunu göstermektedir. Genetik algoritmaların daha kompleks yapılar ve modeller için nasıl sonuçlar vereceği araştırılmalı ve konunun daha ileri seviyelere taşınması gerekmektedir.

**Anahtar sözcükler:** Genetik algoritma, Ters çözüm, Sismik yöntem, Travel time.

# SEISMIC VELOCITY INVERSION WITH GENETIC ALGORITHM

## ABSTRACT

The aim of this thesis is to investigate if the genetic algorithm method can be applied or not on seismic data and how successful it will be. In this study seismic travel time data were applied on genetic algorithm and least squares methods and the results were examined.

The model is made up from two square blocks. We used travel time data for the model. We calculated seismic velocity of the two blocks related to this data and we used genetic algorithm and least squares methods when we calculated the velocity of the blocks. Besides, we decreased the dimensions keeping the model structure fit and travel time, we repeated the applications and compared the results.

At the end of the research, seismic inversion with genetic algorithm process gave us successful results on beginner levels and basic models. Seismic inversion with genetic algorithm should be researched for more complex configurations and upper level models.

**Keywords:** Genetic algorithm, Inverse problem, Seismic method, Travel time.

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi

## **BÖLÜM BİR – GİRİŞ.....1**

## **BÖLÜM İKİ – TERS ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ .....4**

2.1. Sismik Yöntem ve Uygulanışı.....	4
2.2. Jeofizikte Modelleme.....	6
2.3. Düz Çözüm Yöntemi.....	7
2.4. Ters Çözüm Yöntemi.....	10
2.5. Doğrusal ve doğrusal olmayan problemler.....	12
2.5.1. Doğrusal olmayan denklemlerin Newton – Raphson yöntemi ile çözümü.....	15
2.5.2. Doğrusal olmayan problemlerin E.K.K yöntemi ile ters çözümü.....	18
2.5.3. Sönümlü E.K.K (Marquart – Levenberg) yöntemi ile doğrusal problemlerin ters çözümü.....	23

## **BÖLÜM ÜÇ – GENETİK ALGORİTMA.....26**

3.1.Giriş.....	26
3.2. İkili Kodlama Sistemi ( Binary System ).....	30
3.3. Genetik Algoritma Operatörleri.....	32
3.3.1.Seçim.....	33
3.3.1.1. Uyum Oranı Seçimi.....	33
3.3.1.2. Şans Çarkı Seçimi.....	34
3.3.1.3. Sıra Seçimi.....	34

3.3.2.Çaprazlama.....	35
3.3.3. Mutasyon.....	38
3.4. Kullanılan program.....	39
<b>BÖLÜM DÖRT – UYGULAMALAR.....</b>	<b>41</b>
4.1. Modelleme çalışmaları.....	41
4.1.1. E.K.K kullanarak Travel time inversion.....	41
4.1.1.1.E.K.K ile uygulama.....	46
4.1.1.2 Genetik Algoritma ile uygulama.....	49
4.2. Yöntemlerin karşılaştırılması.....	54
<b>BÖLÜM BEŞ – SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....</b>	<b>57</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>59</b>

## BÖLÜM BİR

### GİRİŞ

Son yirmi yılda bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler jeofizik biliminde de köklü değişimlere neden olmuştur. Bu gelişme, binlerce hatta onbinlerce parametrelere sahip iki ve üç boyutlu modellerin kuramsal yanıtlarının çok kısa bir sürede hesaplanabilmesini mümkün hale getirmiştir. Bu işlem “düz çözüm” ve üretilen veri “kuramsal veri” olarak adlandırılır. “Ters çözüm” problemi ise ölçülen veri ile belirli bir ölçüt çerçevesinde çakışan kuramsal veriyi üretecek modelin aranmasıdır. Yetmişli yıllarda, bu arama işlemi bilgisayar başında deneme – yanılma yolu ile yorumcu tarafından gerçekleştirilmeye çalışılırken günümüzde ise çeşitli algoritmalar bu görevi üstlenmiştir.

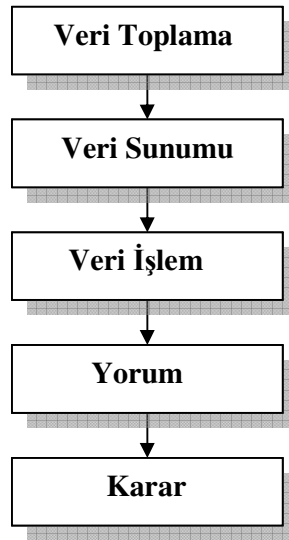
Jeofizik problemlerin çözümü sırasında kullanılan yazılımların üçüncü şahıslar (jeofizik biliminin dışında olanlar) tarafından geliştirilmesi doğaldır. Ticari amaçlı veya bilimsel amaçlı geliştirilen jeofizik yazılımların hemen hemen tamamı ters – çözüm teknikleri üzerine inşaa edilmiştir. Bilgisayar programlarının bir taraftan verilerin girildiği diğer taraftan da çözümlerin alındığı “kara kutular” olarak kullanılması sırasında bazı sorunlar ile karşılaşılabilir. Öncelikle veri toplama işlemi kullanılacak ters – çözüm tekniğine uygun bir şekilde seçilmelidir. Örneğin, ölçülen veriyi açıklayabilecek birden çok model bulunabilir ve bunların arasından jeolojik yapı ile en anlamlı şekilde uyuşan modeli seçmek yorumcunun görevidir. Başka bir sorun ise alınan verinin model parametrelerinin bir kısmını çözmek için yeteri kadar bilgiye sahip olamamasıdır. İşte bu tür sorunların üstesinden gelebilmek için ters – çözüm algoritmalarının çalışma ilkeleri hakkında bilgi sahibi olmak gerekir. Bu yüzden bilgisayarların güçlü hesaplama yetenekleri insan etkisinin önemini azaltmamış, tam tersine daha da artırmıştır.

Her bilimsel çalışmada olduğu gibi bir jeofizik araştırma esnasında da çalışmanın başlangıcından sonuna kadar takip edilen bir dizi işlemler vardır.

İlk aşama veri toplamadır. Bu veri toplama yönteminin seçilmesi, ölçü aralıklarına karar vermek, ölçü alınırken kullanılacak malzemenin seçimi gibi

konuların tasarlanmasıdır. Ölçme; zamana, uzaklığa veya her ikisine de bağlı olarak fiziksel veya kimyasal bir sürecin değişiminin sayısal olarak kayıt edilmesidir. Örnek sıcaklık, basınç ve elektrik alan gibi. Bir niceliğin değişimini saptamak amacıyla kullanılan karşılaştırma değeri değişken “variable” olarak adlandırılır. Böylece değişkenin düzgün artan veya azalan değerleri için incelenmek istenen niceliğin değişimini gösteren sayı kümesi elde edilir. İşte bu sayı kümesi de veri (data) olarak tanımlanır.

Alınan veri değişik yollar kullanılarak görsel hale getirilir. Buna da veri sunumu denir. Mesela veri tek bir değişkene bağlı ise yatay eksen değişken, dikey eksen ölçülen nicelik olmak üzere, her bir değişken değerine karşılık gelen ölçü değerleri işaretlenerek bir grafik elde edilebilir.



Şekil 1. Jeofiziksel araştırmalarda akış şeması

Ölçülen veriye bazı matematiksel veya istatistiksel işlemler uygulanması veri – işlem olarak adlandırılır. Veri işlem aşamasının uygulanmasının nedeni; veri toplama esnasında yerden gelen asıl bilginin içine girerek hataya neden olan sinyalin atılarak temizlenmesidir. Dış etkilere kaynaklanan ve istenmeyen bu bozucu etkiler gürültü

olarak tanımlanır. Parametreler doğrudan ölçülebilen büyüklükler değildirler. Ölçülebilen başka niceliklerden hesap yolu ile saptanırlar.

Örneğin, bir depremin odak derinliği direk olarak ölçülebilen bir büyüklük değildir. Çeşitli kayıt istasyonlarından gelen deprem verisinin çözümlenmesi sonucu hesaplanır. Parametrelerin hesaplanması bir ters - çözüm işlemidir.

Ters çözüm işlemini sonucu hesaplanan parametrelerin bir araya toplanması sonucu mesleki bilgi ve tecrübeler vasıtasıyla kullanılabilir bir sonucun yani bir modelin oluşturulması yorum olarak isimlendirilir.

## BÖLÜM İKİ

### TERS ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

#### 2.1. Sismik Yöntem ve Uygulanışı

Bir jeofizikçinin yer ile iletişimi iki yolla olmaktadır. Pasif iletişim (doğal kaynaklı yöntemler), aktif iletişim (yapay kaynaklı yöntemler). Pasif iletişimde; yerin kendinden kaynaklanan bir doğal fiziksel alanının jeofizik yöntemler ve ekipmanlarla ölçülmesidir. Bu yöntemde jeofizikçinin yeryuvarına herhangi bir müdahalesi ve denetimi mümkün değildir. Diğer yöntem olan yapay kaynaklı yöntemde ise yere bir etki vererek yani müdahalede bulunarak yerin bu etkiye karşı verdiği tepki ölçülmektedir.

Yer kabuğu elastik hız, yoğunluk gibi fiziksel özellikleri farklı kayalardan oluşan tabakalardan meydana gelmiştir. Bundan yararlanarak yeryüzünde veya yüzeye yakın noktalarda üretilen elastik dalgaların yeraltındaki tabakaların ara yüzeylerinde yansımaya ve kırılmaları yine yeryüzünde gözlenerek bu tabakaların derinlikleri, ara yüzeyin topoğrafyası, tabakaların sismik hızları gibi uygulamada yararlı bilgiler elde edilir.

Sismik yöntem esası patlayıcı veya diğer kaynaklar kullanılarak sismik dalgalar oluşturulması ve çeşitli noktalarda jeofon veya hidrofondar tarafından o noktalara gelen dalgaların geliş zamanının (t) bir fonksiyonu olarak kaydedilmesi oluşturur.

Sismik yöntemle elde edilen sonuçların, yani sismik kesitlerin, diğer bütün jeofizik yöntemlere oranla yüksek hassasiyetinin ve yüksek ayrımlılık gücünün olması ve sismik yöntemin penetrasyon derinliğinin fazla olması nedeniyle sismik yöntem, bütün dünyada en fazla para, zaman ve jeofizikçi gücünün harcandığı en yaygın yöntem haline gelmiştir.

Sismik yöntem bugüne kadar sürekli bir gelişme içinde olmuştur. Bilgisayar teknolojisinin hızla gelişmesi ve daha duyarlı aletlerin yapılması sismik yansıma yönteminin sürekli olarak gelişmesini sağlamaktadır.

Geleneksel sismik yöntem dendiğinde, P dalgaları ile yapılan ve Ortak Orta Nokta (CMP) kavramının kullanıldığı iki boyutlu (2D) veya üç boyutlu (3D) yansıma sismiği uygulamaları akla gelir. Geleneksel yöntemde, çok kanallı kayıt aletleriyle manyetik bantlara kayıt yapılmakta, enerji kaynağı olarak dinamit, vibroseis veya hava tabancası, algılayıcı olarak ise jeofon veya hidrofon grupları kullanılmaktadır. Kayıtlar ayrık (dijital) olarak manyetik bantlara yazılmaktadır.

Geleneksel kara sismiği uygulamasında, haritada önceden belirlenen atış ve kayıt noktaları arazide belirlenir. Bu noktalar, uygulamanın iki boyutlu olması durumunda bir hat boyunca, uygulamanın üç boyutlu olması durumunda ise harita düzleminde her iki boyutta eşit aralıklı olarak belirlenir. Atış noktalarında 10 – 12 cm çapında derinliği 6 – 30 m arası olan kuyular delinerek bunlara, 2 – 30 kg arasında değişen, arazinin özelliğine göre daha önceden saptanmış miktarda dinamit yerleştirilir. Kuyudaki dinamite kapsül yerleştirilerek kapsül ikili kablo yardımıyla patlayıcıya (blaster) bağlanır. Alıcı noktalara yerleştirilen jeofon gruplarının çıkışları “ana kablo” ile kayıt aletine getirilir. Tek bir alıcı noktasına yerleştirilen birbirine yakın ve belli bir düzen içindeki jeofonların çıkışlarının tek bir çıkış haline getirilmesi, düzenli ve düzensiz birtakım gürültülerin bastırılmasını sağlar. Kayıt aletinde, herhangi bir atış için kullanılacak olan atış noktası ve alıcı noktaları belirlendikten sonra kayıt aleti tarafından patlama sinyali verilir ve alıcı gruplarından gelen elektrik sinyalleri manyetik banda ayrık değerler olarak belirlenmiş zaman aralığı boyunca kaydedilir. Bütün atış noktaları için kayıt tamamlanınca sismik veri, veri – işlem ve yorumlama aşamalarından geçirilir.

## 2.2. Jeofizikte Modelleme

Jeofiziğin temel ihtiyaçlarından biri, çoğu zaman gözlemsel verilerden yararlanarak ortamı veya kaynağı modellemektir. Verilen bir modelin jeofizik tepkisini ya da beklenen belirtisini hesaplama, kimi zaman karmaşık birtakım hesaplamaları gerektirse de çok da zor değildir. Bunun için yapılması gerekenler;

- a) Matematiksel modeli oluşturmak,
- b) Model parametrelerini belirlemek,
- c) Sayısal hesaplamaları yapmak.

Sunulan bir matematik model ve parametre kümesi için tek bir düz çözüm vardır. Ancak, bunun tersi her zaman doğru değildir. Yani, aynı jeofizik belirtiyi verebilen birden çok (hatta sonsuz adet) model bulunabilir.

Bilindiği gibi jeofiziğin her yöntemi, yer içinin birtakım özelliklerine duyarlıdır. Örneğin sismik yöntemi ele alacak olursak, sismik prospeksiyonun temeli elastik dalgaların yer içindeki yayılma özelliklerine dayanır. Bu özellikler, elastik dalgaların yer içindeki ilerleme hızlarına ve buna paralel olarak elastik parametreler ve yoğunluğun yer içindeki dağılımına bağlıdır. Bunların yanında, yer içinin katmanlı yapısı ve tam elastiki özellik gösterip gösterememesi, dalga yayılımını etkileyen değiştirgenlerdir. Bu sebeple sismik prospeksiyonda kestirilebilecek değişkenler bunlar ya da bunlardan türetilen parametrelerdir.

Jeofizikte parametreleştirme, yeraltının fiziksel birimlere bölünerek, gerçek jeolojik durumun basitleştirilmesi ile gerçekleşir. Bu fiziksel birimlerin bir araya gelmesi ile de model oluşur. Yeraltının belirli sayıda fiziksel birimlere bölünmesinin nedeni, hesap işlerini yapabilmek için sonlu sayıda parametre ile çalışma zorunluluğudur. Bu yalınlaştırma işlemi, aynı zamanda hesaplama için gereken zamandan da tasarruf etmeyi sağlar. Ancak, parametreleştirme verinin içerdiği bilgi ile yakından ilişkilidir. Aşırı sadeleştirme, verinin içinde bulunan bilgiden

yararlanmamak, anlamına gelir ve eksik parametreleştirme (under parameterization) olarak adlandırılır.

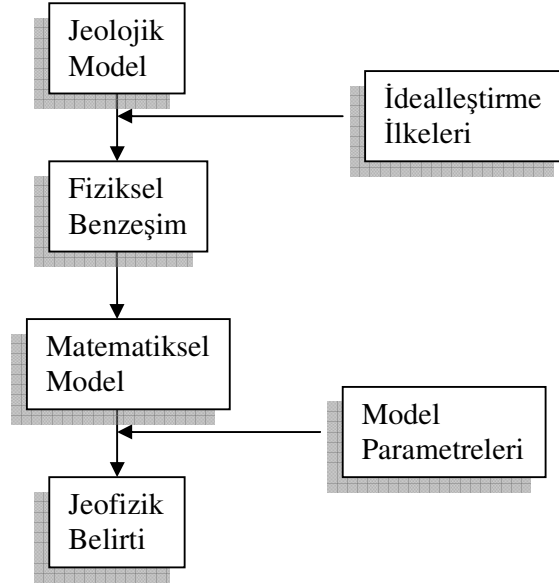
Aşırı parametreleştirme (over parameterization) ise veriden çözümü mümkün olmayan parametrelerin model içerisine dahil edilmesidir.

