

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SİSMİK KIRILMA VERİLERİNİN İLK VARIŞ ZAMANLARININ
İŞARETLENMESİNDE İLİŞKİ İŞLEMİNİN UYGULAMA İLKELERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeofizik Müh. Mustafa ŞENKAYA

**HAZİRAN 2010
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SİSMİK KIRILMA VERİLERİNİN İLK VARIŞ ZAMANLARININ
İŞARETLENMESİNDE İLİŞKİ İŞLEMİNİN UYGULAMA İLKELERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Jeofizik Müh. Mustafa ŞENKAYA

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Jeofizik Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21. 05. 2010
Tezin Savunma Tarihi : 16. 06. 2010**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hakan KARSLI
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Aysel ŞEREN
Jüri Üyesi : Doç. Dr. Ali GANGAL**

Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2010

ÖNSÖZ

Bu çalışmada sismik kırılma verilerinin değerlendirilmesinde önemli bir yer tutan ilk varış zamanlarının, sismik veri işleminde yaygın olarak kullanılan ilişki işlemi (korelasyon) ile belirlenmesi araştırılmıştır. Yöntem, farklı tekniklerle oluşturulan yer altı tabaka modelleri üzerinde ve farklı sahalardan elde edilen gerçek sismik kırılma verileri üzerinde sınanmıştır. Ayrıca korelasyon tekniği ile yarı otomatik olarak işaretlenen ilk varış zamanlarının, yorumcu tarafından (manuel olarak) işaretlenen ilk varış zamanlarından olan küçük zaman farklarının sismik kırılma verilerinin değerlendirilmesindeki etkileri de sismik tomografi ve gecikme zamanı yöntemleri ile irdelenmiştir.

Çalışma Karadeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Hızlı Destek Projeleri kapsamında desteklenmiştir (Proje Kod No: 2009.112.007.2). Desteklerinden dolayı BAP yöntemine teşekkürler ederim.

Yüksek lisans çalışmalarımın başlangıcında akademik danışmanlığımı kabul eden, bilgi ve birikimi ile bana her aşamada destek olan, paylaşmayı ve daha çok çalışmayı kendisinden örnek aldığım değerli hocam Doç. Dr. Hakan KARSLI' ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Sismik Veri İşlem Laboratuvarında birlikte çalıştığım arkadaşım Arş. Gör. Recep GÜNEY'e modelleme çalışmalarında verdiği destekten dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Aileme, beni ben yapan değerleri öğrettikleri için ve yaşamımın her aşamasında bana verdikleri büyük destekten dolayı sonsuz sevgilerimi sunarım.

Hayatımı ve sonrasını birlikte geçirmeyi dilediğim sevgili Gülseda VANLI'ya sonsuz sevgiler ve teşekkürler.

Mustafa ŞENKAYA
Trabzon 2010

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. İlk Varış Kavramı ve İşaretlenmesinde Kullanılan Kavramlar.....	4
1.2.1. Sismik Olaylar.....	4
1.2.2. İlk Varışlar.....	5
1.2.3. Doruk ve Çukur Kavramı.....	7
1.3. Sismik Kırılma Çalışmalarında İlk Varış Okumasını Etkileyen Faktörler.....	9
1.3.1. Kaynak ve Saha Parametreleri.....	9
1.3.2. Süzgeçler.....	14
1.4. İlk Varışların El ile (Manuel Olarak) İşaretlenmesi.....	16
1.5. İlk Varışların Yarı Otomatik İşaretlenmesi.....	18
1.5.1. Yarı Otomatik İşaretlemede İlişki İşlemi ve İlişki İşleminin Esasları.....	19
1.5.1.1. Çapraz İlişki.....	19
1.5.1.2. Öz İlişki.....	25
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	26
2.1. Yöntem.....	26
2.2. Konvolüsyon Modelleri ve Analiz.....	30
2.3. Dalga Yayılım Modeli ve Analiz.....	50
2.4. Saha Verileri Üzerinde Uygulamalar.....	65
2.5. İlk Varış Zamanlarındaki Küçük Değişimlerin Sismik Kırılma Verilerinin Değerlendirilmesindeki Etkileri.....	75
3. SONUÇLAR.....	88

4.	ÖNERİLER	91
5.	KAYNAKLAR.....	92
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Bu tez çalışmasında, ilk varış zamanı işaretleme zorluğu olan sismik kırılma verilerinden ilk varış zamanlarını daha doğru ve güvenilir olarak işaretlemek için, genel olarak sismik yansıma verilerinin işlenmesinde bir çok aşamada çok yaygın olarak kullanılan ilişki (korelasyon) işlemine dayalı otomatik/yarı otomatik algoritma içeren yeni bir teknik geliştirilmiş ve katkıları incelenmiştir. Düşünülen otomatik/yarı otomatik algoritmanın başarısı belirlenen kaynak dalgacığı operatörlerinin duyarlılığı ile doğrudan ilişkili olduğu için, ilişki operatörleri üç şekilde tasarlanmıştır. Operatör kestirimi sırasında, sismik verinin güç spektrumundan, verinin temiz bir kanalı üzerindeki dalgacık formlarından veya kullanılan sismik kaynak dikkate alınarak minimum fazlı dalgacık modellerinden yararlanılmıştır. Hangi tür operatörün kullanılacağı verinin genel karmaşıklık karakterine göre belirlenmiştir.

Geliştirilen teknik, değişik yer modelleri için hesaplanmış yapay ve farklı jeolojik ortamlardan kaydedilen gerçek arazi verilerine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar detaylı olarak neden-sonuç ilişkilerine göre tartışılmıştır. Verilerin gürültü içeriği arttıkça ve ofset boyunca ilk varış dalga şeklinin bozularak işaretleme zorluğu oluştuğunda, ilişki tekniği ile ilk varış işaretlemesinin çok faydalı olduğu görülmüştür. Ayrıca, geliştirilen teknik sayesinde işaretlenen ilk varış zamanları ile manuel olarak işaretlenen ilk varış zamanları arasındaki küçük zaman farklarının sismik değerlendirmeler üzerindeki etkisi, sismik tomografi ve gecikme zamanı yöntemleri çözümleri ile ortaya konmuştur. Yapılan karşılaştırmalarda ilişki yönteminden elde edilen ilk varış zamanları ile yapılan tomografi çözümlerinin daha iyi bir yanal çözünürlüğe sahip olduğu, gecikme zamanı çözümlerinde ise bu zaman farklarının sismik hızlar ve tabaka kalınlıklarını beklenmedik şekilde değiştirebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sismik Kırılma, İlk Varış Zamanı, İlişki, Korelasyon, Dalgacık Kestirimi

SUMMARY

The Investigation of Principles of The Correlation Processing in The First Arrival Times Picking of Seismic Refraction Data

In this thesis a new technique consisting of automatic/semi-automatic algorithms based on correlation process, which are widely used in many phases in seismic reflection data processing was developed to, calculate the first arrival times from seismic refraction data which have difficulties in picking the first arrival times. Since the success of considered automatic/semi-automatic algorithm is directly correlated with the susceptibility of defined source wave operators, correlation operators were designed in three ways; power spectrum, directly wave forms on clean channel or take into account by used source, minimum phase wavelet models. The type of operator was determined with respect to general complexity characteristic of data.

The developed technique was calculated for different ground models and it was applied to the real field data recorded from different geologic environments. The obtained results were discussed with respect to cause and affect relationship in detail. It was seen that first arrival picking with the correlation technique is very useful as the noise content of data increase and picking difficulty occurs due to upset first arrival waveform along the offset. Also, effects of time differences between manual and semi-automatic picking on seismic refraction results were evaluated with seismic tomography and delay time methods solutions. In the comparisons it was seen that the tomography solutions done with the first arrival times obtained from correlation method has a better lateral resolution, while this time differences may change seismic velocity and layer thicknesses unexpectedly in delay time solutions

Key Words: Seismic Refraction, First Arrival Time, Correlation, Wavelet Prediction

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Bir sismik kırılma sinyali içerisindeki farklı olaylar.....	5
Şekil 1.2. Bir arazi çalışması sırasında alınan sismik kırılma kayıtları örnekleri	6
Şekil 1.3. Veride maksimum noktanın işaretlenmesi	8
Şekil 1.4. Doruk noktasının örnekleme aralığı ile değişimi	9
Şekil 1.5. Kaynaktan çıkan bir sismik dalgacığın hareketi sırasında yer altı maruz kaldığı faktörler.....	10
Şekil 1.6. 50 Hz'lik bir Ricker dalgacığının, yapay profil boyunca hareketi sırasında genlik ve frekans içeriğindeki değişim.....	12
Şekil 1.7. Gerçek bir sismik kırılma verisinde uygulanan iki farklı normalizasyon.....	12
Şekil 1.8. Farklı süzgeç bant aralıklarının ve eğimlerinin, bir iğnecik sinyali üzerindeki karakteristik etkileri	15
Şekil 1.9. Bir sismik kırılma sinyaline uygulanan farklı filtrelerin ilk varış zamanına etkileri.....	15
Şekil 1.10. İki farklı sismik kırılma sinyalinde farklı genlik oranlarında yapılan ilk varış işaretlemeleri.....	17
Şekil 1.11. Bir saha çalışmasında elde edilen 12 kanallı sismik kırılma verisi.....	18
Şekil 1.12. İlişki işleminde negatif, sıfır ve pozitif gecikmeler	20
Şekil 1.13. İlişki ve konvolüsyon işleminin frekans ortamındaki şematik gösterimi.....	21
Şekil 1.14. Bir sinüs ve kosinüs dalgasının çapraz ilişki sonucu	22
Şekil 1.15. Bir sinüs dalgasına eklenen farklı oranlardaki gürültülerle elde edilen dalgacıkların, kendilerinin oluşturan ana sinüs dalgası ile çapraz ilişki sonuçları.....	23
Şekil 1.16. Bir sinüs dalgasına %80 gürültü eklenmesi ile oluşturulan dalgacığın, kendisini oluşturan sinüs dalgası ile çapraz ilişki işleminin adım adım gösterilmesi	24
Şekil 2.1. Bir doğrusal sistem modeli.....	26
Şekil 2.2. Vibro sinyali kullanılarak oluşturulan sismik yansıma sinyali ve bu sinyalin pilot vibro sinyali ile çapraz ilişki sonucu.....	27
Şekil 2.3. Bir sismik kırılma sinyalinden ortalama güç spektrumu ile kaynak dalgacık kestirimi.....	29
Şekil 2.4. Konvolüsyon modellemeleri sırasında kullanılan yer altı hız modeli.....	32
Şekil 2.5. Konvolüsyon modellemeleri sırasında kullanılan kaynak fonksiyonu	32
Şekil 2.6. Gürültüsüz bir sismik kırılma verisinin konvolüsyon modeli.....	33
Şekil 2.7. Gürültüsüz konvolüsyon modeli ile oluşturulan sismik kırılma izi	33
Şekil 2.8. Konvolüsyon öncesi gürültü eklenen veriye ait konvolüsyon modeli	34

Şekil 2.9. Sisteme eklenen %0.1'lik gürültü ile konvolüsyon sonucu oluşan sismik kırılma verisi	34
Şekil 2.10. Konvolüsyon sonrası gürültü eklenen veriye ait konvolüsyon modeli.....	34
Şekil 2.11. Konvolüsyon sonrasında eklenen %15'lik gürültü eklenen sismik kırılma verisi.....	35
Şekil 2.12. Gürültüsüz, yapay sismik kırılma verisi	36
Şekil 2.13. Gürültüsüz yapay sismik kırılma verisi, ilişki fonksiyonu ve ilişki fonksiyonu üzerinde yapılan ilk varış işaretlemeleri	37
Şekil 2.14. Gürültüsüz yapay sismik kırılma verisinden ilişki fonksiyonu ile elde edilen ilk varış zamanlarının teorik dalga seyahat zamanları ile karşılaştırılması	38
Şekil 2.15. Gürültüsüz veri ile konvolüsyon sonrası %15 rastgele gürültü içeren yapay sismik kırılma verilerinin ilk alıcı genlik spektrumları	40
Şekil 2.16. Konvolüsyon sonrası %15 rastgele gürültü içeren yapay sismik kırılma verisi.....	40
Şekil 2.17. Konvolüsyon sonrası %15 rastgele gürültü içeren yapay sismik kırılma verisi, ilişki fonksiyonu ve ilişki fonksiyonu üzerinde yapılan ilk varış işaretlemeleri.....	42
Şekil 2.18. Konvolüsyon sonrası %15 gürültü içeren yapay sismik kırılma verisinden ilişki fonksiyonu ile elde edilen ilk varış zamanlarının teorik dalga seyahat zamanları ile karşılaştırılması	43
Şekil 2.19. Konvolüsyon sonrası %85 gürültü içeren yapay sismik kırılma verisi, ilişki fonksiyonu ve ilişki fonksiyonu üzerinde yapılan ilk varış işaretlemeleri.....	45
Şekil 2.20. Konvolüsyon sonrası %85 gürültü içeren yapay sismik kırılma verisinden ilişki fonksiyonu ile elde edilen ilk varış zamanlarının teorik dalga seyahat zamanları ile karşılaştırılması	46
Şekil 2.21. Gürültüsüz veri ile konvolüsyon öncesi %0.1 gürültü eklenen yapay sismik kırılma verilerinin ilk alıcı genlik spektrumları	46
Şekil 2.22. Konvolüsyon öncesi %0.1 gürültü eklenen yapay sismik kırılma verisi	47
Şekil 2.23. Konvolüsyon öncesi %0.1 rastgele gürültü içeren yapay sismik kırılma verisi, ilişki fonksiyonu ve ilişki fonksiyonu üzerinde yapılan ilk varış işaretlemeleri.....	48
Şekil 2.24. Konvolüsyon öncesi %0.1 gürültü içeren yapay sismik kırılma verisinden ilişki fonksiyonu ile elde edilen ilk varış zamanlarının teorik dalga seyahat zamanları ile karşılaştırılması	49
Şekil 2.25. Promax yazılımı ile oluşturulan yanal süreksizlik tabaka modeli.....	52
Şekil 2.26. Dalga yayılımı tekniği ile yanal süreksizlik modelinden elde edilen yapay sismik kırılma verileri.....	54
Şekil 2.27. Promax üzerinde elde edilen ilk atış verisinin MatLab üzerinde görünümü	55