Aşırı parametreleştirme, problemi çözmek için kurulan dizelerin boyutlarını büyüterek, sayısal hesaplama zamanını artırır. Daha da önemlisi veride var olmayan bir bilginin çözümü olası olmadığından ters – çözüm işlemi duraylı hale gelmez ve parametreler arasında fiziksel olarak mümkün olmayan keskin değişimler gözlenebilir. Sonuç olarak çözümü olmayan parametreler için rasgele sayılar üretilecek. Böyle bir çözüme dayanarak jeofizik yorum yapmak oldukça hatalı sonuçlar doğuracaktır.

Bir jeofiziksel model, geometrisi ve fiziksel özelliği farklı birçok ögenin bir araya gelmesinden oluşur. Jeofizik biliminde çözülmesi gereken parametreler, bu öğeleri tanımlamak için gereken geometrik ve fiziksel değerlerdir. Geometrik parametreler, yeraltının biçimlendirilmesi yani geometrik olarak şekillenmesi ile ilişkilidir. Birbirinden farklı her jeolojik birimin yeraltındaki konum ve biçimini tanımlayan kalınlık, genişlik gibi uzaysal değişkenler geometrik parametreleri oluşturur. Fiziksel parametreler ise kullanılan jeofizik yöntemde ölçülen ve herhangi bir sapmaya neden olan fiziksel değişimlerdir. Örneğin, gravite yöntemi için yoğunluk, elektrik yöntem için tabakanın özdirenci ve sismik yöntem için tabakanın sismik dalga yayılım hızı fiziksel parametrelere örnektir.

### **2.3. Düz Çözüm Yöntemi**

Düz çözümü en basit şekli ile tanımlamak istersek; jeolojik bir taslaktan yola çıkarak jeofizik belirtiye ulaşma olarak tanımlayabiliriz. Bu nedenle problemin çözümünün ilk aşaması şekil 2. de görüldüğü gibi jeolojik yapının modellenmesidir.



Şekil 2. Jeofizikte düz çözüm problemi

Jeofiziğin başlangıç yıllarında bilgisayar kullanımının olabildiğince az olması nedeniyle karmaşık jeolojik yapıları modelleme ve bunların jeofizik belirtilerini hesaplama olanağı bulunamıyor, sadece küre, silindir, yarı – sonsuz bir düzlem gibi basit geometrik şekillerle yetiniliyordu. Ancak çağımızın teknolojik olanakları kullanılarak bugün karmaşık yapıları bile kolaylıkla modelleyerek bunların jeofizik belirtilerini hesaplamak olanaklı hale gelmiştir.

Jeolojik modellerin modellenmesi iki ya da üç boyutlu olarak yapılabilir. Yapılan işlem seçilen bir koordinat sistemine göre yapının geometrik sınırlarına ilişkin koordinatları saptamaktır. Çoğu zaman hesaplama zamanından kazanmak için geometri olabildiğince az nokta ile tanımlanmaya çalışılır. Diğer bir deyişle model idealleştirilmeye çalışılır. Bu durumda çoğu zaman cisim belirleyen sınırların noktalar arasında doğrusal olduğu varsayımı yapılmaktadır.

Başlangıç için yeterli varsayılabilecek bir model oluşturulduktan sonra jeolojik yapının ayrıntılandırılması zor da değildir. Cismin geometrisi basitleştikçe, bunu tanımlayacak değiştirgen sayısı da o derecede azalır.

Jeolojik modelin belirlenmesinden sonraki adım fiziksel modelin belirlenmesidir. Bu işlemde ikinci bir modelleme aşaması ya da bir benzeşim aşamasıdır. Amaç uygulanacak jeofizik yöntemine göre, modellenen jeolojik modele denk gelen bir fiziksel modelin oluşturulmasıdır. Çözümün sadeliği ya da karmaşıklığı fiziksel modelin durumuna bağlıdır. Bu sebeple çoğu zaman problemin çözümünü kolaylaştırmak için fiziksel modellemeye geçmeden bir takım varsayımlar yapılır. Bu yapılan varsayımlar kimi zaman jeolojik yapının aşırı derecede basitleşmesine yol açabilir. Bu varsayımlar;

- Ortam yatay katmanlardan oluşmuştur,
- Katmanlar kendi içlerinde tekdüzedirler (homojendirler),
- Ortam yön bağımsızdır.

Fiziksel modelin biçimi ve modelleme tekniği, çözülecek probleme ve uygulanacak jeofizik yöntemine bağlı olarak değişir. Fiziksel modellemeyi kurmaktan amaç, jeofizik problemi çözümü bilinen bir fizik problemine dönüştürmektir. Problem böylece bir jeoloji problemi olmaktan çıkıp bir matematiksel – fiziksel probleme dönüşmüş olmaktadır.

Fiziksel modelin ortaya koyduğu ve çözülmesi gereken bağıntı kuşkusuz problemin özelliğine göre değişir. Bu basit bir analitik bağıntı olabileceği gibi bir diferansiyel denklem de olabilir. Bu bağıntı kurduğumuz jeolojik modelden beklediğimiz jeofizik belirtinin ifadesidir. Değiştirgenlerin (parametrelerin) belirli değerleri için hesaplanan büyüklükler kuramsal jeofizik belirtiyi verecektir. Bu aşamada düz çözüm işlemi tamamlanmış demektir.

Verilen bir jeolojik model için çözüm bulunduktan sonra, jeolojik modelin çeşitli değiştirgenleri için aynı matematik model kullanılarak kuramsal jeofizik belirtinin değerleri yani diğer bir deyişle model tepkisi bulunabilir. Model tepkisinin gözlemsel verilere uygun olması gerekir.

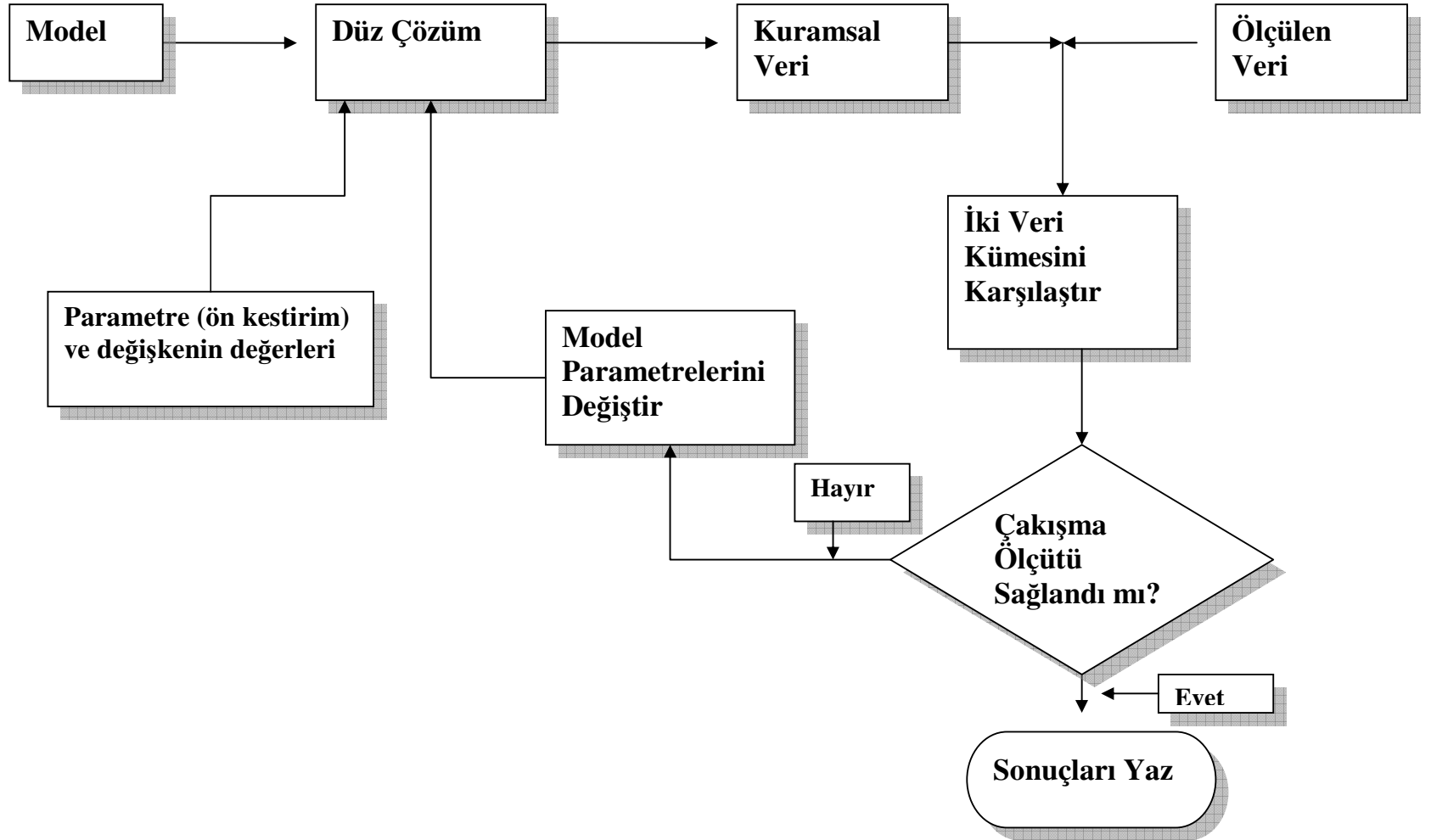
## 2.4. Ters Çözüm Yöntemi

Buraya kadar verilen konularda verilen bir kaynak, ya da bir jeolojik yapı modelinden yola çıkarak jeofizik belirtiyi ulaşmanın yollarından ve bu aşamaya gelebilmek için izlenmesi gereken adımlardan bahsedildi. Gerçekte bir jeofizikçinin yapması gereken asıl iş, ölçülen bir jeofizik belirtiyi yorumlayarak bu belirtiyi neden olabilecek yeraltı yapısını ortaya koymaktır. Kısaca, veriden yola çıkarak jeolojik yapıyı ya da kaynağı modellemek temel sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Bu tür problem çözümüne “Ters Çözüm” ya da “inverse problem” adı verilir.

Ters çözüm probleminin uygulanışı esnasında aslında düz çözüm işlemini uygulamak kaçınılmazdır. Zira yapılan bu işlem, gözlemsel belirtiyi uyan bir kuramsal belirti hesaplamak ve bunu veren yeraltı yapısını ya da kaynağı bulmaktan ibarettir. Kuramsal belirtinin hesaplanması ise bilindiği üzere düz çözümdür.

Ters çözüm için uygulanabilecek bir yol deneme – yanılma yöntemidir. Bu yöntemde gözlemsel belirtinin durumuna bakıp, eğer olanaklı ise başka bulgular ve deneyimlere dayanarak bir başlangıç modeli seçip, kuramsal model tepkisi hesaplanır. Bu model tepkisi gözlemsel değerlerle karşılaştırılarak ikisi arasındaki uyum incelenir. Eğer uyum iyi değilse model değiştirilerek işlemler yinelenir. Ve bu süreç iyi bir uyum sağlanana kadar devam ettirilir. Kuramsal değerlerle gözlemsel değerlerin uyum içinde olduğu model en olası mümkün jeolojik modeli verecektir. Ters problem çözümünün işleyiş şeması Şekil 3. de verilmiştir.

Deneme – yanılma yolu ile ters çözüm probleminin çözümü uygulamacının gereğinden fazla zaman kaybetmesine ve daha fazla bilgisayar kullanmasına neden olur. Bu nedenle bir başlangıç modelinden başlayarak gözlemsel değerlerle kuramsal değerler arasındaki yanılıgyı en aza indirecek biçimde model değiştirgenlerini değiştiren algoritmalar kullanılır. Bu yöntemin uygulanmasında en önemli sorun, olabildiğince çabuk ve çözüme doğru bir şekilde yaklaşan bir algoritmanın seçilmesidir. Doğrusal ve doğrusal olmayan problemlerin ters çözümünde çeşitli algoritmalar uygulanmaktadır.



Şekil 3. Ters Çözüm işleminin şematik gösterimi (Başokur, 2002).

## 2.5 Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Problemler

Jeofizik problemlerin bir bölümünde ters çözüm için belirlenen model fonksiyonlarında model tepkisi ile model değiştirgenleri arasındaki ilişki doğrusaldır. Bu tür problemlerde modele ilişkin değiştirgenler model fonksiyonunun bilinmeyenlerini oluştururlar.  $\mathbf{A}$  model değiştirgenlerinin, matematiksel modeli tanımlayan  $F$  fonksiyonunda yerine konmasıyla elde edilen  $F(\mathbf{A})$

$$\mathbf{A} \longrightarrow F(\mathbf{A})$$

model tepkisi olarak adlandırılır. Bu yaklaşım düz problem çözümüdür.  $\mathbf{x}$  uzamsal yöneyi göstermek üzere  $g(\mathbf{x}, \mathbf{A})$  gözlemsel değerlerinden  $\mathbf{A}$  parametre yöneyinin bulunması,

$$g(\mathbf{x}, \mathbf{A}) \longrightarrow \mathbf{A}$$

ise ters problem çözümüdür.  $\mathbf{A}$  parametre yöneyinin bulunması için

$$g(\mathbf{x}, \mathbf{A}) - F(\mathbf{x}, \mathbf{A}) = 0 \quad (2.1)$$

denkleminin çözülmesi gerekir. Bunun doğrusal olması durumunda çözülmesi gereken bir doğrusal denklem takımındır. Sonuç olarak, doğrusal ters problem çözümleri bir doğrusal denklem sistemini çözüp, bilinmeyenleri belirlemek demektir. Verinin tam ve eksiksiz, çözümün kesin olması durumunda

$$\forall x, g(x, A) \equiv F(x, A) \quad (2.2)$$

Yani  $x$ 'in her değeri için model tepkisi gözlemsel değerlere “özdeş” olacaktır. Kuşkusuz bu ideal veri ve ideal çözüm için söz konusudur. Pratikte ise

$$\exists x, g(x, A) = F(x, A) \quad (2.3)$$

koşulu sağlanabilmekte, yani gözlem noktalarının bazılarında model tepkisi gözlemsel verilere eşit olmakta, bazı noktalarda ise uymamaktadır. Bunun başlıca nedenlerinden biri, verinin tam ve eksiksiz olmaması, diğeri de model fonksiyonunun gerçek modeli tam temsil edememesi olabilir. Problemin doğrusal olması durumunda çözülmesi gereken doğrusal denklem sistemi dizey denklemi olarak

$$\mathbf{H}\mathbf{m} = \mathbf{g} \quad (2.4)$$

biçiminde yazılabilir. Burada  $\mathbf{g}$ , gözlemsel değerlerin oluşturduğu bir yöney;  $\mathbf{m}$ , model parametrelerini içeren bilinmeyenler yöneyi;  $\mathbf{H}$  ise Jacobian dizeydir. Jacobian dizey, model fonksiyonelinin bilinmeyenlere göre kısmi türevlerinden oluşan bir dizeydir. (2.4) dizey denkleminin formel çözümü

$$\mathbf{m} = \mathbf{H}^{-1}\mathbf{g} \quad (2.5)$$

dir. Bu çözümün elde edilebilmesi için her şeyden önce  $\mathbf{H}^{-1}$  ters dizeyinin hesaplanabilmesi gerekir.

$$\begin{pmatrix} \left(\frac{\partial h}{\partial m_1}\right)_1 & \dots & \left(\frac{\partial h}{\partial m_n}\right)_1 \\ \left(\frac{\partial h}{\partial m_1}\right)_2 & \dots & \left(\frac{\partial h}{\partial m_n}\right)_2 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\frac{\partial h}{\partial m_1}\right)_k & \dots & \left(\frac{\partial h}{\partial m_n}\right)_k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ \vdots \\ m_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \vdots \\ g_k \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

Dizey denkleminin  $\mathbf{H}$  katsayılar dizeyi olan Jacobian matrisinin her bir satırı, bir gözlem noktasına karşı gelmektedir. Bu dizeyin her bir sütununda ise,  $\mathbf{m}$  parametre yöneyinin her birine göre, yani bilinmeyenlere göre, kısmi türevler yer almaktadır. Buna göre  $\mathbf{H}$  dizeyi için çeşitli yapılar söz konusu olabilir:

1. Denklem sayısı, bilinmeyen sayısına eşittir.
2. Denklem sayısı, bilinmeyen sayısından farklıdır.
3. Denklem sayısı, bilinmeyen sayısından azdır.
4.  $\mathbf{H}$  dizeyinin elemanlarından önemli bir kesimi sıfırdır.

Bunlardan birinci durumda dizey kare – dizey durumundadır. Bu tür denklem sistemlerine “tam tanımlı” (fully determined) sistemler adı verilir.  $\mathbf{H}$  dizeyinin özdeğerlerinden herhangi biri sıfır değilse,  $\mathbf{H}$ ’ın tersi alınabilir; sistemin bir çözüm yöneyi vardır.

İkinci durumda gözlem sayısı bilinmeyen sayısından eksiktir. Bunlara “eksik tanımlı” (underdetermined) sistem adı verilir. Sistemin bazı kısıtlar altında optimum çözümü bulunabilir.

Üçüncü durumda  $\mathbf{H}$  dizeyi dikdörtgendir ve denklem sayısı bilinmeyen sayısından fazladır. Bu tür denklem sistemlerine “aşırı tanımlı” (overdetermined) sistem adı verilir.  $\mathbf{H}$ ’ın adi tersi alınamaz. Sistemin bir amaç fonksiyonunu en büyük ya da en küçük yapan bir çözümü bulunabilir.

Dördüncü durumda  $\mathbf{H}$ ’ın elemanlarından önemli bir bölümü sıfırdır. Bu tür sistemlere “seyrek sistem” (sparse system). Özel birtakım çözüm algoritmaları ile çözümleri bulunabilir.

Görüldüğü gibi, ters çözümü yapılacak problem doğrusal bir denklem sistemi durumuna getirilebiliyor ve katsayılar dizeyinin tersi alınabiliyorsa problemin çözümü yani  $\mathbf{m}$  çözüm yöneyinin belirlenmesi oldukça kolaydır. Çözüm yöneyinin elemanları model fonksiyonunun parametrelerini verecektir.

Jeofiziğin ters problemlerinin bir bölümü ise doğrusal olmayan problemler türündendir. Doğrusal olmayan problemler için tek ve belirli bir algoritma yoktur. Çeşitli yöntemler denebilirse de, genelleştirilmiş bir yöntem olarak sık kullanılan bir yöntemde problem doğrusallaştırılarak çözüm yinelemeli olarak bulunmaya çalışılır.

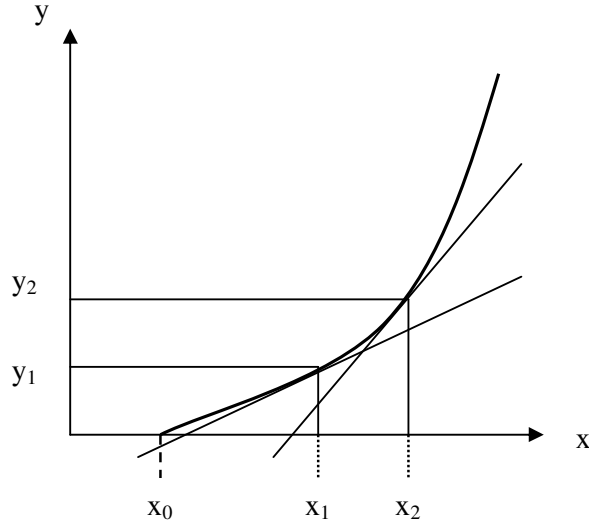
Bunun için model fonksiyoneli Taylor serisine açılarak yüksek mertebeden terimler göz ardı edilip doğrusallık sağlanır. Çözüm yinelemeli olarak yapıldığından, bir başlangıç modelinden başlanarak her yineleme adımında model iyileştirilmeye çalışılır.

Her şeyden önce çözüm algoritmasının yinelemeli olarak uygulanması nedeniyle bulunan çözüm tam değil, yaklaşık bir çözümdür. Kabul edilebilir bir çözümün bulunması durumunda belirlenen model parametreleri kullanılarak hesaplanacak model tepkisinin, gözlemsel değerlerle uyumlu olması gerekir. Hesaplamalar sayısal olarak yapıldığından, uyumun sağlanıp sağlanmadığına karar vermek için bir ölçütün kullanılması gerekir. Özellikle büyük dizeylerin yer aldığı, uzun hesaplamaları gerektiren durumlarda, yineleme sayısını artırmamak için, oldukça büyük yanılılı çözümler benimsenebilir. Problemin doğasından kaynaklanan bu durum, yaklaşık çözüm elde edilmesinin nedenlerinden biridir.

### ***2.5.1. Doğrusal Olmayan Denklemlerin Newton – Raphson Yöntemi ile Çözümü***

Doğrusal olmayan denklemlerin analitik çözümleri için belirli bir yöntem yoktur. Örneğin 2. dereceden bir denklemin, bir trigonometrik denklemin v.s. çözüm yöntemleri birbirlerinden farklıdır. Newton – Raphson yöntemi doğrusal olmayan denklemlerin yaklaşık çözümlerini sayısal olarak gerçekleştirmeye yarayan bir yöntemdir.

Bir  $f(x) = 0$  denkleminin çözümü, onun köklerinin bulunması demektir. Yöntem yinelemeli olarak uygulanır ve bir başlangıç değerinden hareket edilir. Örneğin, Şekil 4 de görüldüğü gibi, keyfi olarak seçilen bir  $x_1$  değerinin kök olması için  $f(x_1)=0$  olması gerekir. Fonksiyonun bu noktada alacağı değer kabul edilebilir bir hatadan daha büyükse,  $(x_1, y_1)$  noktasından eğriye bir teğet çizilir. Teğetin x eksenini kestiği nokta köke daha yakındır. Bu  $x_2$  noktası için fonksiyonun alacağı  $y_2$  değeri yine istenen koşulu sağlamıyorsa işleme devam edilir.



Şekil 4. Newton – Raphson yöntemi ile doğrusal olmayan bir denklemin köklerinin grafik yolla bulunuşu (Canitez, 1997).

Newton – Raphson yöntemi başlangıç değerinin seçimine çok duyarlıdır. Fonksiyonun yerel maksimum ya da minimumlarının bulunması durumunda yineleme sırasında köke yaklaşmak yerine ıraksamak da olanaklıdır.

Şekil 4 den görüldüğü gibi, her yineleme adımında  $x$  değerine  $\varepsilon$  kadar bir düzeltme uygulanmaktadır.  $E$  düzeltmesi, teğet altında kalan parçaya eşittir. Her hangi bir  $n$ 'inci yineleme adımında  $\varepsilon_n$  teğet altı değeri  $x$ 'e uygulanacak  $\Delta x$  düzeltmesine eşit olup, fonksiyonun bu noktadaki değerinin, türevin noktada alacağı değere oranına eşittir.

$$\varepsilon_n = \Delta x_n = \frac{f(x_{n-1})}{f'(x_{n-1})} \quad (2.7)$$

yazılabilir.  $X$  değerinin  $\Delta x$  kadar yer değiştirilmesiyle, yani parametrenin pertübe edilmesiyle fonksiyonda da  $\Delta f(x)$  kadarlık bir değişim meydana gelecektir. Buna göre;

$$\frac{\partial f}{\partial x} \Delta x = \Delta f(x) \quad \text{yazılabilir.} \quad (2.8)$$

Newton – Raphson yöntemini doğrusal olmayan ters çözüm problemlerine uygulayabiliriz. Problemin yukarıda verilen örnekte olduğu gibi bir boyutlu olması zorunlu değildir. N tane bilinmeyen parametrenin bulunması durumunda  $\Delta p_i$  i'inci parametreye ait düzeltme olmak üzere;

$$\Delta f_i = \sum_{j=1}^n \frac{\partial f_i}{\partial p_j} \Delta p_j, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad \text{yazılabilir.} \quad (2.9)$$

Denklem sistemini dizey denklemleri olarak yazarsak,

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial p_1} & \frac{\partial f_1}{\partial p_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial p_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial p_1} & \frac{\partial f_2}{\partial p_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial p_n} \\ \frac{\partial f_3}{\partial p_1} & \frac{\partial f_3}{\partial p_2} & \dots & \frac{\partial f_3}{\partial p_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_m}{\partial p_1} & \frac{\partial f_m}{\partial p_2} & \dots & \frac{\partial f_m}{\partial p_n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta p_1 \\ \Delta p_2 \\ \vdots \\ \Delta p_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta f_1 \\ \Delta f_2 \\ \vdots \\ \Delta f_m \end{pmatrix} \quad (2.10)$$

Ve buradan da  $\mathbf{A} \cdot \Delta \mathbf{p} = \Delta \mathbf{f}$  yazabiliriz. (2.11)

$\Delta p$  parametre yöneyi değil, parametre düzeltme yöneyidir.  $\Delta f$  yöneyi de gözlemsel değerlerle model tepkisi arasındaki fark yöneyidir. Görüldüğü gibi (2.11) denklem sisteminin çözülmesi için bir başlangıç modeli ve bunu belirleyen bir parametre yöneyine gerek vardır. Her bir yineleme adımında parametre yöneyine  $\Delta p_i$  düzeltmeleri uygulanır. Problem yakınsadığı takdirde belirli bir yineleme adımından sonra kabul edilebilir bir yanılığın içerisinde model parametreleri belirlenmiş olur.

### 2.5.2. Doğrusal Olmayan Problemlerin En Küçük Kareler (EKK) Yöntemi ile Ters Çözümü

Doğrusal olmayan problemlerin çözümü için problem doğrusallaştırılarak yinelemeli olarak çözülebilir. Aslında yöntem Newton – Raphson yönteminin çok bilinmeyenli problemler için genelleştirilmesine eşdeğer olarak düşünülebilir.

Bir  $f(x)$  fonksiyonu ve türevleri biliniyorken fonksiyonun  $x+h$  daki değeri  $f(x+h)$ , Taylor serisine açılarak bulunabilir.

$$f(x+h) = f(x) + h \dot{f}(x) + \frac{h^2}{2!} \ddot{f}(x) + \dots + \frac{h^n}{n!} f^{(n)}(x) \quad (2.12)$$

Burada  $\dot{f}(x), \ddot{f}(x), \dots$  birinci ve ikinci türevleri göstermektedir. (2.12) bağıntısının jeofiziğin ters problemlerine uygulandığını düşünelim.  $F(x)$  model fonksiyonunu simgelediğinde, yukarıda olduğu gibi problem bir boyutlu düşünüldüğünde, tek bir bilinmeyen parametre söz konusu ise bunun olası tüm değerlerinden biri olan  $p_i$  parametre değeri için  $f(x)$  yerine  $f(p_i)$  yazmamız gerekir. Model fonksiyonunun  $f(p_i)$  değeri parametrenin seçilen  $p_i$  değeri için model tepkisini gösterir.

$P_i$  parametresinin olası değerlerden biri olduğunu söylemiştik. Bu değerın yanılığın olduğunu ve bu yanılığın  $\Delta p_i$  olduğunu düşünelim. Buna göre doğru parametre değeri  $(p_i + \Delta p_i)$  olacaktır. Buna göre, Taylor açılımını bu tanımlara göre yazarsak,

$$f(p_i + \Delta p_i) = f(p_i) + \dot{f}(p_i) \Delta p_i + \frac{\Delta p_i^2}{2!} \ddot{f}(p_i) + \dots \quad (2.13)$$

biçimini alacaktır. (2.12) bağıntısındaki  $x$  bağımsız değişkeni yerine (2.13) denkleminde  $\Delta p_i$  bağımsız değişkeni yer almaktadır.  $\Delta p_i$  parametreye (bilinmeyen) uygulanması gereken düzeltmeyi göstermektedir.

(2.12) ve (2.13) bağıntılarında yer alan terimleri yeniden gözden geçirelim.  $f(p_i)$  başlangıç değeri olarak seçilen model parametresi için modelin tepkisini yani kuramsal olarak hesaplanan değeri simgelemektedir.  $\Delta p_i$  ise model parametresine uygulanması gereken düzeltmeyi göstermektedir. Kesin çözüme ulaşıldığında düzeltme  $\Delta p_i = 0$  olmalıdır. Bu durumda gözlemsel değerlerin yalnızca model tarafından üretildiği yani gürültü içermediği varsayılırsa,  $(p_i + \Delta p_i)$  düzeltilmiş, yanlgı içermeyen gerçek parametreyi gösterecektir. Buna göre  $f(p_i + \Delta p_i)$  nin gözlemsel değerleri simgelemesi gerekir.

(2.12) ve (2.13) denklemleri doğrusal olmayan denklemlerdir. Ancak, bir yaklaşırma yaparak Taylor açılımını belirleyen (2.12) ve (2.13) denklemlerindeki ikinci ve daha yüksek mertebeden türevlerin sıfır olduğunu varsayarsak gözlemsel değerlerle model tepkisi arasındaki ilişkinin doğrusal olduğunu yani,

$$\text{Gözlemsel değer} = \text{Başlangıç değeri} + a * \text{Birinci türev}$$

olduğunu varsaymış olmaktadır. Bunu açık biçimde yazarsak yüksek mertebeden türevlerin göz ardı edilmesiyle gözlemsel ve kuramsal değerler arasındaki ilişki,

$$f(p_i + \Delta p_i) = f(p_i) + \Delta p_i \dot{f}(p_i) + \varepsilon_i \quad (2.14)$$

olarak yazılabilir. Burada  $\varepsilon$  ihmal edilen terimleri göstermektedir.

Jeofiziğin ters problemleri genel olarak çok bilinmeyenli oldukları gibi, gözlemsel değerlerde çoğu zaman bilinmeyen sayısından daha fazladır (aşırı tanımlı sistemler). Buna göre, gözlem noktalarına ilişkin sayacı “j” simgesiyle, bilinmeyen parametreler sayacını “i” simgesiyle, gözlemsel değerleri “g”, hesaplanan değerleri “C” ile gösterirsek, bilinmeyen sayısının n, gözlem sayısının m olduğu bir problem için;

$$\text{Hesaplanan değerler: } c_j = f_j(p_i); \quad j=1,2,\dots,m$$

$$\text{Gözlemsel değerler: } g_j = f_j(p_i + \Delta p_i); \quad j=1,2,\dots,m$$

yazılabilir. Bu tanımlara göre, gözlemsel ve hesaplanan değerler arasındaki fark,

$$g_j - c_j = \frac{\partial c_j}{\partial p_i} \Delta p_i; \quad j=1,2,\dots,m \quad \text{olacaktır.} \quad (2.15)$$

(2.15) bağıntısını n bilinmeyen parametre için yazarsak,

$$g_j - c_j = \sum_{i=1}^n \frac{\partial c_j}{\partial p_i} \Delta p_i, \quad j=1,2,\dots,m \quad (2.16)$$

bağıntısına ulaşırız.  $g_j - c_j = \Delta g_j$  yazarak (2.16) denklemini

$$\Delta g_j = \sum_{i=1}^n \frac{\partial c_j}{\partial p_i} \Delta p_i \quad j=1,2,\dots,m \quad (2.17)$$

(2.17) bağıntısı bir doğrusal denklem sistemini göstermektedir. Bu sistemde bilinmeyen sayısı n, gözlem sayısı ise m dir. Denklemin her bir satırı bir gözlem noktasını (j sayacı), her sütunu ise bir bilinmeyen parametreyi gösterecek şekilde bir dizey denklemi olarak yazmak istersek;

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial c_1}{\partial p_1} & \frac{\partial c_1}{\partial p_2} & \dots & \frac{\partial c_1}{\partial p_n} \\ \frac{\partial c_2}{\partial p_1} & \frac{\partial c_2}{\partial p_2} & \dots & \frac{\partial c_2}{\partial p_n} \\ \frac{\partial c_3}{\partial p_1} & \frac{\partial c_3}{\partial p_2} & \dots & \frac{\partial c_3}{\partial p_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial c_m}{\partial p_1} & \frac{\partial c_m}{\partial p_2} & \dots & \frac{\partial c_m}{\partial p_n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta p_1 \\ \Delta p_2 \\ \vdots \\ \Delta p_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta g_1 \\ \Delta g_2 \\ \vdots \\ \Delta g_m \end{pmatrix} \quad (2.18)$$

biçiminde yazılabilir. Dizeyin elemanları model fonksiyonunun bilinmeyen parametrelere göre kısmi türevlerinden oluşmaktadır. Bu tür dizelere “Jacobian” dizey adı verilir. Dizeyin her bir sütunundaki değerler, model fonksiyonunun her bir parametreye göre kısmi türevlerinin gözlem noktaları için alacakları değerleri göstermektedir.