Şekil 2.28. Yanal süreksizlik modeline ait ilk atış verisinden, yuvarlatılmış güç spektrumu ile elde edilen kaynak dalgacık	57
Şekil 2.29. Yanal süreksizlik modeline ait ilk atış verisi, ilişki fonksiyonu ve veri üzerinde yapılan ilk varış işaretlemeleri	58
Şekil 2.30. İlk atış verisine yapılan işaretlemenin yakınlaştırılmış görüntüsü	59
Şekil 2.31. Yanal süreksizlik modeline ait ilk atış verisinden ilişki fonksiyonu ile elde edilen ilk varış zamanlarının Promax yazılımı üzerinde işaretlenen ilk varış zamanları ile karşılaştırılması	59
Şekil 2.32. Yanal süreksizlik modeline ait ilk atış verisine %5 gürültü eklenmiş yapay veri, ilişki fonksiyonu ve veri üzerinde yapılan ilk varış işaretlemeleri	61
Şekil 2.33. Yanal süreksizlik modeline ait ilk atış verisine %15 gürültü eklenmiş yapay veri, ilişki fonksiyonu ve veri üzerinde yapılan ilk varış işaretlemeleri	62
Şekil 2.34. Yanal süreksizlik modeline ait ilk atış verisine %25 gürültü eklenmiş yapay veri, ilişki fonksiyonu ve veri üzerinde yapılan ilk varış işaretlemeleri	63
Şekil 2.35. Yanal süreksizlik modeline ait %5 gürültü içeren yapay veriden ilişki fonksiyonu ile elde edilen ilk varış zamanları ile Promax üzerinde el ile işaretlenen ilk varış zamanlarının karşılaştırılması	64
Şekil 2.36. Yanal süreksizlik modeline ait %15 gürültü içeren yapay veriden ilişki fonksiyonu ile elde edilen ilk varış zamanları ile Promax üzerinde el ile işaretlenen ilk varış zamanlarının karşılaştırılması	64
Şekil 2.37. Yanal süreksizlik modeline ait %25 gürültü içeren yapay veriden ilişki fonksiyonu ile elde edilen ilk varış zamanları ile Promax üzerinde el ile işaretlenen ilk varış zamanlarının karşılaştırılması	65
Şekil 2.38. Bir sismik kırılma verisinin farklı genlik faktörleri ile MatLab üzerinde görüntülenmesi	66
Şekil 2.39. Deneme1 verisi, ilişki fonksiyonu ve ilk varış işaretlemesi yapılmış veri	68
Şekil 2.40. Deneme1 verisinin Pickwin üzerinde görünümü	69
Şekil 2.41. Deneme2 verisinin Pickwin üzerinde görünümü	69
Şekil 2.42. Deneme3 verisinin Pickwin üzerinde görünümü	69
Şekil 2.43. Deneme4 verisinin Pickwin üzerinde görünümü	70
Şekil 2.44. Deneme5 verisinin Pickwin üzerinde görünümü	70
Şekil 2.45. Deneme2 verisi, ilişki fonksiyonu ve ilk varış işaretlemesi yapılmış veri	71
Şekil 2.46. Deneme3 verisi, ilişki fonksiyonu ve ilk varış işaretlemesi yapılmış veri	72
Şekil 2.47. Deneme4 verisi, ilişki fonksiyonu ve ilk varış işaretlemesi yapılmış veri	73
Şekil 2.48. Deneme5 verisi, ilişki fonksiyonu ve ilk varış işaretlemesi yapılmış veri	74
Şekil 2.49. Değerlendirme1’de kullanılacak beş atışlı sismik kırılma verisi	77

Şekil 2.50. Değerlendirmel’de el ile işaretlenen ilk varış zamanlarının tomografi sonucu	79
Şekil 2.51. Değerlendirmel’de ilişki fonksiyonu ile elde edilen ilk varış zamanlarının tomografi sonucu	79
Şekil 2.52. Değerlendirmel’de elde edilen iki farklı tomografi sonucunun aynı renk ölçeğinde görünümü. a) El ile işaretlenen zamanlardan elde edilen tomografi sonucu, b) İlişki yöntemi ile elde edilen ilk varış zamanlarından elde edilen tomografi sonucu	80
Şekil 2.53. Değerlendirmel’de el ile işaretlenen ilk varış zamanlarının gecikme zamanı çözümü	81
Şekil 2.54. Değerlendirmel’de ilişki fonksiyonu ile elde edilen ilk varış zamanlarının gecikme zamanı çözümü	81
Şekil 2.55. Değerlendirme2’de kullanılacak beş atışlı sismik kırılma verisi	83
Şekil 2.56. Değerlendirme2’de el ile işaretlenen ilk varış zamanlarının tomografi sonucu	85
Şekil 2.57. Değerlendirme2’de ilişki fonksiyonu ile elde edilen ilk varış zamanlarının tomografi sonucu	85
Şekil 2.58. Değerlendirme2’de elde edilen iki farklı tomografi sonucunun aynı renk ölçeğinde görünümü.a) El ile işaretlenen zamanlardan elde edilen tomografi sonucu, b) İlişki yöntemi ile elde edilen ilk varış zamanlarından elde edilen tomografi sonucu	86
Şekil 2.59. Değerlendirme2’de el ile işaretlenen ilk varış zamanlarının gecikme zamanı çözümü	87
Şekil 2.60. Değerlendirme2’de ilişki fonksiyonu ile elde edilen ilk varış zamanlarının gecikme zamanı çözümü	87

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Gürültüsüz yapay sismik kırılma verisi için hesaplanan teorik seyahat zamanları ile ilişki fonksiyonundan elde edilen ilk varış zamanlarının liste şeklinde karşılaştırılması.....	39
Tablo 2.2. Konvolüsyon sonrası %15 gürültü eklenen sismik kırılma verisi için hesaplanan teorik seyahat zamanları ile ilişki fonksiyonundan elde edilen ilk varış zamanlarının liste şeklinde karşılaştırılması.....	41
Tablo 2.3. Konvolüsyon öncesi %0.1 gürültü eklenen sismik kırılma verisi için hesaplanan teorik seyahat zamanları ile ilişki fonksiyonundan elde edilen ilk varış zamanlarının liste şeklinde karşılaştırılması.....	50
Tablo 2.4. Promax üzerinde oluşturulan yanal süreksizlik modeline ait tüm atış verileri için Promax üzerinde el ile yapılan ilk varış işaretlemeleri ile ilişki fonksiyonu ile elde edilen ilk varış işaretlemelerinin karşılaştırılması.....	60
Tablo 2.5. Değerlendirme1’de kullanılan sismik kırılma verilerinde el ile işaretlenen ilk varış zamanları, ilişki yöntemi ile elde edilen ilk varış zamanları ve her profildeki ortalama zaman farkları.....	78
Tablo 2.6. Değerlendirme2’de kullanılan sismik kırılma verilerinde el ile işaretlenen ilk varış zamanları, ilişki yöntemi ile elde edilen ilk varış zamanları ve her profildeki ortalama zaman farkları.....	84

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Genlik
Cos	: Kosinüs dalgası, fonksiyonu
P	: Basınç dalgası, primer dalga
R	: Yansıma dalgası
Q	: Kalite faktörü
S	: Kesme dalgası, sekonder dalga
Sin	: Sinüs dalgası, fonksiyonu
S/N	: Sinyal/Gürültü
dt	: Zaman örnekleme
f	: Frekans
t	: Zaman
x	: Bağımsız değişken
A_{max}	: Maksimum genlik
A_{min}	: Minimum genlik
R(t)	: Ricker dalgacığı
$R_{xy}(\tau)$: x ve y fonksiyonu çapraz ilişki fonksiyonu
X(w)	: x(t)' nin Fourier dönüşüm hali
Y(w)	: y(t)' nin Fourier dönüşüm hali
$Y^*(w)$: Y(w)' nin kompleks eşleniği
$\Phi(w)$: Faz spektrumu
n(t)	: Gürültü fonksiyonu
r(t)	: Sistem fonksiyonu
$x_g(w)$: Genlik spektrumu
x(t)	: Zaman bağımlı x fonksiyonu
y(t)	: Zaman bağımlı y fonksiyonu
y(x)	: x bağımlı fonksiyon

dB	: Desibel
Hz	: Hertz
m	: Metre
ms	: Milisaniye
sn	: Saniye
\mathbb{F}	: Fourier dönüşümü
τ	: Zaman gecikme değeri
*	: Konvolüsyon
∞	: Sonsuz
2B	: 2 Boyutlu

1. GENEL BİLGİLER

1.1 Giriş

Kırılma sismolojisi yakın yüzey yapılarının araştırılmasında önemli bir yöntemdir. Yöntem uzun bir tarihe sahiptir ve mühendislikte sığ yapıların jeolojik özelliklerinin ortaya çıkarılmasında temel yöntem konumundadır (Matsuoka vd., 2000).

Araştırma sismolojisinin öncelikli görevlerinden biri, kaynaktan alıcılara doğru yayılan ve yer kürede hareket ederek kayıt edilen sismik varış bilgilerini yorumlamaktır. Kayıt edilen sismik dalgalar sismik olaylar serilerini içerir. Yer küre hakkında bilgi taşıyan bu sismik olaylar, yansıma, kırılma, yüzey dalgası, rastgele bir sinyal veya bunların toplamından oluşan bir sinyal olabilir (Li, 2000). Bu sismik olayların varış zamanlarının tanımlanması, sismik gözlemlerin jeolojik modellere dönüştürülmesindeki ilk adımdır. Sismik enerjinin seyahat zamanının doğru ve güvenilir olarak belirlenmesi sismik çalışmalarda büyük öneme sahiptir (Boschetti vd., 1996). Sismik model ile seyahat zamanları arasında yüksek dereceli bir uyum sağlamak için yorumlama veya ters çözüm sırasında güvenilir bir seyahat zamanı verisi kullanmak önemlidir (Leung, 2003). Bununla birlikte, sismik olayların kayıt edilmesi zor bir işlemdir. Çünkü varış verilerini, basit yapay yer altı modellerinde dahi etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler altında sismik olayların doğru tanımlanması ve varış zamanlarının tam ölçümü hem deprem sismolojisinde hem de sismik araştırmalarda önemli bir adımdır (Li, 2000).

İlk varış bilgisinin yüksek hassasiyetle belirlenmesinin önemi aşağıda sıralanmıştır;

- Kırılma kayıtlarının değerlendirilmesinde kullanılan tek veridir.
- İlk varış okumaları sırasında yapılabilecek hatalar, ileri yorumlama teknikleri için yapılan işlemlerde hata oranının katlanarak artmasına neden olacaktır.
- Günümüz çalışmalarında sığ derinlikler yüksek çözünürlüklerle tanımlanmaya başlamıştır. Dolayısıyla çalışmanın hassasiyeti ne kadar artar ise elde edilen sonuçlar da yeraltını o kadar iyi temsil edecektir. Bilindiği gibi sığ derinliklerdeki jeolojik yapı, derin yapıdakinden daha karmaşıktır. Sismik dalganın bu karmaşık yapıdaki hareketi kayıtları da karmaşık hale getirmektedir. Bu kayıtlardan ilk varış bilgilerinin elde edilmesi veya bir kanal üzerindeki değişik dalga fazlarının

tanımlanmasını zorlaşmaktadır. Bu nedenle, bu tip verilerden yapılan değerlendirmeler de verinin zorluk derecesi kadar zor olacaktır.

- İlk varış zamanları aynı zamanda sadece sismik kırılma çalışmaları için değil sismik yansıma çalışmalarında da önemlidir. Çünkü bir sismik yansıma verisi içindeki, sığ tabakaların jeolojik etkilerinden kaynaklanan bozulmaların giderilmesi için kullanılan statik düzeltme işleminde ilk varış bilgileri kullanılır (Whitley ve Cogswell, 1997).

İlk varış zamanı bu kadar önemli bir bilgi iken, belirlenmesindeki zorluklar kırılma yönteminin eksik yanını oluşturur. Çünkü çoğu kırılma değerlendirme tekniği ilk varış zamanı olmadan çalışmaz. Bu bilginin gürültülü, gürültüsüz her türlü ortamda elde edilmesi birçok algoritmanın amacını oluşturur. Çok sayıdaki veriden ilk varış zamanlarının elde edilmesi ihtiyacı, bu işlemi el yordamından daha hızlı ve daha doğru şekilde yapabilecek algoritmalara ihtiyac doğurmuştur.

Literatürde sismik veriler üzerinde yapılan geleneksel ilk varış belirleme yöntemleri ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların çoğu genellikle doğrudan sismik izlerin genlik değerlerini analiz ederler. Gürültü oranı fazlaştığında kayıtçının dinamik kayıt aralığına bağlı olarak bu işlem hassas yapılamaz (Criss vd., 2003). Sismik olayların otomatik işaretlenmesi adına birçok yaklaşım geliştirilmiştir. Bunların çoğu izlerdeki belirgin değişimlerin bulunması gerçeğine dayanır. Paulson ve Merdler (1968) belirlenmesi arzu edilen varışların tahmini bir alan-trend boyunca ortalama genlik değerini değişim parametresi olarak kullanmışlardır. Hatherly (1982) ilk varış zamanlarının belirlenmesinde sinyaldeki ani değişimler ile doğrusal en küçük kareler tahmin tekniğini birleştirmiştir. Gelchinsky ve Shtivelman (1983), Ervin vd. (1983) ilk varış zamanlarının kestirilmesinde sinyalin ilişki özelliklerinden yararlanmışlardır. McEvelly ve Majer (1982), Baer ve Kradolfer (1987), Gu vd. (1992), Earle ve Sharer (1994) uzun dönem enerjisinin kısa dönem enerjisine oranını ilk varış zamanlarının belirlenmesinde önemli olacağını göstermişlerdir. Bu yöntem mikrosismik ve telesismik çalışmalarında fazlaca kullanılır.

Uyumluluk ölçümü (Coherence measure) otomatik işaretlemeye diğer bir uygun düşüncedir. Peraldi ve Clement (1972) sismik olayların işaretlenmesinde çapraz ilişkiyi kullanmışlardır. Yung ve Ikelle (1997) sismik zamanların işaretlenmesinde geleneksel çapraz ilişki yerine bispektrum işlemine dayalı bir yöntem önermişlerdir. Sinyal işlemede yüksek mertebeden spektrum kullanmanın büyük avantajlarından biri Gaussian işlemleri için yüksek mertebeden spektrumların sıfırı eşit olmasıdır (Nikias ve Pan, 1987). Bu

nedenle çoğu sismik kaynak dalgacık Gaussian olmayan ve gürültüler de Gaussian olarak tanımlanır dolayısıyla gürültüler üçüncü mertebedeki ilişki işaretlerini bozmazlar.