Önceki bağıntılarla biçimsel benzeşim sağlamak amacıyla,  $(m \times n)$  boyutlu Jacobian dizeyini  $\mathbf{A}$  ile gösterirsek, (2.18) denklem takımı simgesel olarak

$$\mathbf{A} \cdot \Delta \mathbf{p} = \Delta \mathbf{g} \quad \text{bağıntısıyla gösterilebilir.} \quad (2.19)$$

Bu sonuçlara göre doğrusal olmayan problemlerin doğrusallaştırılarak çözümü için keyfi bir başlangıç modeli seçilerek, bu modele ilişkin başlangıç parametreleri kullanılarak bir düzeltme yöneyinin bulunması gerekmektedir. Gerçek çözüme ulaşabilmek için  $\Delta p$  düzeltmesinin “sıfır” olması gerekir. Bu sonuca ulaşmak tek bir yineleme ile hemen hemen olanaksızdır. Bu durumda düzeltme yeterince küçülene kadar yinelemenin sürdürülmesi gerekir.

(2.19) bağıntısı ile gösterilen doğrusallaştırılmış denklem takımında bilinmeyenlere göre kısmi türevlerden oluşan  $\mathbf{A}$  dizeyi  $(m \times n)$  boyutundadır;

$$\mathbf{A}_{m \times n} \cdot \Delta \mathbf{p}_{n \times 1} = \Delta \mathbf{g}_{m \times 1} \quad (2.20)$$

Buna göre denklemin formel çözümü;

$$\Delta \mathbf{p} = \mathbf{A}^{-1} \cdot \Delta \mathbf{g} \quad \text{olması gerekir.} \quad (2.21)$$

Yukarıdaki açıklamalardan görüleceği gibi (2.21) denkleminin ilk kez uygulanması ile elde edilecek  $\Delta p$  çözüm yöneyi başlangıç modeline uygulanacak düzeltmedir. Bu düzeltme sonucunda başlangıç model parametresini  $p^0$  ile gösterirsek  $p = p^0 + \Delta p$  nin gerçek model parametre yöneyine eşit olması, bu yöney ile bulunacak model tepkisinin gözlemsel değerlere eşit olması gerekir. Yani;

$$\forall x; f(x, p^0 + \Delta p) = g(x) \quad (2.22)$$

olması gerekir. (2.22) kesin çözümü belirler. Ancak, Newton – Raphson yönteminde olduğu gibi ancak yaklaşık bir çözümün elde edilmesi nedeniyle (2.22) bağıntısı gerçekleştirilemez. Oldukça iyimser bir değerlendirmeyle;

$$\exists x; f(x, p_0 + \Delta p) = g(x) \quad \text{sonucu bulunabilir.} \quad (2.23)$$

(2.23) bağıntısı  $x$  'in yalnızca bazı değerleri için model tepkisi ile gözlemsel değerler arasında bir uyumun var olduğunu öngörmektedir. Yinelemeli çözümün her zaman (2.23) bağıntısını sağlaması beklenemez. Yani model tepkisi ile veri noktalarının en azından bir bölümünün uyuşması her zaman gerçekleştirilemez. Bunun sağlanıp sağlanamaması ancak verinin kalitesine, seçilen model fonksiyoneline, başlangıç modeline ve uygulanan çözüm yöntemine bağlıdır.

(2.23) denkleminin çözülebilmesi için kuşkusuz  $\mathbf{A}$  dizeyinin  $\mathbf{A}^{-1}$  tersinin alınabilmesi gerekir. Problem bu aşamada bir doğrusal denklem sistemine dönüştürüldüğüne göre, doğrusal denklemler için var olan;

- $\mathbf{A}$  dizeyinin adi tersinin hesaplanabilmesi kare dizey olması
- $\mathbf{A}$  dizeyinin tekil (singular) değerler içermemesi

koşullarının doğrusal olmayan problemlerde de gerçekleşmiş olması gerekir.

Doğrusal olmayan problemlerin doğrusallaştırılması ile oluşturulan dizey denklemi her bir başlangıç değeri ve bir yineleme adımı için bir düzeltme yöneyi verir. Bu çözümün doğru olup olmamasına bakılmaksızın,  $(m \times n)$  boyutlu doğrusallaştırılmış bir denklem takımının “en küçük kareler” çözümünü, daha yukarılarda doğrusal denklem takımları için yazdıklarımıza benzer biçimde;

$$\Delta \mathbf{p} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A}^{-1} \mathbf{A}^T) \Delta \mathbf{g} \quad (2.24)$$

### 2.5.3. Sönümlü En Küçük Kareler (Marquardt – Levenberg) Yöntemi ile Doğrusal Problemlerin Ters Çözümü

Daha önceleri tartışılan doğrusal denklem sistemlerinin en küçük kareler tekniği ile çözümü herhangi bir kısıt getirmeden yanılıgı karelerinin toplamını en küçük yapmaya dayalı bir teknik idi. Bu nedenle de bu yöntemime kimi zaman “Kısıtsız En Küçük Kareler Yöntemi” adı verilir. Ancak yine görüldüğü gibi en küçük kareler yöntemi bu yalın durumu ile kullanıldığında bir çözümü garantilememektedir. Özdeğerlerin sıfır ya da çok küçük olması durumunda ya hiç çözüm bulunamamakta ya da çözüm sırasında duraysızlık meydana gelmektedir. Bu sorunun üstesinden gelmekte kullanılan ve yukarıda kısaca özetlenen yöntemlerin yanında sönümlü en küçük kareler yöntemi de bu amaçla çok sık kullanılan bir yöntemdir (Marquardt, 1963,1970, Levenberg, 1944).

Sönümlü en küçük kareler yönteminin uygulanmasında kısıtsız en küçük kareler yöntemindeki;

$$E = e^T e \quad (2.25)$$

amaç fonksiyonunun en küçüklenmesi yerine,

$$S = e^T e + v (p^T p - p_0)^2 \quad (2.26)$$

amaç fonksiyonu en küçük yapılmaya çalışılır. Burada;

v: sabit bir değer (Marquardt faktörü)

p: parametre yöneyi

$p_0^2$ : önceden belirlenmiş bir eşik değeridir.

Yanılgı yöneyinin değeri

$$E = g - Ap \quad (2.27)$$

olarak yerine konursa, en küçüklenmesi gereken S amaç fonksiyonu açık biçimde,

$$S = (g - Ap)^T (g - Ap) + v(p^T p - p_0^2) \quad (2.28)$$

bağıntısı ile gösterilebilir. Bağıntıdaki ilk parantez içindeki terimin transpozu alınır

$$S = (g^T - p^T A)(g - Ap) + v(p^T p - p_0^2) \quad \text{ve çarpımlar yapılırsa;}$$

$$S = g^T g - g^T A p - p^T A^T g + p^T A^T A p + v p^T p - v p_0^2 = \min \quad (2.29)$$

bulunur. Bu bağıntının minimum yapılabilmesi için, bilinmeyen parametrelere göre kısmi türevlerinin sıfır yapılması gerekir. Buna göre;

$$\frac{\partial S}{\partial p} = 0 \quad \text{eşitliği yazılırsa,} \quad (2.30)$$

$$\frac{\partial S}{\partial p} = -2g^T A + 2p^T A^T A + 2vp^T = 0 \quad (2.31)$$

bulunur. Ve buradan da;

$$p^T (A^T A + vI) = g^T A \quad (2.32)$$

yazabiliriz. Burada I birim dizeydir. Her iki yanın transpozunu alarak

$$(A^T A + vI)p = A^T g \quad (2.34)$$

Buna göre çözüm yöneyi;

$$p = (A^T A + vI)^{-1} A^T g \quad (2.35)$$

olarak bulunmuş olur. (2.35) bağıntısına “sönümlü en küçük kareler” ya da “Marquardt – Levenberg” ter çözümünü adı verilir.

Kısıtsız en küçük kareler yönteminin temel sorununun  $(A^T A)$  normal dizeyinin tekil değerler içerebilmesi olduğunu ve be nedenle de  $A_L^{-1} = (A^T A)^{-1}$  tersinin her zaman hesaplanamadığını biliyoruz. Yine anımsanacağı gibi bunun nedeni normal dizeyin esas köşegeni üzerinde sıfır ya da sıfıra yakın değerlerin yer almasıdır. Buna karşılık (2.35) bağıntısına bakacak olursak  $A^T A$  ya  $vI$  gibi bir köşegen dizey eklenmektedir. Başka bir deyişle  $A^T A$  nın esas köşegeni üzerindeki elemanlarına  $v$  gibi sabit değerler eklenmekte, böylece onların sıfır olmaları önlenmektedir. Bu nedenle de sıfır ya da çok küçük özdeğerlerin bulunması durumunda  $(A^T A)^{-1}$  tersinin hesaplanamamasına karşın,

$$A_L^{-1} = (A^T A + vI)^{-1} A^T \quad (2.36)$$

tersi (genelleştirilmiş ters, ya da Lanczos tersi) hesaplanabilmektedir. Bu durumda Marquardt – Levenberg yöntemi bir çözümü garantilemektedir.

Yukarıda sönümlü en küçük kareler yaklaşımının doğrusal problemlere uygulanışını tartıştık. Kuşkusuz yöntem doğrusal olmayan problemlere de uygulanabilir. Aslında bu yöntemin doğrusal olmayan problemlere uygulanışı daha yaygındır. Zira bu tür problem çözümleri yinelemeli olarak yapıldığından herhangi bir yineleme adımında küçük özdeğerlere ulaşma olasılığı oldukça yüksektir. Kısıtsız en küçük kareler yönteminin doğrusal olmayan problemlere uygulanışında olduğu gibi burada da yapılması gereken işlem, denklemlerde model parametreleri yöneyi yerine parametre düzeltme yöneyini, gözlemsel değerler yöneyi yerine de fark yöneyini yazmaktan ibarettir. Buna göre doğrusal olmayan problemler için sönümlü en küçük kareler çözümü;

$$\Delta \mathbf{p} = (A^T A + vI)^{-1} A^T \Delta \mathbf{g} \quad (2.37)$$

olarak kolayca yazılabilir.

## BÖLÜM ÜÇ

### GENETİK ALGORİTMA

#### 3.1. Giriş

Genetik Algoritma (GA) doğadaki evrim yöntemlerini kullanan bir arama yöntemidir. Genetik algoritma tekniği, Michigan Üniversitesinde yer alan John Holland ve arkadaşlarının liderliğinde ki çalışmalar sonucu 1970 li yıllarda ortaya çıkmış. Mekanik öğrenme konusunda çalışan Holland, Darwin'in evrim kavramından etkilenerek canlılarda yaşanan genetik süreci bilgisayar ortamında gerçekleştirmeyi düşündü. 1985 te Holland'ın öğrencisi olarak doktorasını veren David E. Goldberg adlı inşaat mühendisi 1989 da konusunda bir klasik sayılan kitabını yayınlayana dek genetik algoritmaların pek yararı olmayan bir araştırma konusu olduğu düşünülüyordu.

Bugün bilgisayar yöntemleri biyolojik değerlendirmeden esinlenerek evrimsel hesaplama olarak adlandırılan bir şemsiye altında gruplandırılmıştır. Evrimsel hesaplamaların ana elemanları aşağıda tanımlanmaktadır. (Karr ve Freeman, 1999:5):

- 1) Değerlendirme stratejileri
- 2) Evrimsel programlama
- 3) Genetik algoritmalar

Bu üç tekniğin her biri doğal değerlendirmedeki gözlemlenen süreci taklit eder ve verilen problem için aday çözümlerin değerlendirme popülasyonlarıyla etkili arama motorları sağlar. GA lar genel olarak evrimsel hesaplama alanındaki en göze çarpan teknik olarak düşünülebilir. GA evrimsel programlamanın en yaygın ve en çok kullanılan dalıdır. Türkiye dahil dünyada pek çok araştırmacı bu konuda çalışmaktadır. Son yıllarda genetik algoritmalara ilgi büyüyerek artmaktadır ve bu konu üzerine birçok kitap basılmıştır.

GA hem problem çözmek hem de modelleme için kullanılmaktadır. Günümüzde genetik algoritmaların uygulama alanları genişlemektedir. Bunlardan bazıları: Atölye Çizelgeleme, Yapay Sinir Ağları Tasarımı, Görüntü Kontrolü, Elektronik Devre Tasarımı, Optimizasyon, Uzman Sistemler, Paketleme Problemleri, Makine ve Robot Öğrenmesi, Gezgin Satıcı Problemi, Ekonomik Model Çıkarma v.b sayılabilir (Mitchell ve Forest,1994:3).

Görüldüğü gibi Genetik Algoritmalar çeşitli alanlarda değişik araştırmalar için kullanılmaktadır. Yer bilimlerinde ise farklı jeofizik yöntemler üzerinde uygulamaları bulunmasına rağmen daha çok sismoloji alanında yoğunlaşmıştır.

Stoffa ve Sen (1991) ve Sen ve Stoffa (1992) derinliğe bağlı bir boyutlu sismik profillerin sentetik cisim dalgalarına uyumuna yaklaşımda, Gallagher, Sambridge ve Drijkoningen (1991) ve Sambridge ve Drijkoningen (1992) gerçek deniz kırılma verilerinin kabuk yapılarına uygulanmasında, Kennett ve Sambridge (1992) ve Sambridge ve Gallagher (1993) deprem hiposantr lokasyonu belirleme çalışmalarında genetik algoritma kullanımını önermişlerdir. Jin ve Madriaga (1993) sismik yansıma çalışmalarında hız alanı ters çözümü uygulamalarında; Nolte ve Frazer (1994) ise düşey sismik profil çalışmalarında; Zhou, Tajima ve Stoffa (1993) kaynağa yakın sismik yapının kestiriminde; Winchester, Creager ve McSweeney (1993) evre gecikmesi kestiriminde; Kappus ve Harding (1993) de sismik yansıma/kırılma modelleme çalışmalarında; Louis, Chen ve Pullammanappallil (1999) sismik hız ters çözümü araştırmalarında; Stoffa ve Sen (1991), Sen ve Stoffa (1992) ve Boschetti ve diğer.(1996) sismik yapıların ters çözümlerinde, genetik algoritma yöntemini kullanmışlardır.

Jeofizik verilerin değerlendirilmesinde geleneksel yani türeve dayalı ters çözüm yöntemleri (Levenberg – Marquardt, Gauss – Newton) en çok kullanılan yöntemlerdir. Buna rağmen bu yöntemlerin bazı büyük dezavantajı vardır. Bu ortaya çıkış mantıkları gereği, parametre yanılğı enerjisi (hatanın hesaplanması) hesaplamalarında yerel minimumlarla global minimumları birbirinden ayıramamasıdır. Geleneksel ters çözüm yöntemlerinin başarısı işleme giren başlangıç

parametreleri için doğru değerlerin seçilmesine ve verilerin barındırdıkları gürültü oranlarına yakından bağlıdır. Bu yüzden kullanılan başlangıç parametreleri gerçek parametre değerlerinden uzak ise yanlış sonuçlar elde edilecektir. Verilerin yüksek derecede gürültü içermeleri durumunda; başlangıç parametreleri ne kadar gerçeğe yakın olurlarsa olsunlar geleneksel ters çözüm yöntemleri gürültülerin etkisiyle global minimumlar yerine, yerel minimumlar etrafında çözümler üretecektir.