Cochran (1973) istatistik teorisini kullanarak yaptığı çalışmada işaret biti görünüşüne dayalı bir teknik geliştirmiştir (bu hipotez test edilmektedir). Hansen vd. tarafından (1988) test edilen bu hipoteze dayanarak sismik olayların belirlenmesinde bir işaret süzgeci geliştirmişlerdir.

Bu alanda görüntü işleme teknikleri de kullanılmıştır ve bu denemeler yeni imkânlar sunmuştur. Nöral (Sinir) ağları, ilk varışların işaretlenmesinde Murat ve Rudman (1992), Kusumu ve Fish (1993) ve McCormack vd. (1993) tarafından kullanılmıştır. Bu tekniğin temeli bir sismik izin birçok farklı bölümden oluştuğu varsayımına dayanır. Sismik iz, varışların başarılı şekilde belirlenmesine kadar iteratif olarak belirli bir yineleme formülasyonu ile ağırlıklandırılmış değişim aralıklarıyla nöral ağlarla tanımlanır.

Sismik olayların tanımlanmasında kullanılan bir diğer yöntem karakter eşleştirme yöntemidir (Bois,1980; Liu ve Fu, 1982; Wu ve Nyland, 1987). Karakter eşleştirme yöntemi nöral ağ tekniği ile benzerlikler gösterir fakat bu yöntemde yorumcunun rolü daha etkindir ve eşleştirme sırasında seçilen transfer fonksiyonu yöntemin verimliliğini büyük oranda etkiler.

Sismik izler üzerinde ilk varışların belirlenmesinde fraktal analizin kullanılması Boschetti vd. (1996) tarafından sunulmuştur. Bu yöntem bir çalışma penceresi içindeki fraktal boyut değişimlerin ölçülmesi, ilk varışın öncesi ve sonrasındaki fraktal boyut değişiminin belirlenmesi temeline dayanır. Yöntem ilk varıştan ziyade ilk varıştan sonraki doruk veya çukuru işaretler. Yöntem S/N oranının düşük olduğu izlerde başarılı olacağını iddia etmektedir fakat hesaplama zamanı oldukça yüksektir.

Tu (1995) sismik olayların ayırt edilebilmesi için çarpımsal bir operatör sistemi oluşturmuştur. Ham sismik veri 2B'lu özel analizler ile belirgin özelliklerine göre sıralanır. Sıralanan olaylar, bulunması istenilen olayın özellikleri göz önüne alınarak bir elemeye tabi tutulur. Yöntemin detayları Tu (1995)'de bulunabilir.

Burada bahsedilen tüm ilk varış belirleme algoritmaları belirli bir S/N oranında başarılıdır. Bilinmelidir ki ilk varış belirleme algoritmalarının hiçbiri gürültünün mevcut ve baskın olduğu durumda iyi performans veremezler (Ivanov ve Miller, 2004).

Bu çalışmanın amacı gürültü veya gürültüsüz sismik kırılma verilerinde ilk varış zamanlarının yüksek doğruluk ve hassasiyetle yarı otomatik şekilde belirlenmesidir. Bu amaçla yapılan çalışmada bir sismik sinyal içindeki ilk varış zamanı doğru şekilde

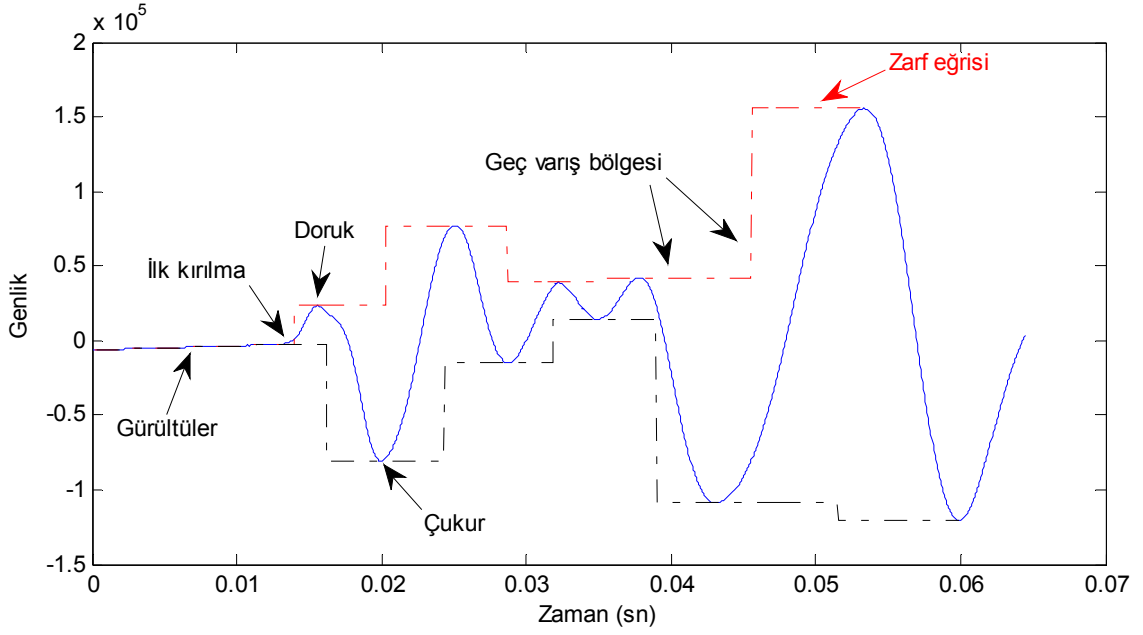
belirlenmeye ve çok sayıda sismik sinyalin analizi sırasında ilk varış işaretlemesi için kaybedilecek zaman, iş gücü olarak geri döndürülmeye çalışılacaktır. Çalışma sırasında sismik kırılma verileri içinden ilk varış zamanlarının belirlenmesi için sismik veri ile sismik veriyi oluşturan kaynak arasındaki ilişki fonksiyonu kullanılacaktır. Yöntem basit konvolüsyon modelleri, nispeten daha karmaşık olan dalga yayılım modeli ve saha verileri üzerinde uygulanacaktır. Yöntemin hassasiyeti ve ilk varış zamanlarındaki küçük değişimlerin sismik kırılma verilerinin değerlendirilmesindeki önemini vurgulamak için değişik iki profilden alınan sismik kırılma verilerinde hem el ile hem de ilişki yöntemi ile ilk varış işaretlemesi yapılacaktır. Elde edilen veri grupları değişik tekniklerle değerlendirilip, veri grupları arasındaki milisaniye mertebesindeki zaman farklarının tabaka hızları ve sınırlarında hangi değişimlere neden olduğu gösterilecektir.

1.2. İlk Varış Kavramı ve İşaretlenmesinde Kullanılan Kavramlar

1.2.1. Sismik Olaylar

Bir izi oluşturan tüm örnek değerleri sıraya dizildiğinde, yeni bir sismik enerji varışını gösteren her örneğe olay denir. Varış ise sismik kayıttaki olayların faz ya da genlik değişimlerinin görüldüğü olay olarak tanımlanır. İlk varış, sismolojide önemli bir yer tutmaktadır. 20. yüzyılın başlarında yapılan sismik çalışmalarda geç varışların tanımlanması ve okuması zor olduğu için çoğunlukla ilk varış zamanları kullanılmaktaydı fakat günümüz donanım ve teknolojileri ile birlikte hem ilk varışlar hem de geç varışlar daha net kayıt edilebilmektedir.

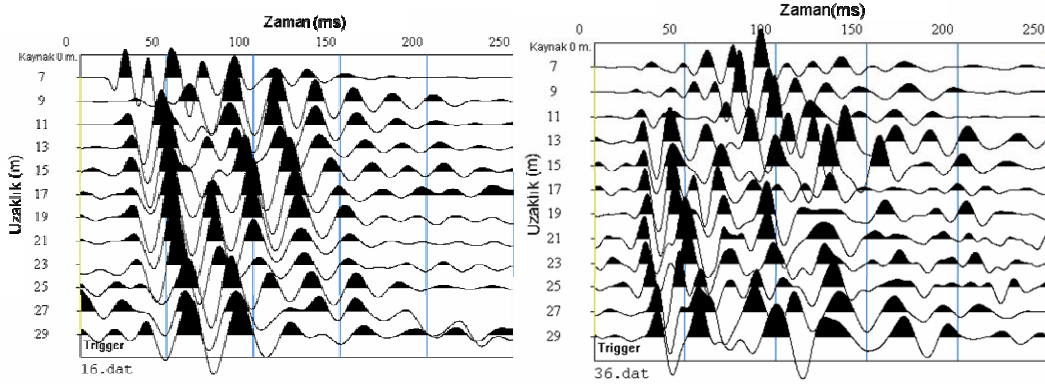
Bir sismik iz incelendiğinde değişik ölçüm noktalarında değişik olayların kayıt edildiği görülür. Bu olaylar, ilk varış, doruk/çukur noktaları ve sıfır kesim noktalarıdır (Şekil 1.1). İlk bakışta bu olayların işaretlenmesi kolay görülebilir, fakat bu işaretlemeyi bilgisayar üzerinde otomatik olarak yapmak güç bir olaydır. İşaretleme stratejilerinden bahsetmeden önce olay işaretleme sırasında karşılaşılabilecek sorunları detaylı incelemek faydalı olacaktır.



Şekil 1.1. Bir sismik kırılma sinyali içerisindeki farklı olaylar

1.2.2. İlk varışlar

İlk varış, (ilk kırılma, ilk vuruş, ilk yer değiştirme olarak da söylenebilir) bir sismogramda arkaplan (background) gürültüden sonra açık olarak değişimin görüldüğü ilk olay olarak tanımlanır (Douglas vd., 1997). Boschetti v.d. (1996) ilk varışı, sismik izde gürültünün tamamen bittiği ve sismik sinyalin başladığı an olarak tanımlamışlardır. Yapılan bu tanımlamalarda her zaman ani bir hareketten bahsedilir fakat varışlar bozulduğunda izde herhangi bir ani hareket görülmeyebilir (Hatherly, 1982) (Şekil 1.2). Bu tip durumlarda aynı dalga trenindeki geç çukur ve doruklar ilk kırılma zamanının belirlenmesinde kullanılabilir. Fakat yerkürenin yüksek frekansları soğurduğu göz önüne alınırsa, uzak alıcılarda, ilk kırılma ile geç zamanlardaki doruk-çukurlar arasındaki mesafe artabilir ayrıca geç varışlardaki doruk ve çukurlar birçok dalga fazının etkisi altında değişime uğrayabilir (Wilson, 2003).



Şekil 1.2. Bir arazi çalışmasında alınan sismik kırılma verilerinden iki örnek. Varışların gürültülerle kapandığı, ilk varışların ani bir hareket yaratmadığı görülmektedir.

İlk varış zamanı bu kadar önemli bir bilgi iken, belirlenmesindeki zorluklar kırılma yönteminin eksik yanını oluşturur. Çünkü çoğu kırılma değerlendirme tekniği ilk varış zamanı olmadan çalışmaz. Bu bilginin gürültülü, gürültüsüz her türlü ortamda elde edilmesi bu çalışmanın amacı içindedir. Çok sayıdaki veriden ilk varış zamanlarının elde edilmesi ihtiyacı, bu işlemi el yordamından daha hızlı ve daha doğru şekilde yapabilecek algoritmalar ihtiyacı doğurmuştur. Ancak istenilen bilginin, veri içerisinde çok küçük bir değer içine saklanmış olması, bu algoritmaların hazırlanışı sırasında bazı faktörlerin göz önünde bulundurulmasını gerektirir. Bunlar;

- İlk kırılma noktası çok küçük bir enerjiye sahiptir. Bunu anlamak için bir iğneciğin kaynaktan çıkıp karmaşık yer altı malzemesi boyunca hareket ettiğini, enerjisinin soğurulduğunu, paylaşıldığını ve farklı ortamlarda farklı hızlarla hareket ettiği düşünülse. Sonuçta, iğnecik bir dalga trenine dönüşecektir ve ilk varışın ön kenarı çok küçük bir enerjiye sahip olacaktır. Düşük S/N oranı olduğunda, bu düşük enerjili olay gürültü tarafından bastırılabilir (Li, 2000).
- Alınan kayıtlarda sıklıkla ilk varışın hangi bileşenden kaynaklandığından şüphelenilir. Kaynağa yakın bölgelerde bu sorun daha az görülse de, uzak alıcılarda varışın hava dalgasından veya yüzey dalgalarından (özellikle geniş açılımlarda) kaynaklanma olasılığı vardır (Wilson, 2003).
- Kaynaktan çıkan dalga cephelerinin ancak çok küçük bir bölümü hedef yüzeye ulaşır ve bu ulaşan dalga cephelerinden yine çok küçük bir bölümü alıcıların konumlandığı bölgelerde algılanır (Wilson, 2003).

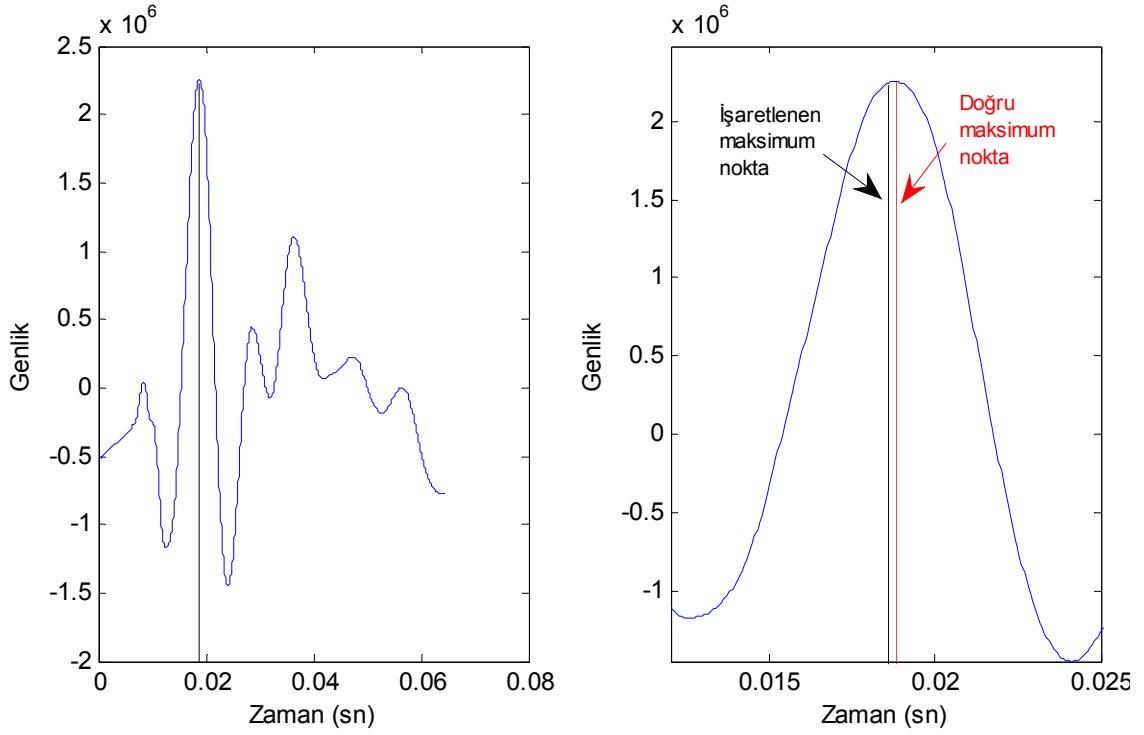
- Seyahat zamanları milisaniyenin onda biri hassasiyetle değişebilir. Bu nedenle değişik dalga fazlarının varışlarının ayrılması veya değişik yollardan seyahat eden dalgaların ayrılması çok küçük farklara bağlıdır (Wilson, 2003).
- İzden ize hem sinyalin hem de gürültünün genliği değişebilir. Bu nedenle bir izde işaretlenen faz diğer bir iz için tanımlayıcı olmayabilir.
- Malzeme değişkenliği (inhomojenite), dalga modları arasında enerji bölünmesi, dispersiyon, atenüasyon gibi etkenler verinin frekans görüntüsünde ilk kırılma olayının görülmesini zorlaştırır.
- Sabit frekanslı dış gürültüler (elektrik hatları, v.b) ilk varış ile girişim oluşturabilirler. Ayrıca mikrosismik gürültüler de veriyi etkiler.
- Her kayıt sisteminin tepkisi farklıdır (kaynak fonksiyonu). Zayıf zeminlerdeki yerel (lokal) malzeme değişimleri alıcıların ve atışların tepkilerini değiştirebilir.
- Ön süzgeçler (atış sırasında kullanılan süzgeçler) sinyalleri bozar (Douglas vd., 1997). Nedensel olmayan süzgeçler ilk varış olmayan erken varışları güçlendirir, ilk varış zamanlarını erken zamanlara kaydırabilir.
- Bir kanal üzerindeki iz genliğinin fazla olması, diğer bir kanalda girişim oluşturabilir veya bir kanaldaki zayıf genliğin görülmesi için genlik artırımı yapılması ilk varış olmayan erken varışların genliğini artırır dolayısıyla bu tip durumlar hatalı işaretlemelere neden olabilir.
- Bir sinyalde, değişik zaman örnekleme değerlerinde farklı ilk varış zamanları okunabilir (Li, 2000).

Sonuç olarak, ilk varışların kenarları genellikle zayıf ve yapı olarak profil boyunca değişkenlik gösterebilir bu nedenle bunların belirlenmesi zordur.

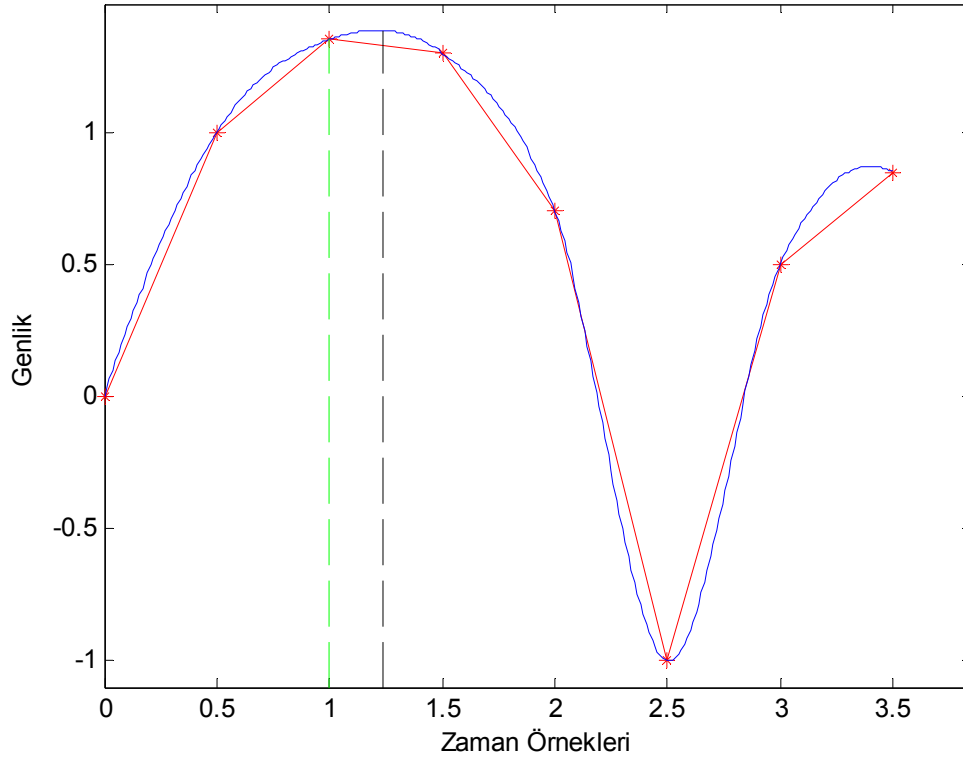
1.2.3. Doruk ve Çukur Kavramı

Bir sismik kırılma verisi üzerinde maksimum (doruk) veya minimum (çukur) değerlerin el ile işaretlenmesi kolay bir işlem olarak görülebilir. Bilgisayar ekranında ise tek ihtiyaç olan fare imleci ile doruk veya çukurun pozisyonunu belirlenen yere tıklamaktır. Fakat bununla beraber, doruk noktasına daha yakından, daha yüksek çözünürlükle bakıldığında doruk noktasının düz olduğu görülür. Şekil 1.3'de iki farklı çözünürlükte doruk noktasının işaretlenmesini göstermektedir. Sağ taraftaki yakınlaştırılmış görüntüde düşey bir çizgi ile işaretlenen doruk noktası görülmektedir.

Ancak bu bölgeye yakından bakıldığında işaretlenen doruk noktasının doğru olmadığını ve çizginin biraz daha uzatılarak sağ tarafa kaydırılması gerektiği görülür. Ayrıca, doruğun işaretlemesini yakınlaştırılmış görüntü üzerinde yapılırsa bile, yapılacak işaretleme verinin örnekleme aralığı ile sınırlandırılmıştır. Bu durum Şekil 1.4’de gösterilmiştir. Eğer kübik interpolasyon ile örnekleme aralığının artırılması sonucunda doğru doruk noktası işaretlemesi oluşturulursa (Şekil 1.4 siyah kesik çizgi), gözle yapılan işaretlemeden (Şekil 1.4 yeşil kesik çizgi) daha doğru bir sonuca ulaşılmış olur. Burada yapılan alt örnekleme işlemi çukur noktasının belirlenmesinde de doğruluğu arttıracaktır.



Şekil 1.3. Bir veride maksimum noktanın işaretlenmesi



Şekil 1.4. Doruk noktasının örnekleme aralığı ile değişimi. Yeşil kesik çizgi konumu (1, 1.35), siyah kesik çizgi konumu (1.24, 1.39).

1.3. Sismik Kırılma Çalışmalarında İlk Varış Okumasını Etkileyen Faktörler

1.3.1. Kaynak ve Saha Parametreleri

Sismik kırılma yöntemi en eski jeofizik yöntemlerden biri olmasına rağmen halen daha tam bir uygulama rehberi oluşturulamamıştır. Deneyimli bir jeofizikçi bile çoğu durumda hata yapabilmektedir. Sismik kırılma çalışmaları seyahat zaman verilerinin doğruluğunun artırılması ile daha güvenilir bir yöntem olabilir (Leung, 2003). Palmer (2007)'a göre sismik kırılmaya uygulanan sinyal işleme teknikleri, mühendislik amaçlı kullanılan yüzey sismik kırılma yöntemi için gelecek vaat etmektedir.

Veri toplamadaki ilk tuzak-tehlike toplanan sismik verinin, yöntem seçimlerinin ve değişik çalışma koşullarının etkilerinin göz önünde bulundurulmadan, yerin tam-eksiksiz bir temsili olduğunu düşünmektir. Diğer önemli bir eksik, verinin nasıl alındığının bilinmemesi ya da bu konu hakkında az bilgi olmasıdır. Kullanılan kaynak, alıcı serimi ve çalışma alanına göre doğrultusu, amaçlanan veri toplama düzeneği ve çalışma sahasında

alınan düzenek gibi soruların toplanan veriye etki etmediğini düşünmek bir verinin değerlendirilmesinde en büyük hatadır (Monk, 1999).

Sismik tekniklerin mühendislik açısından kullanılabilirliğinin artmasıyla birlikte sismik kaynakların geliştirilmesinin önemi artmıştır (Pullan ve MacAulay, 1987). Miller v.d (1992)'e göre bir sismik çalışmada en önemli kilit nokta kaynak seçimidir ve kaynak seçimindeki en önemli faktör, jeolojik hedefi görüntülemek için yeterli enerjiyi üretmesidir. Keiswetter (1992)'e göre kaynak seçiminde, hedef derinlik, arzu edilen çözünürlük, kullanılacak donanımın bolluğu, maliyet / zaman performansı, çalışma alan topografyası, hedef jeoloji yapısı, frekans ve enerji içeriği, yenilenebilirlik, hasarsızlık parametreleri önemlidir.

Kaynaktan çıkan bir sismik dalgacığın yeraltında hareketi boyunca maruz kaldığı birçok faktör vardır (Şekil 1.5). Bunlardan en önemlileri;

- Geometrik (küresel) açılım
- Soğurma
- Kırılma ve yansıma katsayıları
- Saçılmalar
- Alıcı tepkisi'dir.



Şekil 1.5. Kaynaktan çıkan bir sismik dalgacığın, yeraltındaki hareketi boyunca maruz kaldığı faktörler (Reynold, 1997' den değiştirilerek alınmıştır).

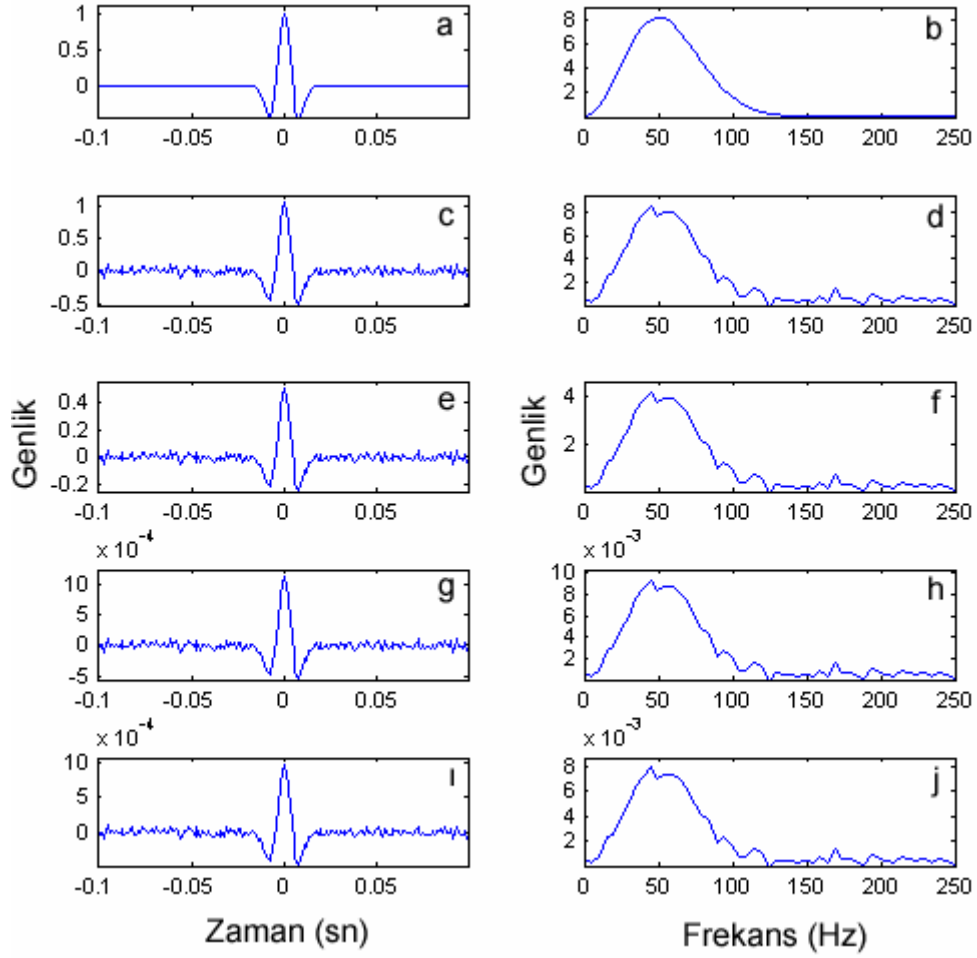
Bu faktörlerden küresel açılım ve kırılma-yansıma katsayıları faktörleri dalganın genliğini etkilerken, soğurma faktörü dalganın frekans içeriğini etkiler. Ancak kısa ofsetli çalışmalarda bir kaynak dalgacığın yol aldığı mesafe kısa olduğu için soğurma faktöründen ziyade geometrik açılım, yer altında maruz kaldığı mod dönüşümleri, sınır da enerji

paylaşımları, saçılmalar, tabaka sınırlarındaki düzensizlikler gibi faktörlerden kaynaklanan enerji kayıpları daha ön plana çıkmaktadır.