Genetik Algoritma, biyolojik evrim sürecinde en iyinin hayatta kalması prensibine dayanan bir ters çözüm yöntemidir. Genetik algoritma model popülasyonlarının uygun formlarda kodlanması ile çalışır. Bu yöntemi uygulamak için, jeofiziksel problemin dayandığı model popülasyonu başlangıçta geniş bir aralıkta seçilir ve popülasyondaki nesillerin uyumu bir sonraki nesilde geliştirilmeye çalışılır. Sonuç olarak ölçülen veri ile kuramsal veri arasındaki uyum geliştirilir. Global arama, genetik algoritmanın en belirgin özelliğidir ve global aramada başlangıç parametrelerine ihtiyaç duyulmaksızın, sınırları araştırmacı tarafından önceden belirlenmiş parametre değişim uzayının tamamı bu algoritma tarafından araştırılmaktadır.

Genetik algortmada model sunumu amacıyla çeşitli kodlama yöntemleri kullanılır. Bu kodlama yöntemleri arasında en çok kullanılan yöntem, her bir parametrenin ikili (binary) sistemde kodlanmasıdır. Bu kodlama türünün tercih edilme nedenleri; ikili sistemin kolaylığı, bilgisayar mantığına yakınlığı, genetik algoritma operatörlerine uyum sağlama kabiliyeti ve evrim sürecindeki genlere benzerliğidir. Evrim teorisinden esinlenen genetik algortmaya kromozomlarla gösterilen çözümlerin kümesi ile başlanır ve bu çözümlerin kümesine popülasyon denir.

Genetik algoritmanın bir optimizasyon yöntemi olarak kullanılmasındaki temel düşünce; olası çözümler veya modeller için kromozom kodlamasında popülasyon üretmektir ve bu kodlanmış modeller üremede, çaprazlamada ve mutasyonda kullanılmaktadır.

Genetik algoritma (GA), biyolojik doğal evrim sürecinde ‘en iyinin hayatta kalması prensibi’ne dayanan bir global optimizasyon (ters çözüm) yöntemidir. Bu algoritma genetik bilim dalından esinlendiğinden dolayı, genetiğin birçok kavramını ve terimlerini de benimsemiştir.

Başlangıçta üretilen potansiyel çözüm parametreler kümesi, yapay stokastik evrim sürecinden geçerek her nesil (ardışık yaklaşım, iterasyon) görece ‘daha iyi’ çözümler yaşamlarını sürdürme ve çoğaltma fırsatını yakalarken, görece ‘kötü’ çözümler ‘ölür’. Burada, iyi veya kötü ile arasındaki fark ölçülen verilere yakınlıktır. Yüksek yanılıgı enerjisi üreten parametreler ‘kötü’ olarak sınıflandırılırken, düşük yanılıgı enerjisi parametreler de ‘iyi’ veya ‘ortama uyumlu’ olarak algılanır. (Siyam, N. W. A., 2002)

Biyolojide bir topluluğu oluşturan bireylerin genetik algoritmadaki karşılıgı problemin çözümü olarak önerilen herhangi bir modeldir. Model parametrelerinin alabileceği sayısal değerlerin alt ve üst sınırları, algoritmaya önceden verilerek olası çözüm uzayı tanımlanır. Her parametre için farklı çözüm aralıkları tanımlanabilir. Parametreler için çözüm aralıkları ve topluluktaki birey sayısı tanımlandıktan sonra, algoritma ilk adımda topluluktaki birey sayısı kadar rasgele model üretir. Her bir modelin ürettiği kuramsal veri, düz çözüm bağıntısı ile hesaplanarak ölçülen veri ile karşılaştırılır. Karşılaştırma sonucunda modelin genetik işleçlerden nasıl etkileneceğini belirleyen çakışmazlıgı (ortam koşullarına uyumsuzluğu) hesaplanır. Başlangıç topluluğundaki bireyler kodlandıktan sonra genetik evrim sürecine sokularak, çevre koşullarına uygun bireylerin toplulukta çoğalmaları sağlanır. Çevre koşullarının parametre kestirim problemindeki karşılıgı ölçülen ve kuramsal veriler arasındaki uyumu denetleyen fonksiyonun değeridir. Probleme bağılı olarak farklı çakışmazlık fonksiyonları seçilebilir. Ölçülen veri ile iyi uyum gösteren model yanıtını veren bireyler, hayatta kalıp çoğalırken, model yanıtları ile ölçülen veri arasındaki çakışmazlıgı yüksek olan bireyler ölür.

Nesiller ilerledikçe topluluk homojen hale gelir. Belirlenen nesil sayısına ulaşıldığında, topluluktaki birey sayısı kadar model elde edilir. Yorumcu bu modeller içinden birini çözüm olarak alabilir. Gerçekte bir problem için global minimuma ulaşıp ulaşılmadığı hiçbir zaman bilinmeyeceğinden, bulunan modellerden en uygununun seçilmesi, çakışma ölçütü ışığında, mesleki bilgi ve tecrübelerle dayanılarak yapılacaktır.

### **3.2. İkili Kodlama Sistemi ( Binary System )**

Genetik algoritmada model sunumu amacıyla çeşitli kodlama yöntemleri kullanılmıştır. Bunlar Gray kodlaması ve Binary kodlama sistemidir. Bu kodlama yöntemleri arasında en kolay ve en çok kullanılanı her bir parametrenin ikili (binary) sistemde kodlanmasıdır. Bu kodlama türünü cazip kılan etkenler, ikili sistemin kolaylığı, bilgisayar mantığına yakınlığı, GA operatörlerine uyum sağlama kabiliyeti (kolayca manipüle edilebilir olması) ve biyolojik evrim sürecindeki genlere benzerliğidir.

Binary kodlaması en genel kodlamadır ve genetik algoritma hakkındaki ilk çalışmalar bu kodlama tipi kullanılarak yapılmıştır. Basit binary kodlamasında her bir bit bir gene karşılık gelir ve sıfır ( kapalı ) ya da bir ( açık ) değerini alır.

Kromozom bir veya daha çok genin bir araya gelmesiyle oluşan ve problemin çözümü için gerekli tüm bilgiyi içinde taşıyan genetik yapıdır. Kromozom üzerindeki değişkenlere gen denir ve genler kromozomların alt ünitesidir. Her kromozom  $l$  uzunluğunda bit serisinden oluşur ve birçok geni içerir. Her problem kendine özgü sayıda ve türde kromozoma sahiptir. Kromozomun seçileceği bölge amaç fonksiyonu ile açıklanır. Genetik algoritmada kromozomlar binary kodlamasıyla gösterilir. Bu gösterimdeki her bir bit çözümün özellikleri hakkında bize bilgi verir ve kromozomlar içerisindeki bilgiler değiştirilerek çözüme yaklaşılmaya çalışılır. Buna göre bir gen kendi başına anlamlı genetik bilgiyi taşıyan en küçük genetik yapıdır.

Mesela; 101 bit dizisi bir noktanın x-koordinatının ikilik düzende kodlandığı gen olabilir. Örnek vermek gerekirse; #100011101111# x1,y1,x2,y2 koordinatlarından oluşan iki noktanın konumu hakkında bize bilgi verecektir.

Binary kodlamasıyla ilgili bir örnek vermek gerekirse;

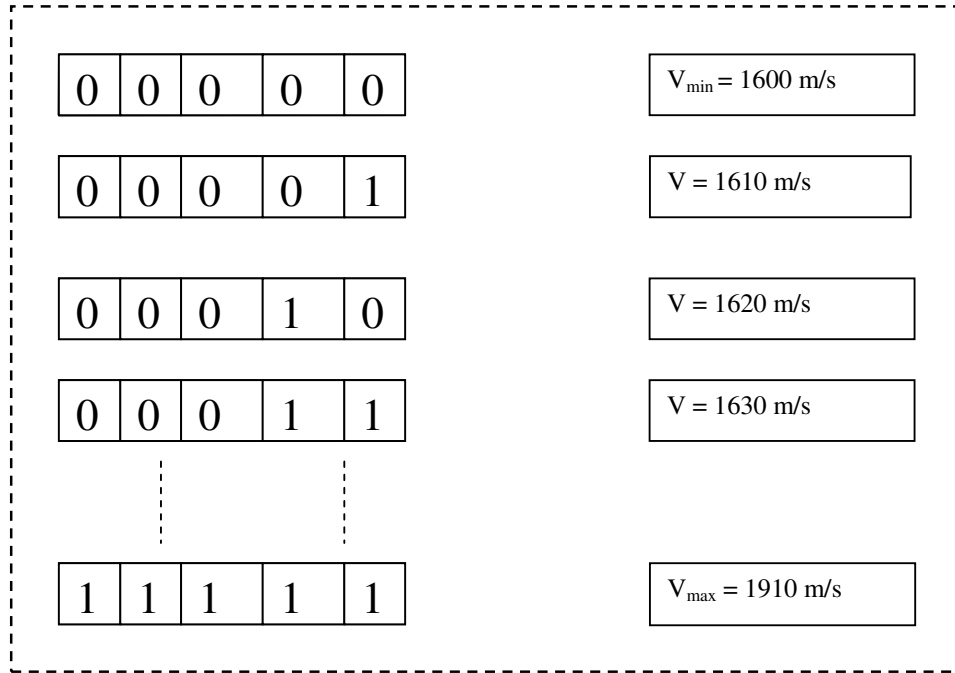
Farklı türdeki jeolojik birimler farklı fiziksel parametrelere sahip olacaklardır. Ve bu farklı fiziksel özelliklerde model parametrelerini oluşturacaktır. Örnek olarak bir sıkışma dalgası hızını ele alalım. Bu parametrenin ikili sistemde kodlanması alt ve üst limitlerinin belirlenmesi gerekir. Bu model için en düşük hız limitini 1600 m/s ve en yüksek hız limitini 1910 m/s olarak alalım. Ve istenen çözüm aralığı da 10 m/s olsun. Bu kodlama için kromozom uzunluğunu şöyle hesaplayabiliriz;

$$L = \ln [(Par_{max} - Par_{min}) / \Delta V] / \ln 2$$

$$L = \ln [(1910 - 1600) / 10] / \ln 2$$

$$L = 5$$

Buradaki 5 kromozom içindeki bit sayısıdır. Ve kromozomun kodlanmış hali aşağıdaki şekilde gibidir.



Şekil 5. Model parametrelerinin kodlanması

Bütün bitler kapalı olduğu zaman, model parametresinin minimum değeri elde edilir. Aynı şekilde, tüm bitler açık olduğu zaman da, model parametresine ait maksimum değer elde edilmiş olur.

### 3.3. Genetik Algoritma Operatörleri

Kullanılan genetik operatörler, var olan nesil (population) üzerine uygulanan işlemlerdir. Bu işlemlerin amacı, daha iyi özelliğe sahip yeni nesiller üretmek ve arama algoritmasının alanını genişletmektir. 3 tip genetik operatör vardır.

- Seçim
- Çaprazlama
- Mutasyon

### 3.3.1. Seçim

Seçim yönteminin ana prensibi bir sonraki jenerasyona geçmesi için popülasyondan en uyumlu bireylerin seçilmesidir. Bireyleri seçerken, GA, Darwin'in doğal seçim prensibini yani "en uyumlunun hayatta kalması" nı kullanır. Seçim bir bireyin uyumu ile temas halinde olduğu diğer bireyleri karşılaştırarak bir sonraki jenerasyona hangi bireyin geçeceğini tespit eder. Böylece daha güçlü olan birey bir sonraki jenerasyona katılmış olur.

Genetik algortmada da en yüksek uyum değerindeki zincirin bir sonraki nesilde bulunma şansı yüksektir. Seçilen modellerden özel bir uyum değerine yakın ya da küçük olanlar ihmal edilir. Seçimde fi uyum fonksiyonundaki zincirler  $F_i / F$  kadar döl verirler. Burada F, tüm modellerin ortalama uyum değeridir ve model popülasyonundan en iyi kromozomu seçmek için pek çok yol vardır. Bunlar uyum oranı seçimi, şans çarkı seçimi ve yarışma seçimidir.

#### 3.3.1.1. Uyum Oranı Seçimi

En genel seçim metodudur. Her bir modelin uyum fonksiyonunun, tüm modellerin uyum fonksiyonu toplamına oranına göre seçim tanımlanır:

$$P_s(m_i) = \frac{F(m_i)}{\sum_{j=1}^n F(m_j)}$$

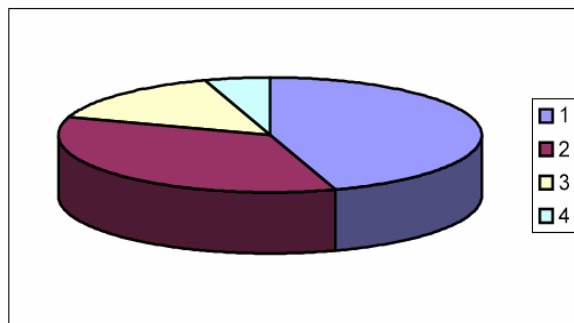
Burada,  $P_s(m_i)$ , i modelinin seçilme olasılığını,  $F(m_i)$ , i modelinin çakışmasını, n ise topluluktaki birey sayısını göstermektedir. Bu seçim işlemindeki uygulama, başlangıçta seçilen model popülasyonlarının büyük kısmının varlığını diğer işlemlerde sürdürmesine dayanır.

Her bir uygulamada birkaç kromozom yeni noktaları araştırmak için seçilir ve seçilen bu kromozomlar diğer kromozomlara göre daha iyi değerde olanlardır. Bu kromozomlar seçildikten sonra hatası büyük olan kromozomlar atılır ve onların yerine daha az hatası olan kromozomlar yerleştirilir.

### 3.3.1.2. şans arkı Seçimi

Bu yöntemde çiftler kendi uyum durumlarına göre seçilirler. Yani en iyi kromozomun seçilme şansı daha yüksektir. Bunun için popülasyondaki tüm kromozomların yerinin olduğu bir şans arkı düşünülür. Burada her kromozom kendi uyum fonksiyonuna göre bir yer kaplar ve uyum değerini yüksek olan kromozomlar birçok kez seçilir.

Bu yöntem uyum değerinin çok farklı olduğu durumlarda bazı problemlere neden olabilir. Örneğin, en iyi kromozomun uyumu tüm şans arkı içinde %90 ise diğer kromozomların seçilme şansı çok düşük olur (Tiftik, 2001).

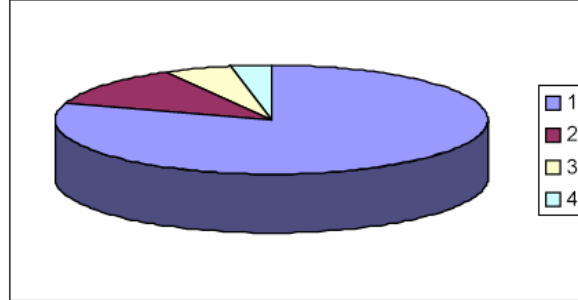


şekil 6. şans arkı seçimi (Tiftik, 2001).

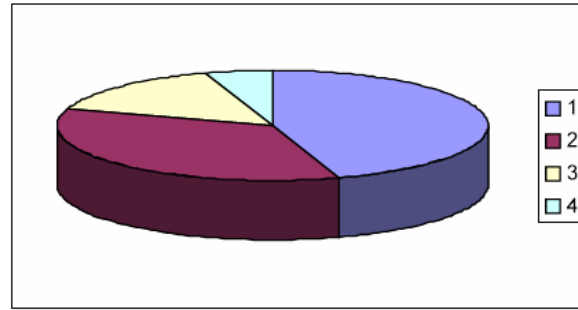
### 3.3.1.3. Sıra Seçimi

Sıra seçiminde popülasyondaki her bir kromozom uyum değerine göre sıralanır. En kötü uyum değerini 1, ikinci kötü durum 2 ve en iyi uyum değerini N dir ve popülasyondaki kromozom sayısı kadar sıralama yapılır. Bu yöntemde tüm kromozomların seçilme şansı vardır ve tüm kromozomların seçilme şansının olması

problemin çözüm hızını düşürür. Bunun sebebi en iyi kromozomun diğer kromozomlardan çok farklı değerde olmamasıdır.



Şekil 7. Sıralamadan önceki durumda uyum değeri sıralaması (Tiftik, 2001).