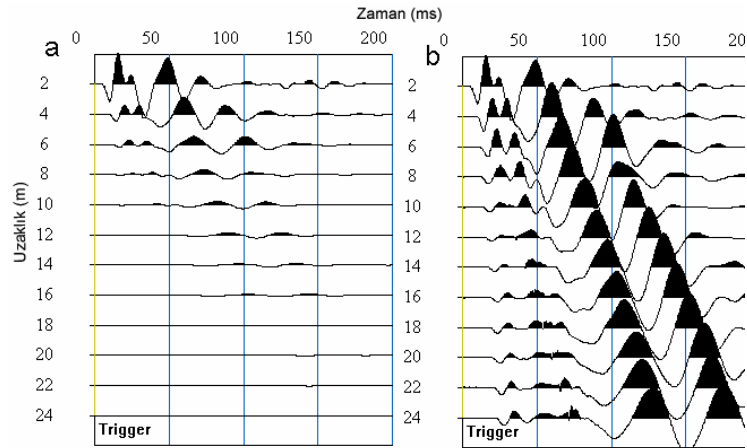
Küresel açılma, soğurma ve kırılma-yansıma katsayılarının etkisini modellemek için yapılan çalışma sonuçları Şekil 1.6'da gösterilmiştir. Şekil 1.6'da, kaynaktan çıkan sıfır fazlı, 50 Hz'lik sıfır fazlı bir Ricker dalgacığının, 12 alıcılı, ilk ofseti 2 m., alıcı aralığı 2 m. olan bir profil üzerinde kritik uzaklığa göre hesaplanan direk ve kırılarak gelen dalgaların homojen, izotrop ortamdaki, genlik ve frekans içeriğindeki değişimi incelenmiştir. Şekil 1.6'da oluşturulan Ricker dalgacığı zaman ortamı denklemi Denklem (1.1)'de verilmiştir. Denklem (1.1)'de; A genlik, f frekans, t zaman olarak tanımlanmıştır. Şekil 1.6'da; Ricker dalgacığı ve genlik spektrumu (Şekil 1.6a ve b), dalgacığa %8 rastgele gürültü eklenmiş hali ve genlik spektrumu (Şekil 1.6c ve d), kırılma katsayısı faktörü etkisinden sonra dalgacığın aldığı şekil ve genlik spektrumu (Şekil 1.6e ve f), geometrik faktör etkisinden sonra olduğu şekil ve genlik spektrumu (Şekil 1.6g ve h), soğurma faktörü etkisinden sonra aldığı şekil ve genlik spektrumu (Şekil 1.6i ve j) görülebilir. Yapılan modelleme sonucunda model dalgacığın alıcılara gelene kadar en büyük değişimi genlik parametresinde geçirdiği, frekans içeriğindeki kayıp ya da bozulmanın çok küçük olduğu görülmüştür. Burada kayıt edilen sismik sinyalin genlik bilgisinin kaynak dalgacığın hâkim frekanstaki genliği ile orantılı olduğu açıktır. Dolayısıyla arazi kayıtları sırasında üretilen kaynak dalgacığın genliği ne kadar büyükse kayıt edeceğimiz sinyalinde genlik bilgisi o kadar büyük olacak ve genlik bozucu etkenlerden etkilenmesi sonucunda dahi bize gerekli bilgiyi taşıyacaktır. Buradan da anlaşılacağı gibi bir kaynağın en önemli özelliği genlik, enerji ve frekans içeriğidir (Miller ve diğ., 1986).

$$R(t) = A * 2\pi^2 f^2 t^2 * e^{-\pi^2 t^2 f^2} \quad (1.1)$$

Şekil 1.7'de arazide kaydedilen bir sismik kırılma verisine yapılan iki farklı normalizasyon örneği görülmektedir. Şekil 1.7a'da verinin mutlak maksimum değerine göre yapılan normalizasyon görülmektedir. Yapılan normalizasyon sonrasında son alıcılardaki genlik bilgisinin ilk alıcılara göre gözle görülmeyecek küçük olduğu açıktır. Şekil 1.7b'de ise her alıcıda iz kendi mutlak maksimum değerine göre normalize edilmiştir. Dolayısıyla her normalleştirme işlemi birbirinden farklı olacaktır. Bu şekilde, bir alıcıdaki yüksek genliğin diğer alıcıdaki genliği bastırması engellenebilir.



Şekil 1.6. 50 Hz'lik, 1 genlikli, sıfır fazlı bir Ricker dalgacığının, 12 alıcılı, ilk ofseti 2 m., alıcı aralığı 2 m. olan bir profil üzerinde kritik uzaklığa göre hesaplanan direk ve kırılarak gelen dalgaların homojen, izotrop ortamdaki, genlik ve frekans içeriğindeki değişimi



Şekil 1.7. Arazide alınan bir sismik kırılma verisine uygulanan iki farklı normalizasyon örneği.

Genliğe etki eden faktörler tam olarak anlaşıldığında, veri içerisindeki genlik değişimlerinin jeolojik değişikliklere yorumlanması daha güvenilir olur. Tüm bu faktörlerin sayısal büyüklükleri kestirilebilir ve etkileri veriden giderilebilir. Fakat unutmamak gerekir ki, bu büyüklükler alıcıdan alıcıya, atıştan atışa değişebilir ve hiçbir zaman tam-mutlak veri genlikleri elde edilemez (Henry, 2004).

Saha çalışmalarında kullanılan ekipmanlar ve ekipmanlara ait parametreler sinyal kalitesini direkt olarak etkiler. Örneğin mühendislik çalışmalarında sıkça kullanılan balyoz kaynak için önemli parametreler, ağırlığı, sap uzunluğu ve vuruş hızıdır veya sismik yansıma çalışmalarında daha fazla tercih edilen vibro kaynaklar için önemli parametreler ise, frekans aralıkları ve sinyal uzunluğudur.

Sığ ve mühendislik amaçlı yapılan global sismik çalışmaların büyük bir kısmında kaynak olarak balyoz kullanılmaktadır. Balyoz ve çelik levha, ucuz, taşınabilir ve hasarsız olduğundan dolayı uzun zamandır tercih edilen bir kaynaktır (Pullan ve MacAulay, 1987). Van der Venn vd. (2000) lokal jeolojik değişimlerin verinin karakteristiğini değiştirebileceğini fakat 10-100 m. için balyoz kaynağın yüksek çözünürlük sunduğunu, 100-250 m. arasında ise kabul edilebilir bir çözünürlük elde edildiğini göstermişlerdir. Ayrıca araştırmacılar vibro kaynakların kullanım ve taşıma maliyetleri göz önüne alındığında sığ sismik araştırma çalışmalarında balyozu en etkin kaynak olarak göstermişlerdir. Tabii bunun yanı sıra bazı özel jeolojik ortamlar için bazı kaynaklar diğerlerinden daha yüksek enerji oluşturabilir (Miller vd., 1992).

Genel olarak balyoz kaynağın kullanıldığı bir sismik saha çalışmasında göz önünde bulundurulması gereken kaynak-saha parametreleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- 1) Jeofon sayısı, aralıkları ve hakim frekansı
- 2) Atış sayısı ve aralıkları
- 3) Toplam profil boyu
- 4) Balyoz ağırlığı, hızı ve sap uzunluğu (Whiteley ve Eccleston, 2006)
- 5) Levha yüzey genişliği, ağırlığı (Whiteley ve Eccleston, 2006)
- 6) Kayıtçının dinamik kayıt aralığı (A_{max}/A_{min})

Burada 1-3 arasındaki parametreler hedef derinliğe, hedefin karmaşıklığına ve yapılan çalışmanın hassaslığına bağlıdır ve alınan sinyalin içeriğine etkilerinden çok yapılan değerlendirmelerin hassasiyetini etkilerler. 4-6 arasındaki parametreler doğrudan toplanan sinyalin frekans ve genlik içeriğini etkilerler. Kayıtçının dinamik kayıt aralığı kaynak ve jeofonlarla uyumlu olmalıdır, göz ardı edilmemesi gereken diğer önemli bir

parametre de kayıtçı ve alıcı tepki fonksiyonlarıdır. Aynı çalışma alanında farklı alıcı ve kayıtçılarla yapılan çalışmalar da alınan sinyalin genlik ve frekans içerikleri farklı olacaktır. Çünkü her alıcı ve kayıtçı farklı tepki fonksiyonlarına sahip olabilirler. Whiteley ve Eccleston (2006) yaptıkları çalışmada balyoz için en önemli parametreleri balyoz ağırlığı, hızı ve sap uzunluğu, levha için ise yüzey genişliği ve ağırlığı olduğunu belirlemişlerdir. Bunlardan vuruş hızı ve levha ağırlığının belirgin fark yaratmadığını, ancak levha yüzeyi ve balyoz ağırlığı arttıkça S/N oranının arttığını gözlemlemişlerdir. En iyi S/N oranını ise büyük levha alanı, düşük levha ağırlığı ve ağır balyoz ile elde ettiklerini, ana vuruştan önce levha-zemin kontağının güçlendirilmesi için birkaç küçük vuruş yapılmasının S/N oranını önemli derecede yükselttiğini söylemişlerdir.

1.3.2. Süzgeçler

Sinyal işleme, mevcut veriden daha fazla bilgi elde etmenin ve veriyi verimli kullanmanın önemli bir yoludur (Palmer, 2001). Bir sismik çalışmanın güvenilirliği yüksek oranda kayıtların kalitesine bağlıdır.

Bir sismik kayıta bilgi edinilmek istenilen her olay sinyal, diğer bütün olaylar ise gürültü olarak adlandırılır. Bir sinyal uyumlu ya da uyumsuz (ayrık, rastgele) gürültüler barındırabilir. Sismik kırılma çalışmalarında kayıtları etkileyen gürültüler genellikle uyumsuz gürültülerdir. Uyumsuz gürültülerin kaynakları genellikle yakın yüzeydeki düzensizlikler ve formasyonlar içerisindeki iri moloz parçalardan kaynaklanan saçılmalardır (Talagapu, 2005). Uyumsuz gürültülerin belirli bir görüntüleri yoktur (Whitley ve Cogswell, 1997) ve izden ize kestirilemezler, uyumlu gürültüler ise birbirini takip eden izlerde takip edilebilir (Telford vd., 1990). Ayrıca ilk varış enerjilerini bastıran geç varışlar da gürültü kabul edilebilir (Wiley, 2003).

Sismik kırılma verileri de, diğer tüm jeofizik yöntemlerden elde edilen veriler gibi gürültü içerebilir. Gürültülü bir veriyi daha anlaşılır bir hale getirmek için akla gelen ilk işlem süzgeçleme işlemidir. Fakat ilk varışların genliklerinin kenarları (ilk kırılma anı) genellikle zayıf ve yapı olarak profil boyunca değişkenlik gösterebilir bu nedenle sismik kırılma verilerine süzgeç uygulaması zor ve meşakkatli bir iştir.

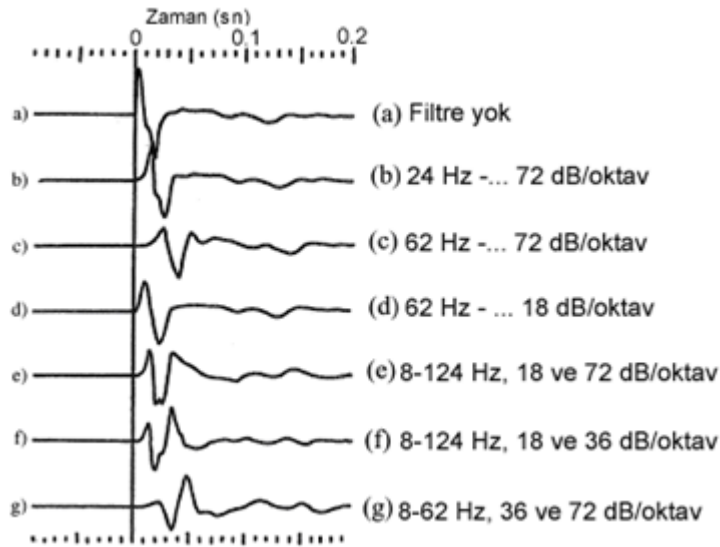
Şekil 1.8'de farklı süzgeç bant aralıklarının ve süzgeç eğimlerinin bir iğnecik sinyali üzerindeki karakteristik etkileri gösterilmiştir. Bu etkiler; zaman gecikmesi, görünür polarite değişimi ve salınım artışı olarak sıralanabilir. Genel olarak ifade edilirse,

bir dalgacıktan düşük frekanslı olayların kesilmesi dalgacığı ilk halinden daha salınımlı bir hale getirir ve enerjiyi geç zamanlara öter. Bu yan salınımlar bazı durumlarda ana salınımdan daha güçlü olabilirler. Yüksek frekanslı olaylar kesildiğinde ise dalgacık her hangi bir salınım göstermeden uzar yani enerjisi yayılır ve iğnecik yapıdan uzaklaşır. Süzgeç eğimi arttırıldığında ise, enerji dalgacığın geç zamanlarına ötelenir ve dalgacık şeklindeki değişimler, ilk çukur genlik değerinin ilk doruk genlik değerine oranının azaldığının bir kanıtı olarak ortaya çıkar. Bu oranın değişimi polarite değişimlerine de neden olabilir (Geldart ve Sheriff, 2004).



Şekil 1.8. Farklı süzgeç bant aralıklarının ve süzgeç eğimlerinin bir iğnecik sinyal üzerindeki karakteristik etkileri (Geldart ve Sheriff, 2004' den değiştirilerek alınmıştır)

Şekil 1.9'da ise bir kırılma sinyaline uygulanan süzgeçler ve bu süzgeçlerin ilk varış zamanına etkileri gösterilmektedir.