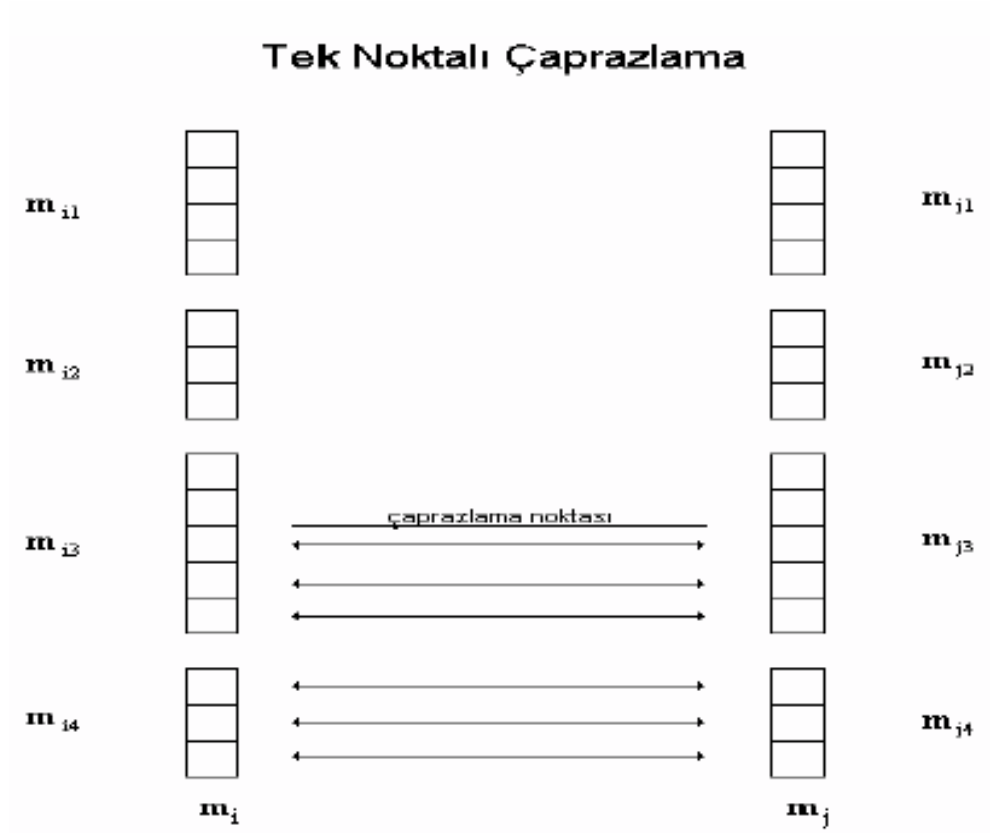


Şekil 8. Sıralamadan sonraki durum (Tiftik, 2001).

### 3.3.2. Çaprazlama

Bireyler arasında genetik bilgi alış verişinin gerçekleşmesini sağlayan işlemdir. Çakışmalarına bağlı olarak ebeveyn olarak seçilen bireyler genetik evrim sürecinde kazandıkları iyi karakterleri sonraki nesle bu sayede aktarırlar. Çaprazlama, tek-noktadan (single-point) ve çok-noktadan (multipoint) olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilebilir. Tek-noktadan çaprazlamada, kromozom üzerinde rasgele bir nokta seçilir. Bu noktanın sağında kalan genler diğer ebeveyninki ile yer değiştirir. Bu sayede ebeveynlerden ve birbirinden farklı iki yeni model elde edilmiş olur.

Bu iki modelden her ikisi de kabul edilebilir ya da model yanıtı ile ölçülen veri arasındaki çakışması daha iyi olan seçilerek diğeri elenebilir.

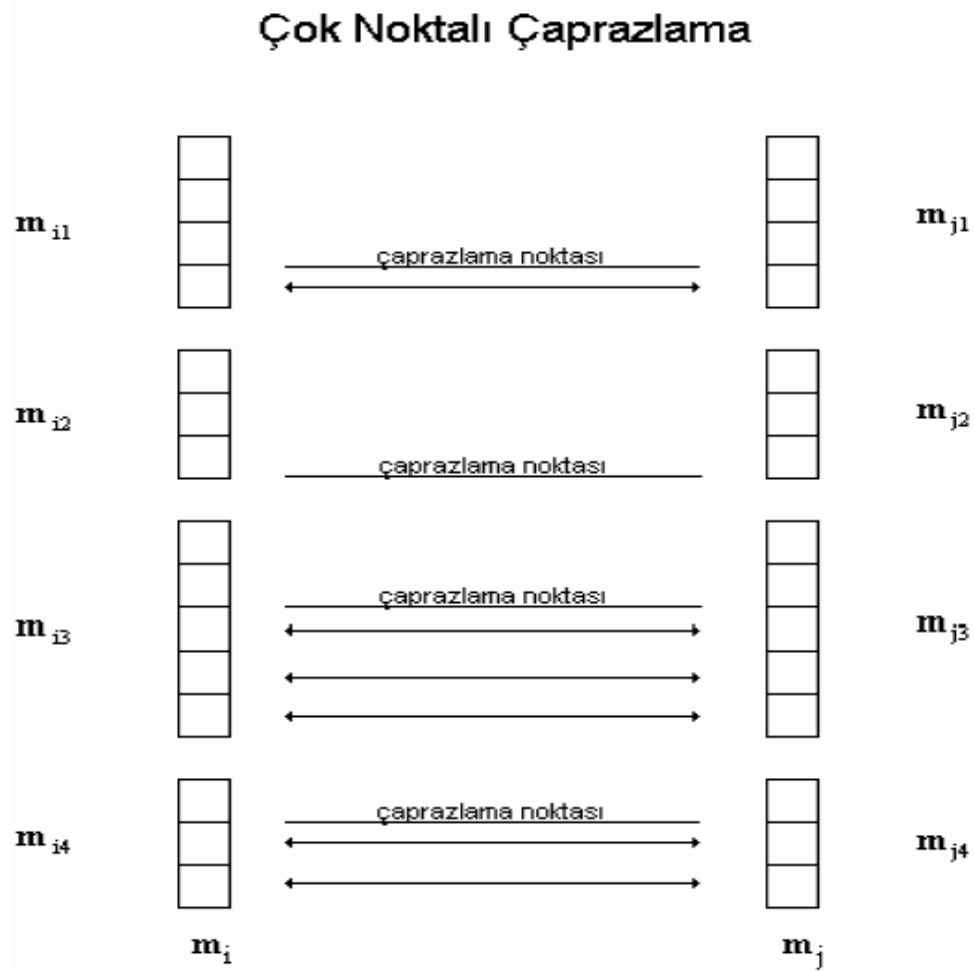


Şekil 9. Tek noktalı çaprazlamada, çaprazlama yeri iki aile kromozom arasında rasgele seçilir ve çaprazlama yerinin sağındaki bitler değişir. Jeofizik uygulamalar için bu, iki model arasında birçok model parametresinin değiştirilmesi anlamına gelmektedir ( Sen and Stoffa, 1992).

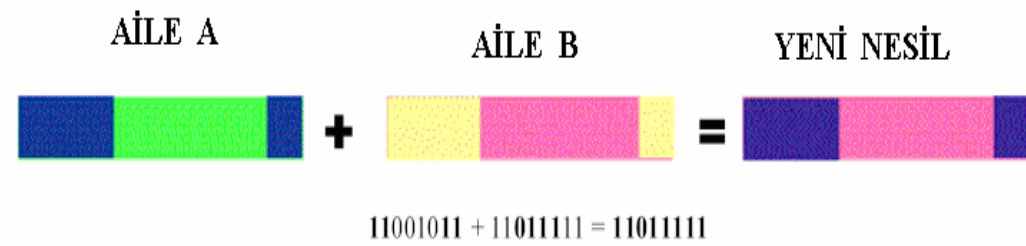


Şekil 10. İkili Gösterimiyle tek noktadan çaprazlama

İki noktalı veya daha çok noktalı çaprazlama çalışmaları Syswerda (1989) tarafından yapılmıştır. Aynı zamanda tekrarlı bireylerin kullanımı da Syswerda (1993) tarafından araştırılmıştır. Çok-noktadan çaprazlamada ise iki modelin tüm parametreleri arasında birer çaprazlama noktası seçilerek gen değişimi yalnızca kromozomun aynı parametreyi temsil eden kısımları arasında tek-noktadan çaprazlamada olduğu gibi gerçekleşir.



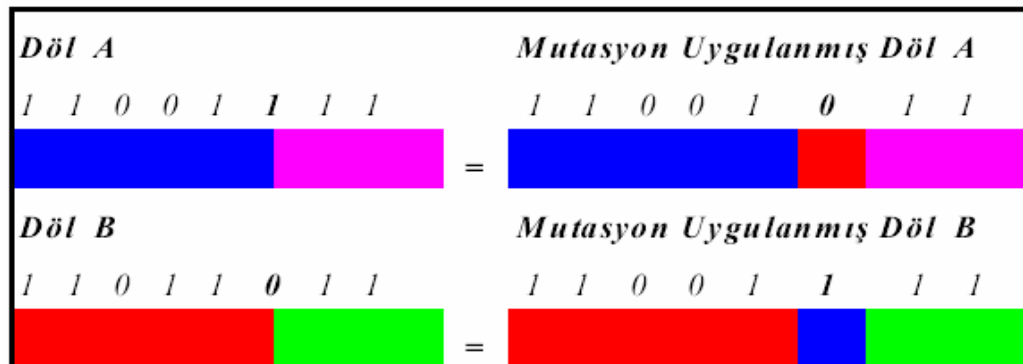
Şekil 11. Çok noktalı çaprazlamada, çaprazlama noktası iki kromozom arasındaki her model parametresi arasında seçilir. Jeofizik uygulamalarda, iki model arasındaki her model parametresinde karışıma neden olur ( Sen and Stoffa, 1992).



Şekil 12. İkili gösterimiyle çok noktalı çaprazlama

### 3.3.3. Mutasyon

Genetik evrim sürecinin son işleci mutasyondur. Mutasyon kromozom içinde yalnız bir genin değişmesi şeklinde gerçekleşir. Nesiller ilerledikçe topluluğun gen havuzu durağan hale gelir. Bu durum toplulukta yeni karakterlerin ortaya çıkmasını engeller. Jeofizik ters-çözüm problemlerinde yeni karakterlerin ortaya çıkmamasının karşılığı erken yakınsama yani algoritmanın yerel minimuma takılması olarak karşımıza çıkabilir. Mutasyon operatörü modellerde küçük değişimler meydana getirerek algoritmanın çözüm uzayında aramaya devam etmesini sağlar. Mutasyon araştırma uzayındaki her bir noktanın araştırılmadan geçilmemesini sağlar.



Şekil 13. Mutasyon işlecinin şematik gösterimi.

Mutasyon operatörünün görevini daha iyi anlayabilmek için bir örnek vermek gerekirse; ikili sistemde kodlanmış sismik hız mutasyon işlecini uygulayalım. 5 bitten oluşan sismik hız her bir bit seviyesi için mutasyon uygularsak, her mutasyon işleminden sonra hesaplanan sismik hızın farklı bir değere sahip olduğu görülmektedir.

<i>1 1 0 0 0</i> <i>V1 = 1940 m / s</i>		
<i>Mutasyon bit numarası</i>	<i>V1 (m / s)</i>	<i>V 2 (m / s)</i>
<i>1</i>	<i>1940</i>	<i>1950</i>
<i>2</i>		<i>1960</i>
<i>3</i>		<i>1980</i>
<i>4</i>		<i>1860</i>
<i>5</i>		<i>1780</i>

Şekil 14. Mutasyon işlecine bir örnek.

### 3.4. Kullanılan Bilgisayar Programı

Genetik Algoritma yöntemi kullanarak farklı problemlerin çözümünü sağlayacak değişik programlama dillerinde yazılmış programlar bulunmaktadır. Bu programların temel işlevi verilen bir problemi veya matematik modeli Genetik Algoritmanın ana işleyiş düzeni üzerine uygulayarak problemin optimizasyonunu gerçekleştirmektir. Daha önceki bölümlerde de anlatıldığı gibi bu ana işleyiş aşamaları Genetik Algoritmanın temelini oluşturan ikili kodlama sistemi, seçim, çaprazlama ve mutasyon gibi operatörlerdir.

“Genetik Algoritma Yardımıyla Sismik Ters Çözüm” de ise mühendislik problemlerinin çözümünde çok sıkça kullanılan **MATLAB 7.0.4** bilgisayar programı kullanılmıştır. Matlab programının özellikle 7 ve üzeri versiyonu kullanılmalıdır.

Matlab programı içerisinde bulunan “toolboxes” a ait “Genetic Algorithm and Direct Search” kısmı kullanılmıştır.

## BÖLÜM DÖRT

### UYGULAMALAR

#### 4.1. Modelleme Çalışmaları

Sismik modelleme çalışmalarında kullanılan birkaç çeşit yöntem vardır.

- Travel Time Inversion
- Raypath Inversion
- Seismic Tomography

Bu çalışmada ise travel time inversion yöntemi temel alınarak modelleme çalışmaları yapılmıştır. Travel time metodunun temeli; elastik dalgaların kaynaktan çıktıktan sonra kayıtçıya ne kadar sürede vardıklarıdır.

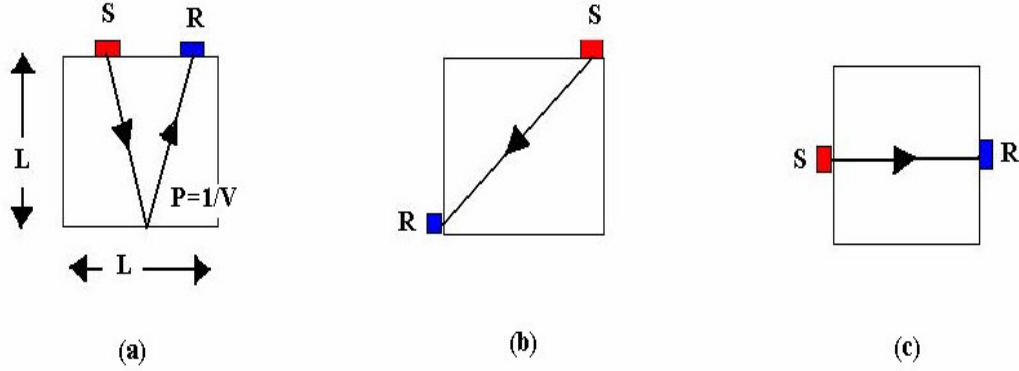
##### *4.1.1. En Küçük Kareler Yöntemi Kullanılarak Travel Time Inversion*

Bölüm 2'de anlatıldığı gibi en küçük kareler yöntemini uygulayabilmek için problemin kare matris şeklinde tanımlanabilmesi (tam tanımlı sistemler) ve bu matrisin tersinin ( $A^{-1}$ ) alınabilmesi gerekmektedir. En küçük kareler yöntemi buradaki modelleme işleminde yeri temsil eden blok şeklindeki sisteme uygulanmış ve kare şeklinde matris haline dönüştürülmüş ve gözlemsel değerlerle (varış süreleri) işleme tabi tutulmuştur.

Sismik yöntemde esas olan yer içinden gelen elastik dalgaların zamanın fonksiyonu olarak kaydedilmesidir. Sismik ters çözüm yönteminde de esas olan sismik dalgaların varış süreleridir (travel time inversion). Çünkü bu varış sürelerinden yola çıkarak tabakaların sismik hızlarını ve derinliklerini bulabiliriz.

Yeraltı tabakalarının yapısını çözebilmek için sismik yöntemde 3 temel model kullanılır. Bunlar;

- (a) Yüzeiden yapılan sismik ölçümler  
( Kaynak ve alıcıların her ikisi de yüzeide )
- (b) VSP ölçümleri  
( Kaynak yüzeide, alıcılar kuyu içerisinde )
- (c) Cross – Hole ölçümleri  
( Kaynak ve alıcıların her ikisi de kuyu içerisinde )



Şekil 15. Tek bir blok ile temsil edilen yer modelinde ışın yolları.

Yukarıdaki 3 geometrik şekilden yola çıkarak her bir model için varış zamanlarını hesaplırsak;

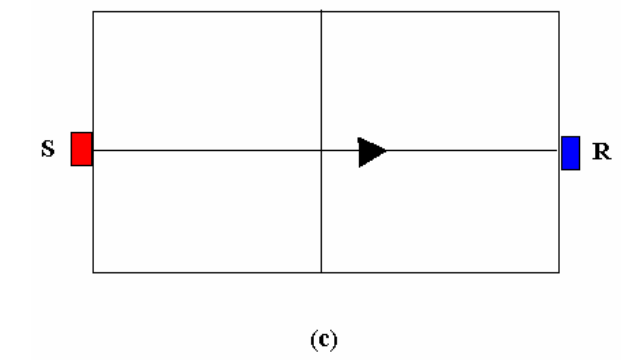
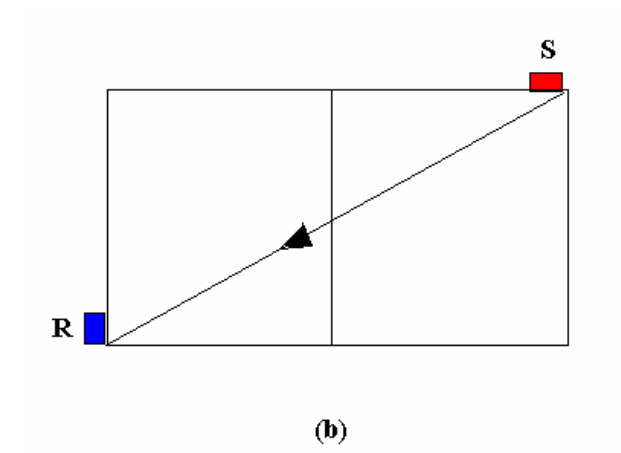
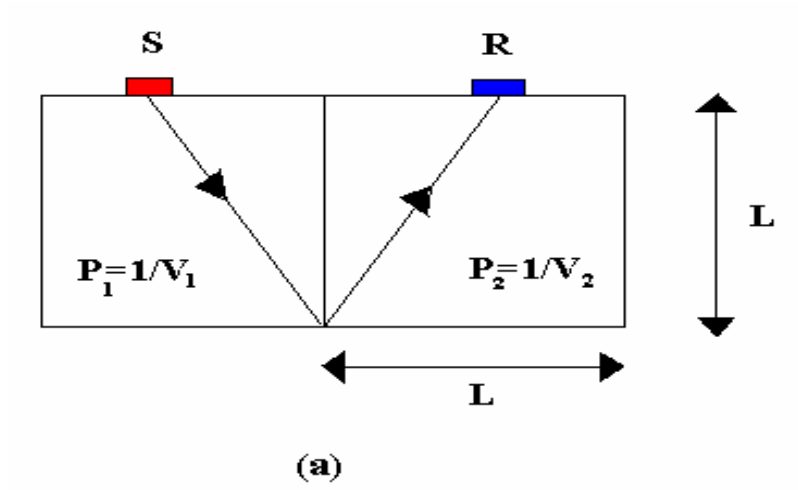
(a) Yüzei sismiği için;  $t = 2 * L * P$

(b) VSP için;  $t = \sqrt{2} * L * P$

(c) Cross – Hole için;  $t = L * P$

burada  $P = 1/V$  dir.

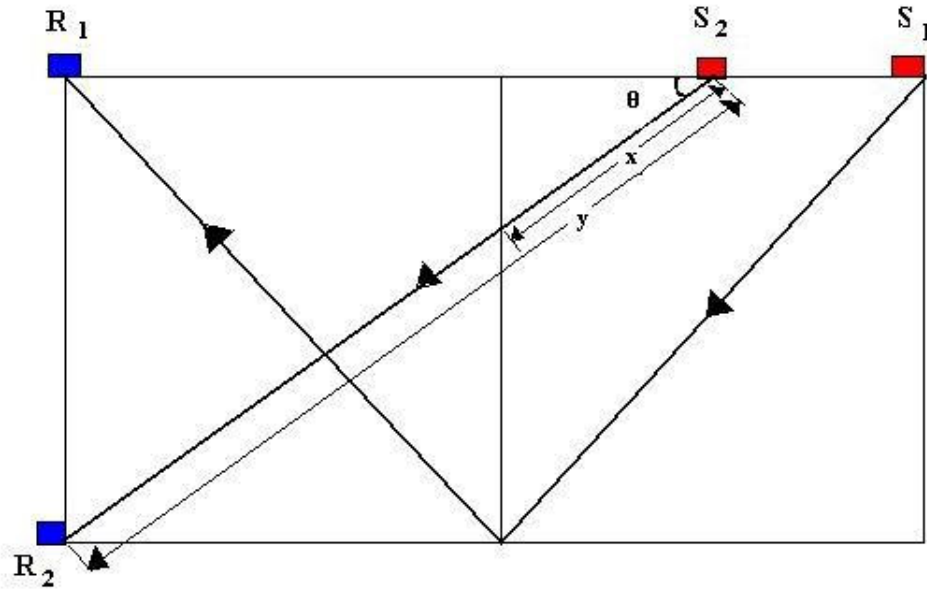
Fakat gerçekte yeryüzü sadece tek bir tabakadan ve hızdan değil daha karmaşık bir yapıdan oluşmaktadır. Yani yeryüzünü daha fazla blok ile temsil etmek zorundayız.



Şekil 16. İki farklı hızı sahip blok modeli.

Buradaki örnekte iki kaynak kullanılmış ve ikisi de yüzeyde, iki alıcının biri yeryüzünde diğeri ise kuyu içinde olduğu modeli kullanacağız. Bu modelde yeryüzündeki kaynaktan üretilen elastik dalgalar yeraltındaki yansıtıcı ara yüzeyden yansıyarak yine yeryüzünde ve kuyu içinde bulunan alıcılar tarafından kaydedilir.

Bloklar kare biçiminde olup 1x1 km ebatlarındadır. Ayrıca her bir blok kütesinin kendi içinde homojen yapıda olduğu kabul edilmiştir. Birinci kaynak – alıcı sistemi için elastik dalga ilk önce birinci bloğun hızıyla hareket eder ve ara yüzeyden yansıdıktan sonra ikinci bloğun hızı ile yoluna devam eder. İkinci kaynak – alıcı sistemi için ise yine birinci bloğun hızıyla harekete başlar ve ara yüzeye vardığında ikinci tabakanın hızına ulaşarak yoluna devam eder. Bu arada geçen süre sinyalin kayıt zamanını verir.



Şekil 17. İki atış için yüzey ve kuyu içi alıcıların ışın yolları.

Birinci kaynaktan ( $S_1$ ) birinci alıcıya ( $R_1$ ) kadar geçen süre;

$$t_1 = \sqrt{2} * P_1 + \sqrt{2} * P_2$$

İkinci kaynaktan ( $S_2$ ) ikinci alıcıya ( $R_2$ ) kadar geçen süre;

Şekildeki tanjant açısını hesapladığımızda,

$$\tan \theta = 1 / 1,5 = 2 / 3 = 0,6667$$

$$\theta = 33,69^0 \text{ olur.}$$

$$\cos 33,69 = 0,8320 \text{ bulunur.}$$

Şekilden yola çıkarak;

$$x = 1 / (2 * 0,8320) = 0,6$$

$$y = 3 / (2 * 0,8320) = 1,8$$

$$y - x = 1,8 - 0,6 = 1,2$$

son olarak geçen süre

$$t_1 = 1,2 * P_1 + 0,6 * P_2$$

burada;  $P_1 = 1/V_1$  ve  $P_2 = 1/V_2$  dir.

$t_1$  ve  $t_2$  varış zamanlarından yola çıkarak problemi matris biçiminde yazmak istersek;

$$\begin{bmatrix} \sqrt{2} & \sqrt{2} \\ 1,2 & 0,6 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \end{bmatrix}$$

Yukarıdaki matris çözümünden P (tabaka hızını) çekersek;

$$P = A^{-1} * t \text{ olur.}$$

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{0,85} * \begin{bmatrix} 0,6 & \sqrt{-2} \\ -1,2 & \sqrt{2} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \end{bmatrix}$$

matris biçimi ise bize sonucu vermektedir.

En küçük kareler yöntemi kullanılarak yapılan matris çözümlerinde her bir kayıtçı için varış süreleri kullanılmış ve sonuçlar aşağıdaki gibi izlenmiştir.

#### 4.1.1.1. En Küçük Kareler Yöntemi ile İlgili Uygulamalar

**1**

$$t_1 = 2,9698 \text{ sn}$$

$$t_2 = 1,8600 \text{ sn}$$

varış zamanlarını kullanarak her bir blok için hız değerlerini elde etmiş oluruz.

$$\begin{array}{lclcl} P_1 = 0,9090 & \longrightarrow & V_1 = 1 \text{ km/sn} & \longrightarrow & V_1 = 1000 \text{ m/sn} \\ P_2 = 1 & \longrightarrow & V_2 = 1,1 \text{ km/sn} & \longrightarrow & V_2 = 1100 \text{ m/sn} \end{array}$$

2

$$t_1 = 2,7341 \text{ sn}$$

$$t_2 = 1,6143 \text{ sn}$$

hız değerlerine baktığımız zaman;

$$\begin{array}{l} P_1 = 0,3657 \quad \longrightarrow \quad V_1 = 0,7572 \text{ km/sn} \quad \longrightarrow \quad V_1 = 757,2 \text{ m/sn} \\ P_2 = 0,6194 \quad \longrightarrow \quad V_2 = 1,1761 \text{ km/sn} \quad \longrightarrow \quad V_2 = 1176,1 \text{ m/sn} \end{array}$$

3

$$t_1 = 3,1508 \text{ sn}$$

$$t_2 = 1,8825 \text{ sn}$$

buradan da hızlar ise;

$$\begin{array}{l} P_1 = 1,0995 \quad \longrightarrow \quad V_1 = 0,9095 \text{ km/sn} \quad \longrightarrow \quad V_1 = 909,5 \text{ m/sn} \\ P_2 = 0,7584 \quad \longrightarrow \quad V_2 = 1,3184 \text{ km/sn} \quad \longrightarrow \quad V_2 = 1318,4 \text{ m/sn} \end{array}$$

**4**

$$t_1 = 2,4808 \text{ sn}$$

$$t_2 = 1,5225 \text{ sn}$$

buradan hızlar;

$$\begin{array}{l} P_1 = 1,2766 \longrightarrow V_1 = 0,7833 \text{ km/sn} \longrightarrow V_1 = 783,3 \text{ m/sn} \\ P_2 = 1,0299 \longrightarrow V_2 = 0,9709 \text{ km/sn} \longrightarrow V_2 = 970,9 \text{ m/sn} \end{array}$$

**5**

$$t_1 = 2,8568 \text{ sn}$$

$$t_2 = 1,7250 \text{ sn}$$

buradan hızlar;

$$\begin{array}{l} P_1 = 1,1697 \longrightarrow V_1 = 0,8549 \text{ km/sn} \longrightarrow V_1 = 854,9 \text{ m/sn} \\ P_2 = 0,8582 \longrightarrow V_2 = 1,1652 \text{ km/sn} \longrightarrow V_2 = 1165,2 \text{ m/sn} \end{array}$$

#### 4.1.1.2. Genetik Algoritma ile Ters Çözüm

Bölüm 4.1.1.1. de en küçük kareler yöntemi ile uygulanan ters çözüm işlemi burada yine aynı varış zamanları kullanılarak Genetik Algoritma ile gerçekleştirilmiştir.

**1**

$$t_1 = 2,9698 \text{ sn}$$

$$t_2 = 1,8600 \text{ sn}$$

buradan hızlar;

$$P_1 = 0,9952 \longrightarrow V_1 = 1,0048 \text{ km/sn} \longrightarrow V_1 = 1004,8 \text{ m/sn}$$

$$P_2 = 0,9355 \longrightarrow V_2 = 1,0689 \text{ km/sn} \longrightarrow V_2 = 1068,9 \text{ m/sn}$$

**2**

$$t_1 = 2,7341 \text{ sn}$$

$$t_2 = 1,6143 \text{ sn}$$

buradan hızlar;

$$P_1 = 0,3655 \longrightarrow V_1 = 0,7652 \text{ km/sn} \longrightarrow V_1 = 765,2 \text{ m/sn}$$

$$P_2 = 0,6173 \longrightarrow V_2 = 1,1694 \text{ km/sn} \longrightarrow V_2 = 1169,4 \text{ m/sn}$$

**3**

$$t_1 = 3,1508 \text{ sn}$$

$$t_2 = 1,8825 \text{ sn}$$

buradan hızlar;

$$\begin{array}{l} P_1 = 1,0889 \longrightarrow V_1 = 0,9183 \text{ km/sn} \longrightarrow V_1 = \mathbf{918,3 \text{ m/sn}} \\ P_2 = 0,7910 \longrightarrow V_2 = 1,2642 \text{ km/sn} \longrightarrow V_2 = \mathbf{1264,2 \text{ m/sn}} \end{array}$$

**4**

$$t_1 = 2,4808 \text{ sn}$$

$$t_2 = 1,5225 \text{ sn}$$

buradan hızlar;

$$\begin{array}{l} P_1 = 1,2553 \longrightarrow V_1 = 0,7966 \text{ km/sn} \longrightarrow V_1 = \mathbf{796,6 \text{ m/sn}} \\ P_2 = 1,0574 \longrightarrow V_2 = 0,9457 \text{ km/sn} \longrightarrow V_2 = \mathbf{945,7 \text{ m/sn}} \end{array}$$