Şekil 1.9. Bir kırılma sinyaline uygulanan farklı süzgeçler ve bu süzgeçlerin ilk varış zamanlarına etkileri (Geldart ve Sheriff, 2004' den değiştirilerek alınmıştır)

Şekil 1.9'dan çıkarılacak bazı sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

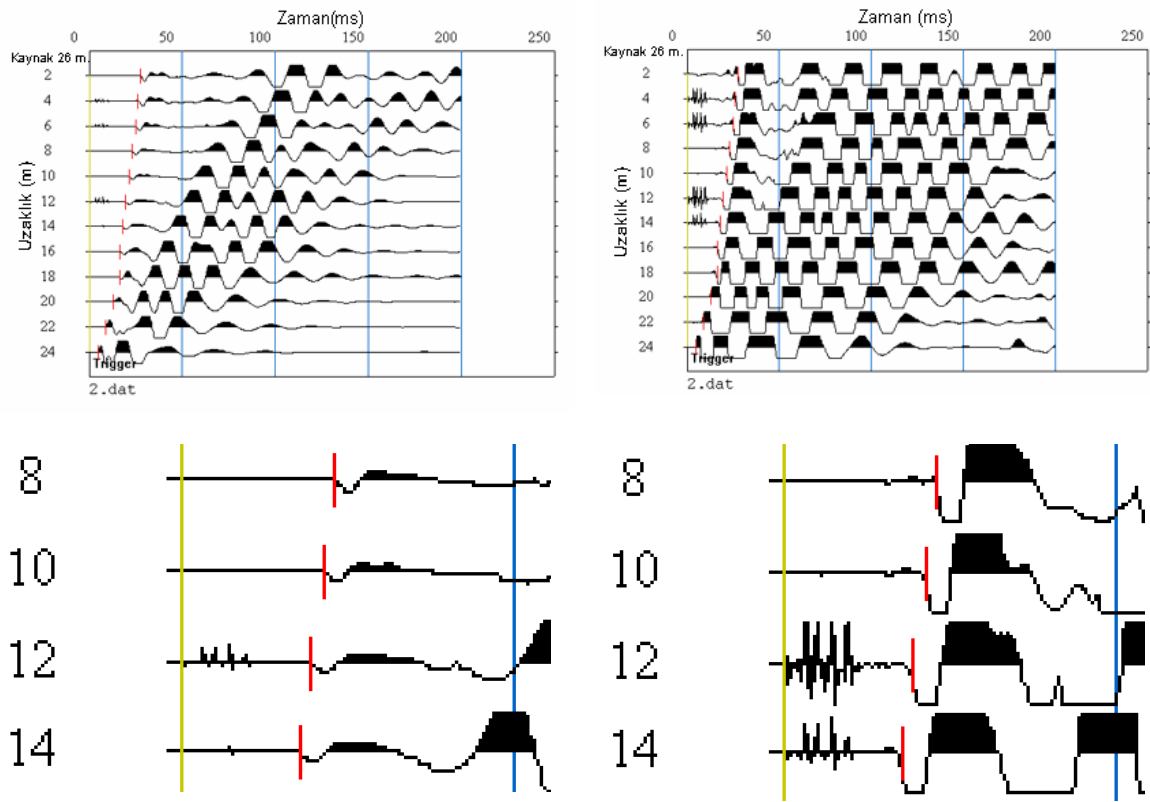
- Yüksek frekans kesme değerinin artmasıyla zaman gecikmesi artmıştır (Şekil 1.9b ve c)
- Aynı kesme frekansına sahip süzgeçlerde, süzgeç eğimi arttığında zaman gecikmesi artar (Şekil 1.9c ve d)
- Aynı kesme frekanslarına sahip süzgeçlerde, yüksek frekans kesme bölgesi eğimi değiştiğinde dalga şekli değişir fakat gecikme zamanı etkisi azdır (Şekil 1.9e ve f). Aynı etki küçük farklılıklarla düşük frekans kesim bölgesi içinde geçerlidir (Şekil 1.9c ve g)
- Bant genişliği daraldıkça ilk olayın işaretlenebilirliği zorlaşmakta, hata yapma oranı artmaktadır (Geldart ve Sheriff, 2004).

Görüldüğü gibi sismik kırılma verilerine uygulanan süzgeçler, ilk varış dalga formunda ve zamanında çok önemli değişiklikler yapmaktadır. İlk varış zamanları çok küçük bir enerjiye sahip oldukları için, bu enerjide meydana gelecek küçük bir bozulma, hatalı varış okumalarını beraberinde getirir. Özellikle mühendislik amaçlı, kısa açılımlı, balyoz kaynak kullanılan çalışmalarda dalga formları frekans ortamında tam ayırt edilemediğinden ve olaylar birbirinin içine girdiğinden uygulanacak süzgecin frekans bant seçimi çok zordur. Bu nedenle süzgeçler, kırılma verilerine yansıma verilerindeki gibi rahat ve kolay uygulanamaz.

1.4. İlk Varışların El ile (Manuel Olarak) İşaretlenmesi

İnsan gözü bir verideki ana kaynağı her zaman belirleyemez, fakat gerektiğinde gürültülü bir veriden gerekli bilgiyi çıkarmak için süzgeç uygular. Tecrübeli bir yorumcu el ile işaretleme yaparken, işaret konumuna karar vermede sismik dalganın genliğini, faz şeklini ve komşu izle ile olan ilişkisini temel alır. Gürültü, veride baskın ise işaretleme zorlaşır ve ardı sıra olan izlerin uyumluluğu büyük önem kazanır. Tecrübeli bir yorumcu için el ile işaretleme güvenilir olabilir fakat zaman alıcı, yorucu ve işlemi yapan kişinin bilgilerine bağlıdır. İşaretleme sırasında yapılan kestirimler; verinin S/N oranına, analizcinin deneyimi ve dalga yayılımını anlamasına, çalışılan problem hakkındaki ön bilgisine, göz kestirim kabiliyetine, verinin görüntüleme oranına, ölçeğine ve kalitesine bağlıdır.

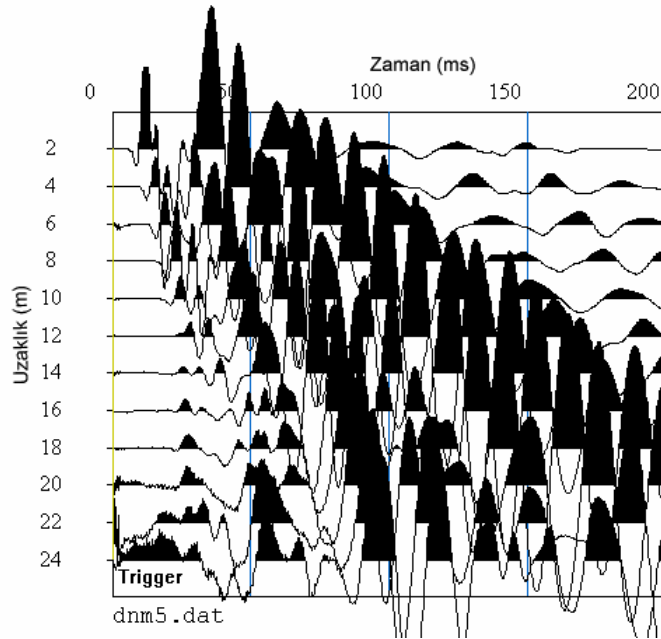
Verinin görüntüleme oranı önem verilmeyecek bir faktör değildir. İlk varış zamanlarının okunmasındaki hassasiyeti doğrudan etkiler (Douglas vd., 1997). Şekil 1.10'da bir verinin değişik görüntüleme oranlarındaki işaretleme durumunu göstermektedir. Şekil 1.10'dan açıkça görülmektedir ki, normal görüntüleme oranında yapılan ilk varış işaretlemesi, verinin gerçek ilk kırılma zamanından daha geç zamanı göstermektedir. Gürültünün daha baskın olduğu durumlar düşünüldüğünde ise, ilk varış noktasının belirlenmesindeki hatalar artacağından el ile yapılan işaretlemelerde verinin görüntülenme yönteminin önemi artar.



Şekil 1.10. İki farklı saha verisinin değişik genlik oranlarında yapılan işaretlemeleri. Genlik oranlarının yükseltilmesi ile ilk varış zamanlarının daha erken zamanlara kaydığı görülmektedir.

El ile işaretleme diğer bir önemli faktör verinin gürültü içeriğidir. Sismik kırılma verilerinde ilk varış zamanını taşıyan örnekleme değeri veriye göre çok küçüktür. t sn. uzunluğundaki 1000 adet örnekli bir sinyalde ilk varış bilgisini taşıyan dt zaman örnekleme değeri veri içerisinde çok küçük bir yer kaplar. Dolayısıyla gürültü oranından fazlaca etkilenir. Gürültülü verilerde genellikle ana genlikler bastırılır ya da dalga şekilleri

bozular. Özellikle kaynaktan uzaklaştıkça ilk varış olaylarını taşıyan genlikleri belirgin şekilde kaybolabilir. Dolayısıyla temiz bir veride bile bir görüntüleme, örnekleme aralığı gibi faktörlere bağlı olan ilk varış belirleme işlemi daha da zorlaşır. Gürültülü verilerde el ile işaretlemeye eğer ilk varış zamanı gözlenmiyorsa, kaynağa yakın bölgelerde işaretlenen ilk varışlar ya da ilk varış bilgisini taşıyan ana olaylar takip edilmeye çalışılır. Bu tip bir işaretlemeye her alıcı bağımsız değerlendirilemeyeceğinden yanal duyarlılık düşecektir. Şekil 1.11’ deki sismik kırılma verisinde ilk beş alıcı iyi bir ilk varış işaretlemesi yapılabilecek durumdadır. Ancak diğer alıcılarda gürültü faktörü ön plandadır. Son üç alıcıda herhangi bir zaman okuması neredeyse imkânsızdır.



Şekil 1.11. Bir arazi çalışmasından alınan 12 kanallı sismik kırılma verisi.

1.5. İlk Varışların Yarı Otomatik İşaretlenmesi

Sismik veriler üzerinde el ile yapılan işaretlemeler birçok faktöre bağlı olduğu gibi veri sayısının fazla olduğu durumlarda da zaman kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle hem yapılan işaretlemelerin hassasiyetinin artırılması hem de zamandan kazanılması için bilgisayarlar yardımıyla otomatik/yarı otomatik işaretleme teknikleri geliştirilmiştir. Geliştirilen tekniklerin büyük çoğunluğu bir kullanıcı ihtiyacı duyduğundan yarı otomatik olarak nitelendirilirler.

Otomatik işaretleme, genelde insan işaretleme mantığını taklit edecek şekilde tasarlanır. Eğer veri sayısı çok fazlaysa otomatik işaretleme, el ile işaretlemeden daha çok tercih edilen bir işlemdir. Birçok otomatik işaretleme yöntemi özellikle bu amaçla tasarlanır ve geliştirilir. Burada gözden kaçırılmaması gereken nokta, bilgisayarlar kendi başlarına karar veremezler ancak kullanıcıların ayarladıkları kısıtlara göre değerlendirme yaparlar.

1.5.1. Yarı Otomatik İşaretlemede İlişki İşlemi ve İlişki İşleminin Esasları

Genel olarak ilişki, fonksiyonların birbiriyle olan benzerliklerinin, bir zaman kayması fonksiyonuna göre kestirimidir. İlişki aranan iki fonksiyon farklı ise bu işlem çapraz ilişki, eğer bir fonksiyonun kendisi ile olan benzerliğini araştırılıyorsa bu işlem öz ilişki adını alır. Çapraz ilişki işleminde iki bağımsız değişkenin (x_1, x_2 gibi) veya bir bağımsız değişken ile bağımlı değişkenin ($y(x)$, x gibi) benzerlikleri araştırılabilir. Öz ilişki işleminde ise bir fonksiyon içinde kendini tekrar eden olaylar veya fonksiyonu oluşturulan kaynak araştırılır. Bu özelliği ile sismik yansıma çalışmalarında tekrarlı yansımaların ortadan kaldırılmasında, modelleme çalışmalarında ve dekonvolüsyon yöntemlerinde önemli yer sahibidir.

1.5.1.1. Çapraz İlişki

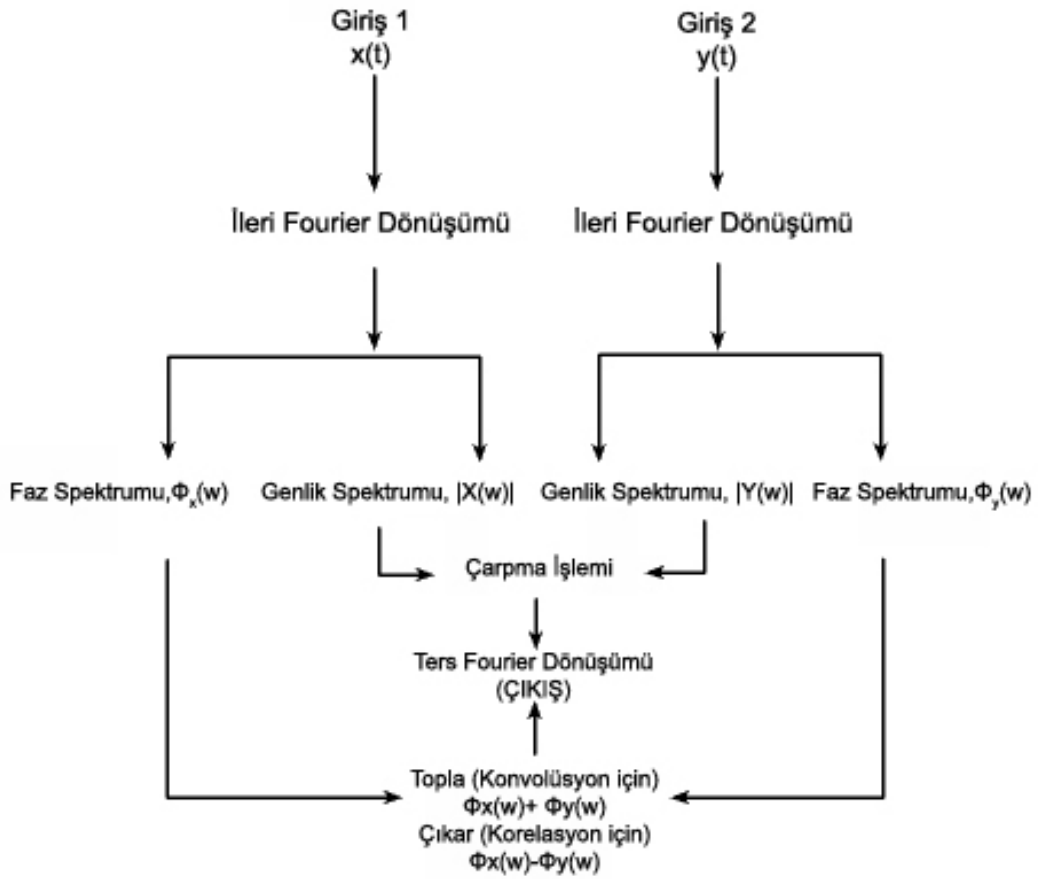
Bir zaman serisinin diğer bir zaman serisine benzerliğinin veya bağımsızlığının ölçüsünü, τ zaman kayması (gecikme-lag) değerinin fonksiyonu olarak ölçüsünü temsil eden işleme çapraz ilişki denir. Zamanın fonksiyonu olan $x(t)$ ve $y(t)$ gibi iki farklı fonksiyonun çapraz ilişkisi $R_{xy}(\tau)$ ile gösterilir ve aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$R_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)y(t+\tau)dt \text{ veya } R_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t-\tau)y(t)dt \quad (1.2)$$

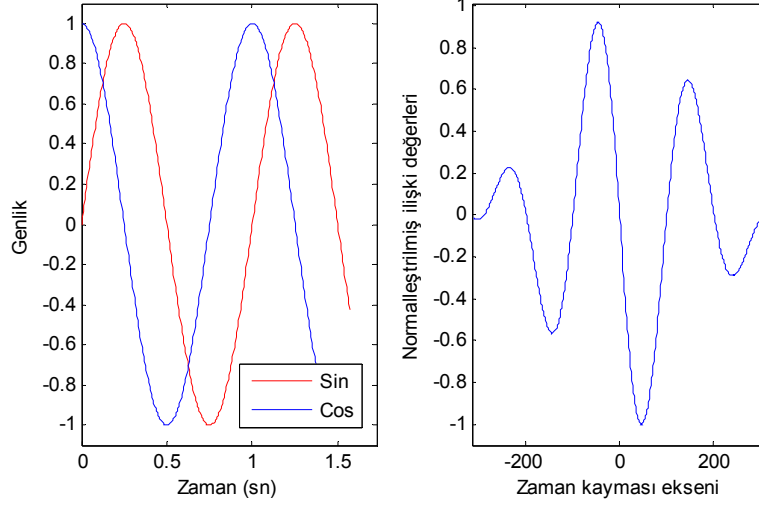
Burada $x(t)$ fonksiyonuna bilgi, $y(t)$ fonksiyonuna işlemci denir. İlişki işleminde bilgi fonksiyonu sabit tutulurken, işlemci fonksiyonu her işlemde τ kadar kaydırılır. Buradaki işlem konvolüsyon ile aynıdır. Fakat konvolüsyon işleminde başlangıçta her iki

$$Z(w) = x_g(w)y_g(w) \cdot e^{i(\varphi_x(w)-\varphi_y(w))} \quad (1.6)$$

Denklem (1.6) dan anlaşılacağı gibi çapraz ilişki işlemi frekans ortamında, fonksiyonların genlik spektrumlarının çarpılıp, faz bilgilerinin birbirinden çıkarılması işlemidir (Şekil 1.13). Şekil 1.14’de bir kosinüs fonksiyonu ile bir sinüs fonksiyonunun çapraz ilişki işlemi sonucu grafiklenmiştir. İlişki işleminde kosinüs fonksiyonu bilgi, sinüs fonksiyonu işlemci görevi görmüştür. Normalleştirilmiş ilişki değerlerine bakıldığında, pozitif ve negatif maksimum değerlerin elde edildiği noktaların, fonksiyonların negatif veya pozitif maksimum genlik değerlerinin üst üste geldiği noktalar olduğu görülmektedir.

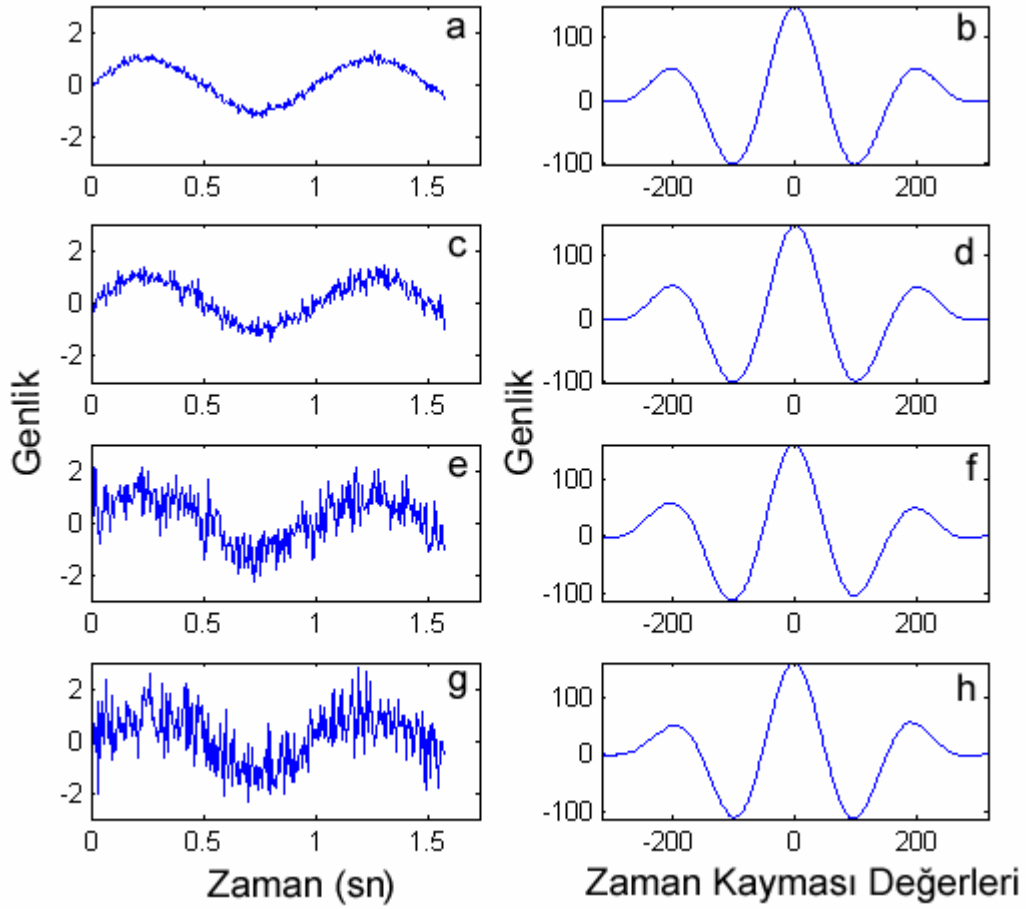


Şekil 1.13. İlişki ve konvolüsyon işleminin frekans ortamındaki şematik gösterimi.



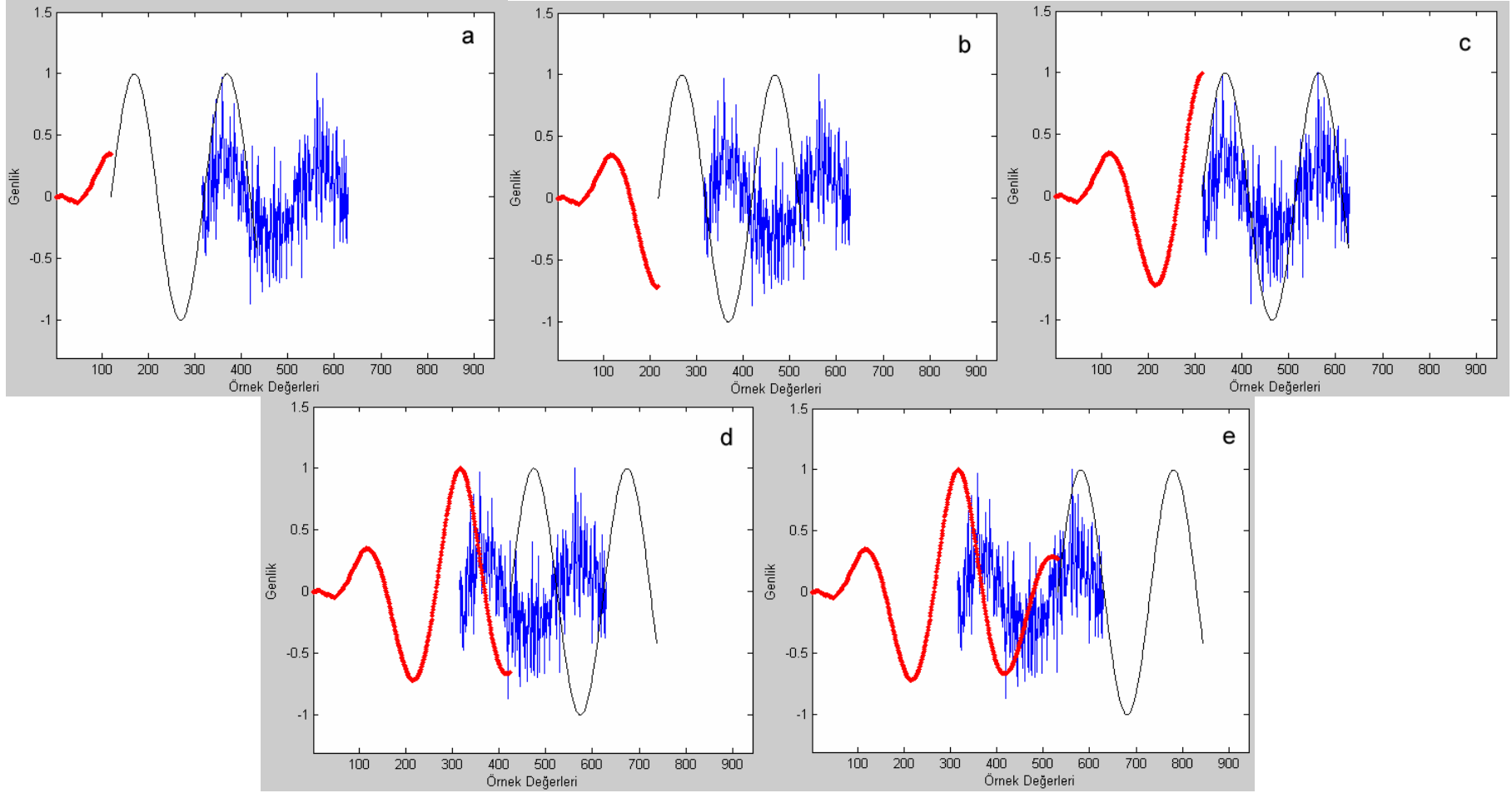
Şekil 1.14. Bir sinüs ve kosinüs fonksiyonunun çapraz ilişki işlemi sonucu. Burada kosinüs fonksiyonu bilgi, sinüs fonksiyonu işlemci görevi görmüştür.

Bu çalışmada çapraz ilişki işlemi, kırılma verisi içerisinde ilk kırılma zamanlarının aranması ve bulunan zaman değerlerinde maksimum belirti elde etmek için kullanılmıştır. Sismik modelleme çalışmalarında yapay sismogram bir yansım-kırılma katsayı serisinin bir kaynak dalgacık ile konvolüsyonu biçiminde oluşturulur. Yani veri, kaynağını içinde barındırır. Bu durumda kaynak dalga formu yansım-kırılma serisinin genliklerine ve yerlerine göre şekil alır ve yapay sismogram oluşur. Saha çalışmalarında ise değişen şartlar; yerkürenin soğurma etkisi, düzenli veya düzensiz gürültüler gibi etkenlerdir. Fakat yine kaynak elde edilen kayıttın içindedir. Belirlenen dış etkenlerden dolayı dalganın formu ve/veya frekans içeriği değişmiş olabilir bu nedenle kaynak dalganın veri içerisinde bulunması zorlaşır. Şekil 1.15’de bir Sinüs dalgasına farklı oranlarda rastgele gürültü eklenmesi ile elde edilen dalgalar içinde kendisini oluşturan sinüs dalgasının aranması gösterilmiştir. Şekil 1.15’de gürültü oranının artmasıyla çapraz ilişki işlemi sonucunun değişmediği görülmektedir. Şekil 1.16’da ise % 80 rastgele gürültü eklenmiş bir sinüs dalgası (mavi renkte çizdirilen dalga) ile bu dalgayı oluşturan sinüs dalgasının (siyah renkte çizdirilen dalga) çapraz ilişki işlemi sonuçları (kırmızı renkte çizdirilen değerler) adım adım gösterilmiştir. Şekil 1.16a’ da gürültülü dalga ile sinüs dalgasının genliklerinin aynı polaritede olduğu bu nedenle pozitif bir ilişki değeri verdiği görülmektedir. Şekil1.16b’ de ise genlikler birbirine zıt yönde benzerlik göstermektedir ve ilişki değeri negatiftir. Şekil1.16c’ de iki dalganın üst üste geldiği yani $\tau = 0$ anı görülmektedir ve iki dalganın genlikleri aynı polaritede üst üste geldiği için pozitif maksimum ilişki değeri elde edilmiştir. Şekil1.16d ve e ise ilk iki adımın tekrarı niteliğindedir.



Şekil 1.15. Bir sinüs dalgasına %10-25-60-80 oranında rastgele gürültü eklenmesi ile elde edilen elde dalgacık ile bu dalgacığı oluşturan sinüs dalgacığının çapraz ilişki işlemi sonucu.

İki karmaşık sinyalin birbiriyle çapraz ilişkisi alındığında çıkış olarak elde edilen ilişki fonksiyonu yalnızca ilişkiye tabi tutulan iki sinyalin ortak frekanslarını içerir. Karmaşık bir sinyalin tek bir frekansa sahip sinyal ile çapraz ilişkisi ise sadece o frekansa sahip çıkış verir. Böylece gürültülü bir sinyalin içinden istenen frekansın çıkarılması mümkün olur. Eğer birden fazla frekans çıkarılmak isteniyorsa, işlemci sinyal, istenen frekansların sinüzoidal toplamları şeklinde oluşturulmalıdır.



Şekil 1.16. %80 rastgele gürültü eklenmiş bir sinüs dalgacığı (mavi renkte çizdirilmiş) ile bu dalgacığı oluşturan sinüs dalgacığının (siyah renkte çizdirilmiş) çapraz ilişki işlemi sonucunun (kırmızı renkte çizdirilmiş) adım adım gösterilmesi.