5

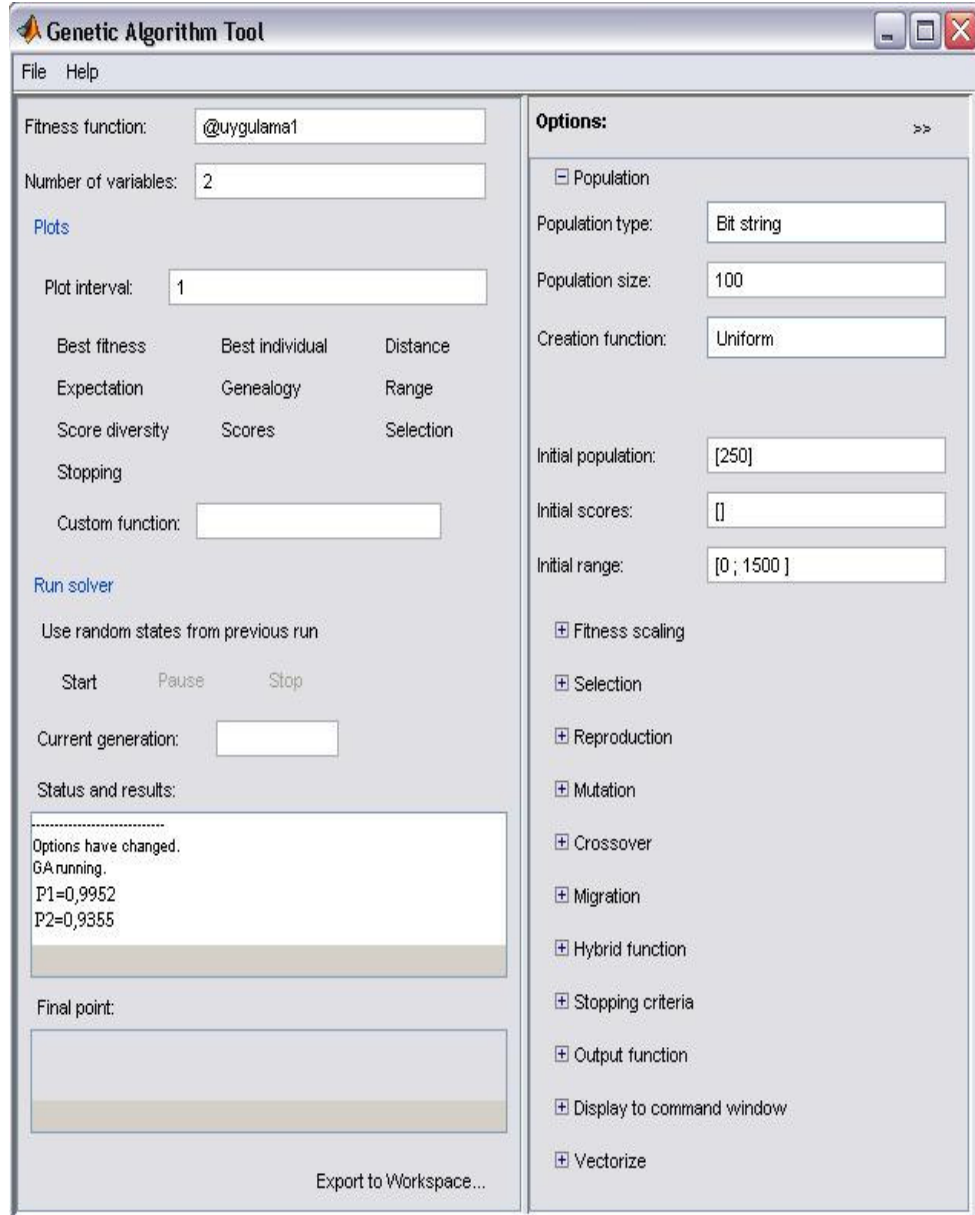
$$t_1 = 2,8568 \text{ sn}$$

$$t_2 = 1,7250 \text{ sn}$$

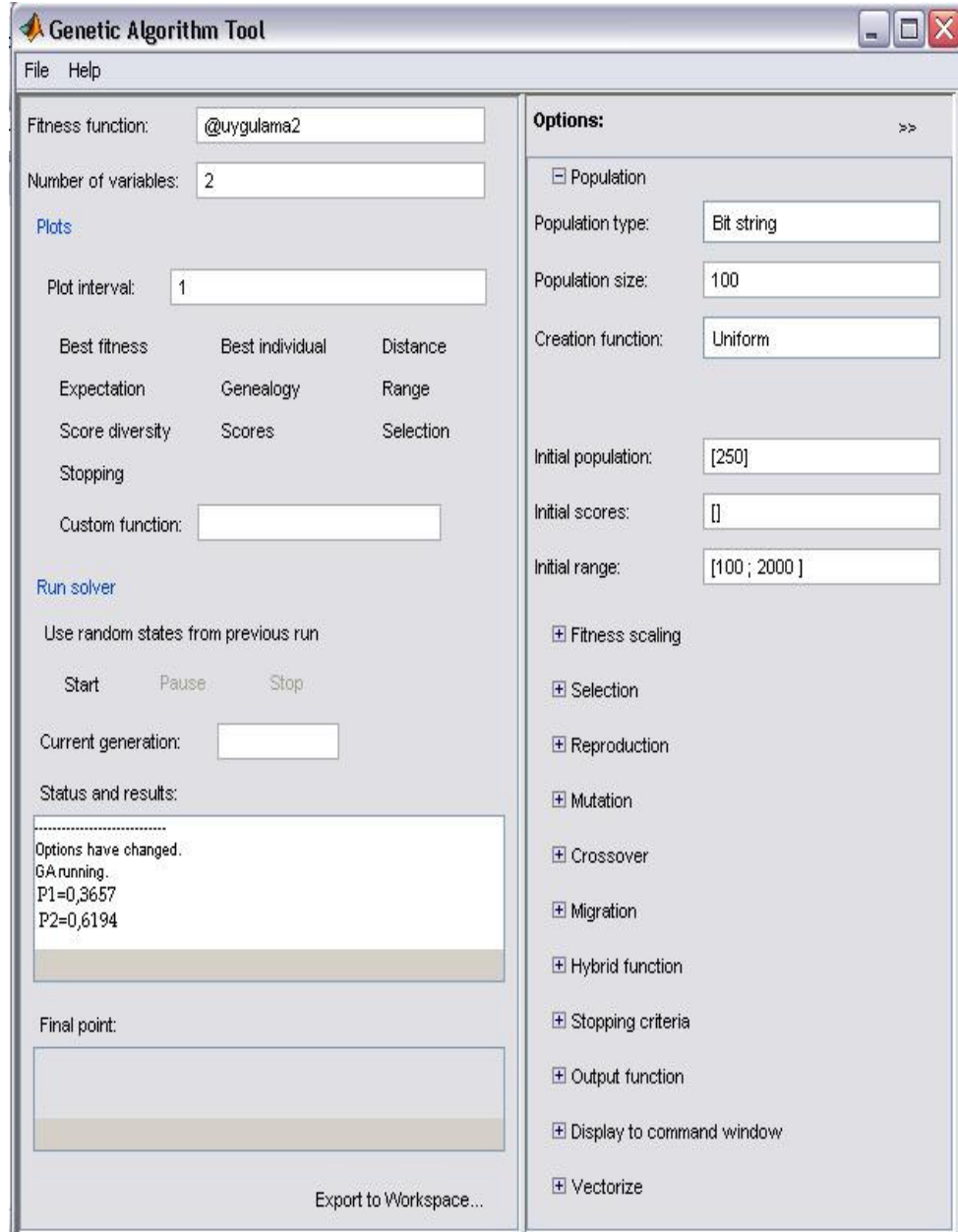
buradan hızlar;

$$\begin{array}{lclclcl}
 P_1 = 1,1427 & \longrightarrow & V_1 = 0,8751 \text{ km/sn} & \longrightarrow & V_1 = 875,1 \text{ m/sn} \\
 P_2 = 0,8701 & \longrightarrow & V_2 = 1,1492 \text{ km/sn} & \longrightarrow & V_2 = 1149,2 \text{ m/sn}
 \end{array}$$

Uygulama 1 ve 2 için Genetik Algoritma programı işleyiş penceresi aşağıda örnek olması açısından verilmiştir. Pencerede sadece P elemanın sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 18. Uygulama1 için genetik algoritma program penceresi.



Şekil 19. Uygulama2 için genetik algoritma program penceresi.

## 4.2. Yöntemlerin Karşılaştırılması

İlk olarak örnek modelde kare blokların ebatları 1x1 km olarak alınmış ve gerekli hesaplamalar bu koşullar altında yapılarak sonuçlar izlendiği gibi ortaya konmuştur. Her iki yöntem ile bulunan sonuçların birlikte irdelenmesi için tüm modeller için sonuçlar tablo 4.1 ve 4.2 de sunulmuştur.

Tablo 4.1 1x1 km lik model için ters çözüm sonuçları elde edilen iki yöntemin karşılaştırılması.

Uygulama No	E.K.K. yöntemi ile hesaplanan sismik hızlar	Genetik Algoritma ile hesaplanan sismik hızlar	Fark m / sn cinsinden	Fark % cinsinden
1	$V_1 = 1000$ m/sn $V_2 = 1100$ m/sn	$V_1 = 1004,8$ m/sn $V_2 = 1068,9$ m/sn	$\Delta V_1 = 4,8$ $\Delta V_2 = 31,1$	%0,48 %2,82
2	$V_1 = 757,2$ m/sn $V_2 = 1176,1$ m/sn	$V_1 = 765,2$ m/sn $V_2 = 1169,4$ m/sn	$\Delta V_1 = 8$ $\Delta V_2 = 6,7$	%1,05 %0,56
3	$V_1 = 909,5$ m/sn $V_2 = 1318,4$ m/sn	$V_1 = 918,3$ m/sn $V_2 = 1264,2$ m/sn	$\Delta V_1 = 8,8$ $\Delta V_2 = 54,2$	%0,96 %4,11
4	$V_1 = 783,3$ m/sn $V_2 = 970,9$ m/sn	$V_1 = 796,6$ m/sn $V_2 = 945,7$ m/sn	$\Delta V_1 = 13,3$ $\Delta V_2 = 25,2$	%1,69 %2,59
5	$V_1 = 854,9$ m/sn $V_2 = 1165,2$ m/sn	$V_1 = 875,1$ m/sn $V_2 = 1149,2$ m/sn	$\Delta V_1 = 20,2$ $\Delta V_2 = 16$	%2,36 %1,37

Tablo 4.1.'e bakıldığında tek bir parametreye bağlı yapılan çalışmada sonuçlar incelendiğinde her iki yöntemde de sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Her bir uygulama için iki yöntem arasındaki sonuçlar karşılaştırıldığında ortalama  $\pm$  %1–2 lik bir fark ortaya çıkmaktadır; uygulanan beş örnek içinde iki yöntem arasındaki maksimum farkın 54 m/sn olduğu görülmektedir.

Yaklaşık 1300 m/sn lik bir hız değeri için bu farkın kabul edilebilir olduğu varsayılmıştır.

İkinci olarak; model geometrisi değiştirilmeden sadece modelin boyutları değiştirilip yarıya indirilerek (500m x 500m) ve kayıt süreleri de sabit tutularak tüm işlemler tekrarlanmıştır. İlk modelde kullanılan bağıntılar yine bu modelde de aynı şekilde kullanılmıştır. Tekrarlanan işlemler sonucu her bir uygulama için  $V_1$  ve  $V_2$  hızları E.K.K yöntemi ve Genetik Algoritma yöntemi ile bulunmuş ve karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.2 500x500 m lik model için ters çözüm sonuçları elde edilen iki yöntemin karşılaştırılması

Uygulama No	Variş Zamanı (traveltime) sn	E.K.K yöntemi ile hesaplanan sismik hızlar (m/sn)	G.A yöntemi ile hesaplanan sismik hızlar (m/sn)	Fark m/sn cinsinden	Fark % cinsinden
1	Sabit	$V_1 = 500$ $V_2 = 550$	$V_1 = 501,6$ $V_2 = 540,7$	$\Delta V_1 = 1,6$ $\Delta V_2 = 9,3$	%0,32 %1,69
2	Sabit	$V_1 = 378,6$ $V_2 = 588$	$V_1 = 380$ $V_2 = 585,6$	$\Delta V_1 = 1,4$ $\Delta V_2 = 2,4$	%0,36 %0,40
3	Sabit	$V_1 = 454,7$ $V_2 = 659,2$	$V_1 = 458,4$ $V_2 = 642,2$	$\Delta V_1 = 3,7$ $\Delta V_2 = 17$	%0,81 %2,57
4	Sabit	$V_1 = 391,6$ $V_2 = 485,4$	$V_1 = 394,5$ $V_2 = 479,7$	$\Delta V_1 = 2,9$ $\Delta V_2 = 5,7$	%0,74 %1,17
5	Sabit	$V_1 = 427,4$ $V_2 = 582,6$	$V_1 = 433,8$ $V_2 = 580$	$\Delta V_1 = 6,4$ $\Delta V_2 = 2,6$	%1,49 %0,44

Tablo 4.2 de görüldüğü üzere ilk modelde kullanılan varış zamanlarını tekrarlayarak ters çözüm işlemleri yinelenmiştir. Sonuçlara bakıldığında en küçük kareler yönteminde sismik hızların yarı değere indiği gözlenmiştir. Bunun nedeni ışınların kat ettiği yolun yarıya inmiş olmasıdır.

Genetik algoritma ile yapılan ters çözüm işleminde ise sismik hızların E.K.K de olduğu gibi tam olarak yarı yarıya azalmadığı, E.K.K yönteminin çözümüne biraz daha yaklaştığı ve aradaki farkın biraz daha kapandığı gözlenmiştir.

Bu aradaki farkın kapanmasının nedeni; ikinci modelde boyutların daha aşağı seviyeye çekilmesine bağlı olarak genetik algoritma da kullanılan ve önemli bir özellik olan parametre araştırma uzayının da daha az sayıda elemandan oluşmasıdır.

Parametre araştırma uzayının sınırlarının daraltılması sonucu genetik algoritma daha az sayıda iterasyon üreteceği için daha sağlıklı ve daha kısa zamanda işlemleri tamamlayarak sonuca ulaşır.

## **BÖLÜM BEŞ**

### **SONUÇLAR ve ÖNERİLER**

Bu çalışmada genetik algoritma operatörü ile ters çözüm tekniğinin sismik travel time modellerindeki kullanımı irdelenmiştir.

Modelleme çalışmalarında yeryüzünü yanal süreksizlik şeklinde temsil eden iki adet kare blok üzerinde yapılan sismik patlatma sonucu, ışın yollarının izlenmesi ve buna bağlı olarak kayıtçılara varış süreleri esas alınarak yapılan bir model kullanılmıştır.

Boyutları farklı iki aynı model üzerinde yapılan beş ayrı uygulamaya genetik algoritma ve en küçük kareler yöntemi ile ters çözüm işlemleri uygulanmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

Geleneksel ters çözüm yöntemlerinin başarısı; işleme sokulan başlangıç parametrelerinin doğru bir şekilde seçilmesine oldukça bağlıdır. Dolayısıyla kullanılan başlangıç parametreleri gerçek parametre değerinden uzak ise yanlış sonuçlar elde edilebilir.

Genetik algoritmalarla yapılan çalışmalarda geleneksel türeve dayalı yöntemlerin aksine çözümler önceden kullanıcı tarafından belirlenmiş bir araştırma uzayı içerisinde seçilir. Bu sayede çok sayıda çözümün içinden iyileri seçilip kötülerini elenebilir.

Geleneksel yöntemlerde parametrelerin ikinci ve daha yüksek dereceden türevleri alınarak matematiksel işlemler ile sonuca gidilir. Genetik algoritmada ise türeve dayalı yöntemler yerine parametrelerin ikili sistemde kodlanması ve operatörler aracılığı ile sonuca ulaşılır.

GA'da parametre değişim uzayı (parametrenin değişim sınırları) önceden belirlendiğinden, elde edilen parametrelerin değerleri araştırma uzayı sınırları dışında çok küçük veya çok abartılı; mantıklı olmayan parametreler (illogical parameters) elde edilmez. Bu olay geleneksel yöntemlerde sıkça görülebilir.

GA'da uygulanan jenerasyon (ardışık yaklaşım, iterasyon) sayısı geleneksel yöntemlerde uygulanan iterasyon sayısına göre oldukça fazladır. Çünkü genetik algoritma bir çözüm uzayı içinde sonuç aradığı için her bir parametreyi deneyerek bulmaya çalışır. Parametre sayısı arttıkça iterasyon sayısı da artmaktadır. Bundan dolayı, GA, geleneksel yöntemlere göre, oldukça zaman alabilir.

Burada yapılan çalışma Genetik algoritmanın sismik ters çözüme başlangıç seviyesi için uygulanabileceğini göstermiştir.

Daha karmaşık model yapıları kullanıldığı zaman Genetik Algoritmanın nasıl çözümler sunacağı araştırılmalıdır.

**KAYNAKLAR**

Başokur, A. T., 2002, *Doğrusal ve doğrusal olmayan problemlerin ters çözümü*. TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Yayınları.

Boschetti, F. et al., 1996, *Inversion of seismic refraction data using genetic algorithm*, Geophysics, Vol. 61, No. 6.

Canitez, N., 1997, *Jeofizikte modelleme*

Çayır, T., 2003, *Sismik kırılma ve plus – minus yöntemi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Lisans Tezi.

Goldberg, D. E., 1989, *Genetic algorithms in search optimization and machine learning*, Addison-Wesley.

Horne, S. and MacBeth C., 1994, *Inversion for seismic anisotropy using genetic algorithms*. Geophysical Prospecting.

Karr, L. C., Freeman L. M. (1999), *Industrial Applications of Genetic Algorithms*, CRC Press, 350 p.

Ozalaybey, S. and Louis, S. J., 1995, *Receiver function inversion using genetic algorithm*.

Russell, Brian H., 1988, *Introduction to seismic inversion methods*, U.S.A, Society of Exploration Geophysicists.

Sambridge, M. S. ve Drijkoningen, G. (1992). *Genetic algorithms in seismic waveform inversion*, Geophys. Jour. Intern.

- Scales, J. A., Smith, M. L. Ve Fischer, T. L. (1992). *Global optimization methods, for multimodel inverse problems*: Jour. Comp. Phys., v. 103, no. 2.
- Sen, M. and Stoffa P.L., 1995, *Global optimization methods in geophysical inversion*.
- Siyam, N. W. A., 2002, *Elektrik ve elektromanyetik verilerin genetik algoritma ile birleşik ve ardışık ters çözümleri*, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Syswerda, G. (1989). *Uniform crossover in genetic algorithms*, In proceedings of the 3rd international conference on genetic algorithms. Los Altos: Morgan Kaufmann Publishers, p. 2-9.
- Tiftik, E.,2001, *Manyetotellürik yöntemde genetik algoritma ile parametre kestirimi*. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Türkmen, E., 2005, *Genetik algoritma kullanılarak jeofizik verilerin ters çözümü*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Whitley, D. , 1989. *The genetic algorithm and selection pressure: Why rank-based allocation of reproductive trials is best*. In JD, Schaffer (Ed.), Proceeding of the third international conference on genetic algorithms.