1.5.1.2. Öz İlişki

Öz ilişki, çapraz ilişkinin özel bir durumudur ve sinyalin kendisi ile olan ilişkisine denir. Çapraz ilişkisi fonksiyonunda $y(t)$ yerine $x(t)$ yazılırsa öz ilişki fonksiyonu elde edilir.

$$R_{xx}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)x(t+\tau)dt \text{ veya } R_{xx}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t-\tau)x(t)dt \quad (1.7)$$

Öz ilişki fonksiyonu en büyük değerini $\tau = 0$ 'da alır ve bu değer sinyalin enerjisine eşittir. Öz ilişki fonksiyonu simetrik ($R_{xx}(\tau) = R_{xx}(-\tau)$) ve çift bir fonksiyondur. Bu özelliği fonksiyonun hesaplanması sırasında avantaj sağlar. Çünkü öz ilişki fonksiyon hesaplamalarında ilk önce pozitif gecikmeler hesaplanır eğer negatif gecikmelere gerek duyulursa pozitif gecikmeler ters çevrilir böylelikle negatif gecikmelerde hesaplanmış olur.

Öz ilişki işleminde gecikme kavramı önemlidir. Eleman sayısı n olan bir fonksiyonun öz ilişki fonksiyonunun eleman sayısı $2n-1$ 'dir. Eğer sadece $\tau = 0$ ve pozitif gecikmeler hesaplanmak istenirse öz ilişki fonksiyonu $\tau(n)$ 'den $\tau(2n-1)$ 'e kadar alınmalıdır.

Öz ilişki fonksiyonun frekans ortamındaki görüntüsü, sinyalin güç spektrumuna eşittir. Çünkü hatırlanacak olursa, ilişki işleminin frekans ortamındaki tanımı, genlik spektrumlarının çarpımı, faz spektrumlarının çıkarılması şeklindeydi. Dolayısıyla, bir sinyalin genlik spektrumunun karesi güç spektrumuna eşittir ve sinyal fazının kendisi ile çıkarılması faz bilgisini ortadan kaldıracaktır. Eğer sinyal öz ilişkisinden elde edilen güç spektrumundan Ters Fourier Dönüşümü ile geriye gidilirse, sinyalin sıfır fazlı temsili görünümü elde edilir.

$$\mathbb{F}[R_{xx}(\tau)] = Z(w) = x(w) \cdot x^*(w) \quad (1.8)$$

$$x_g(w) = |\mathbb{F}[x(t)]| \longrightarrow \text{Genlik Spektrumu} \quad (1.9)$$

$$x(w) = x_g(w)e^{i\varphi_x(w)} \longrightarrow x^*(w) = x_g(w)e^{-i\varphi_x(w)} \quad (1.10)$$

$$Z(w) = x_g(w)x_g(w) \cdot e^{i(\varphi_x(w)-\varphi_x(w))} = x_g(w)^2 \quad (1.11)$$

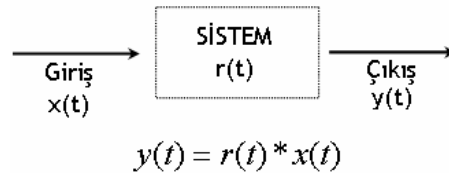
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Çalışma sırasında bahsedilen yöntem 3 farklı ortamda uygulanacaktır. Yöntem ilk olarak basit iki tabakalı yer altı yapılarının konvolüsyon modelleri üzerinden elde edilen yapay verilere, daha sonra dalga yayılımı modeli ile oluşturulan nispeten daha karmaşık bir yanal süreksizlik yapısından elde edilen yapay verilere ve son olarak ta farklı saha koşullarında alınmış 5 değişik saha verisine uygulanmıştır. Konvolüsyon modelleri üzerinden elde edilen yapay veriler MatLab (Matrix Laboratuvarı) yazılımı yardımıyla, dalga yayılım modelinden elde edilen yapay veriler ise Landmark Promax yazılımı yardımıyla elde edilmiştir.

Konvolüsyon modellerinden elde edilen izlerle yapılacak uygulamalar da amaç; yöntemin teorik açıdan kullanılabilir olduğunu ve yüksek doğruluk oranıyla çalıştığını göstermektir. Dalga yayılımı yardımıyla elde edilen izler ise daha gerçekçi yer altı hız modellerini temsil ettiğinden yöntemin bir nevi temiz arazi kayıtları üzerindeki başarısını ortaya koyacaktır. Yöntemin saha kayıtlarında denenmesi ise çalışmanın son uygulama bölümünü oluşturmaktadır.

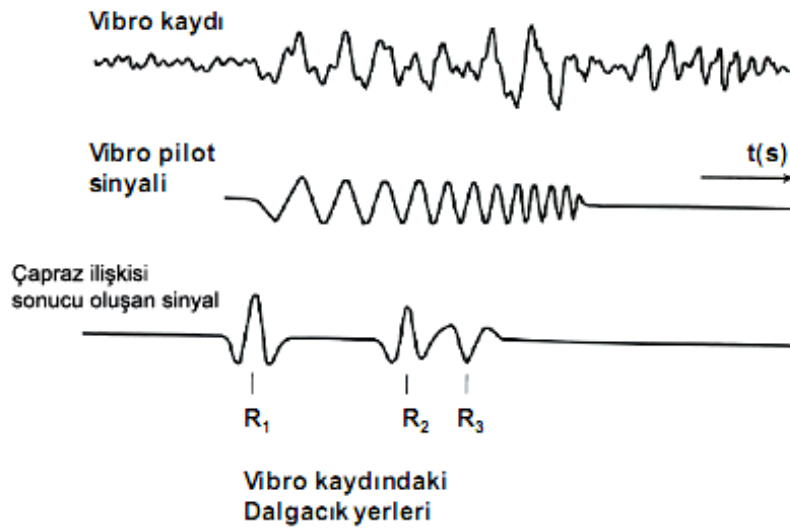
2.1. Yöntem

Bir sismik kırılma verisi, yere verilen bir kaynak dalgacığının, yeraltında tabaka içerisinde (direkt gelenler) ya da tabaka sınırlarında (kırılarak gelenler) hareket ederek alıcılarda kayıt edilmesi ile oluşur. Sismik kırılma verisinin oluşumu doğrusal sistem olarak modellenmek istenirse, giriş parametresi kaynak dalgacığı, sistem ise yer altı ve çıkış ise sismik kırılma verisi olacaktır (Şekil 2.1) .



Şekil 2.1. Bir doğrusal sistem modeli

Bu doğrusal sistem sonucunda oluşan sismik veri, veriyi oluşturan kaynak dalgacığını içinde barındırır. Dolayısıyla, kaynak dalgacık ile sismik veri, ilişki işlemine tabi tutulduğunda ilişki fonksiyonu veri içerisinde kaynak ile aynı ya da benzer olduğu örnekleme değerlerinde maksimum ilişki değerini verir. Bu maksimum ilişki değerinin bulunduğu zaman örnekleme değeri ise, ilk varış noktasını gösterir. Literatürde ilişki işlemi daha çok sismik yansıma çalışmalarında kullanılmaktadır. Sismik yansıma çalışmalarında vibro sinyali (sweep) kullanılarak alınan saha kayıtları direk olarak değerlendirmeye alınmaz çünkü vibro sinyali başlangıç ve bitiş frekansı arasındaki tüm frekanslarda dalgalar içeren özel bir sinyaldir ve sinyal yapısı karmaşıktır. Bu sinyal kullanılarak alınan saha kayıtları, kaynak olarak kullanılan vibro sinyali ile çapraz ilişki işlemi uygulanır. Bu işlemle kaynak vibro sinyali veri içerisinde kendisine benzer zaman değerlerinde maksimum ilişki değeri verir. Bu şekilde elde edilen sıfır fazlı ilişki fonksiyonundan yola çıkılarak yansıma dalgacıkları yerleri belirlenir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Vibro sinyali kullanılarak oluşturulan bir sismik yansıma sinyali ve bu sinyalin, kaynak vibro sinyali ile çapraz ilişki sonucu oluşan sinyal

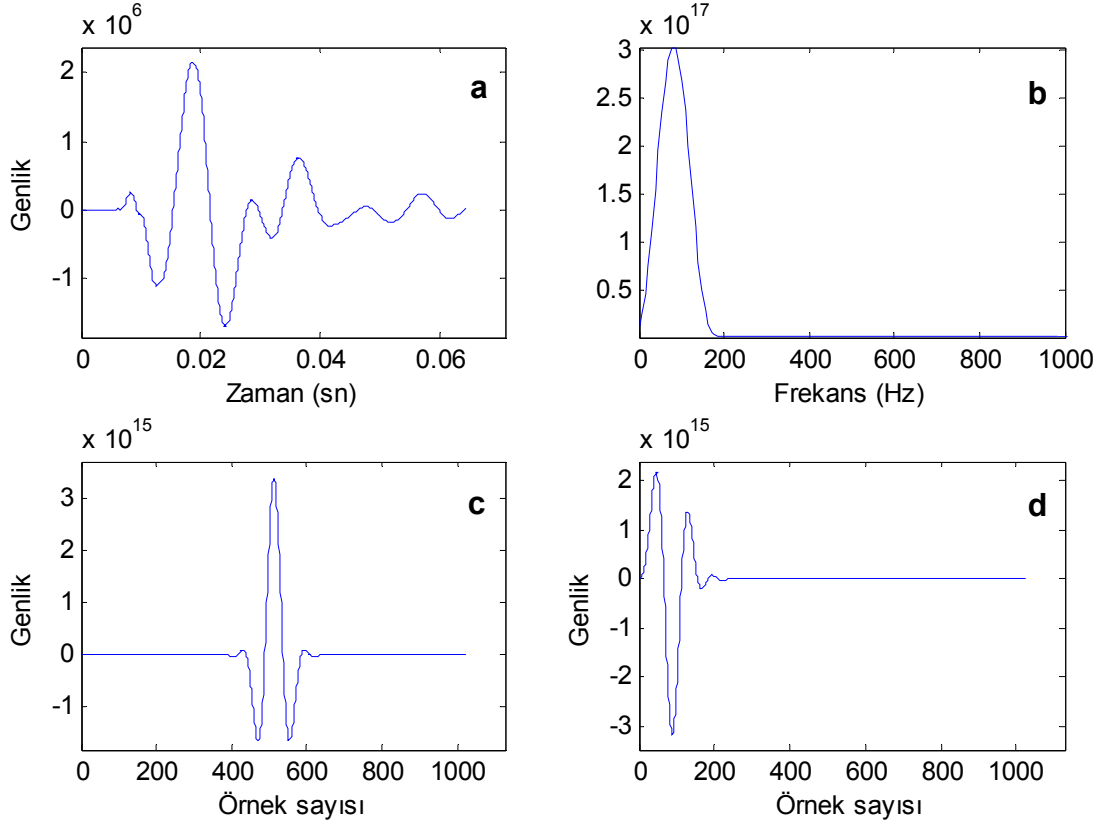
Modelleme çalışmalarında veya yansıma çalışmaları gibi kontrollü kaynak kullanılan saha çalışmalarında kullanılan kaynak fonksiyonu bilindiğinden herhangi bir sorun yaşanmaz. Fakat kontrolsüz kaynak kullanılan (sismik kırılma çalışmalarında genellikle kontrolsüz kaynak kullanır) saha çalışmalarında kaynak fonksiyonunu tanımlayacak parametreler her atışta değiştiğinden, kaynak fonksiyonunu elde etmek zordur. Özellikle gürültülü saha kayıtlarında daha fazla zaman harcanır.

Bu çalışmada çapraz ilişki işleminde kullanmak için kaynak fonksiyonu elde etmede üç yol kullanılmıştır. Bunlar;

- 1) Verinin temiz bir kanalı üzerinden kaynak dalgacık belirleme
- 2) Yuvarlatılmış güç spektrumu yaklaşımı
- 3) Veri toplama sırasında kullanılan kaynağa yakın matematiksel kaynak operatörü belirleme

Verinin temiz bir kanalı üzerinden kaynak fonksiyonu belirleme işleminin ilk tercih sebebi olması, kaynak fonksiyonunun herhangi bir matematiksel işlem sonucunda değil doğrudan saha kaydı üzerinden elde edilmesidir. Bu şekilde elde edilecek bir kaynak fonksiyonu, bir izin sahip olduğu tüm yer altı etkilerini içerir. Dolayısıyla ilişki işlemi sırasında veri ile uyumsuzluk sorunu yaşama tehlikesi en aza indirgenmiş olur. Seçilecek kaynak fonksiyonunun polaritesi, uzunluğu kayıt sırasında kullanılan kaynağa göre belirlenir.

Eğer veri açık bir kaynak fonksiyonu göstermeyecek kadar gürültülü ise, kaynak fonksiyonunun, yuvarlatılmış güç spektrumu üzerinden elde edilmesi yoluna gidilir. Global anlamda yuvarlatılmış güç spektrumu, veriyi oluşturulan kaynağı yaklaşık olarak elde etmek için sıkça kullanılmaktadır. Buradaki yuvarlatma işleminin amacı, spektrumun genel görüntüsünü hâkim frekans etrafında toplamaktır ki, burada hâkim frekans kaynak frekansını temsil eder. Elde edilen spektrum Bölüm 1.5.1.2’de bahsettiğimiz öz ilişki özelliklerinden dolayı kaynak dalgacığının güç spektrumunu temsil eder. Dolayısıyla bu spektrumdan Ters Fourier Dönüşümü ile zaman ortamına geri dönüldüğünde temsili kaynak dalgacığının sıfır fazlı görüntüsünü elde edilmiş olur. Daha sonra Hilbert dönüşüm tabanlı Kolmogorof tekniği ile bu dalgacık minimum fazlı hale getirilir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Bir sismik kırılma sinyalinden ortalama güç spektrumu yöntemi ile kaynak dalgacık kestirimi: a) sismik kırılma sinyali, b) ortalama güç spektrumu, c) ortalama güç spektrumundan elde edilen sıfır fazlı dalgacık, d) sıfır fazlı dalgacığın minimum fazlı hali.

Eğer kaynak fonksiyonu oluşturmada diğer iki seçenekte başarılı olunmaz ise ilişki işleminde kullanılacak kaynak fonksiyonu, sahada kullanılan kaynak ekipmanının oluşturacağı kaynak fonksiyonuna yakın matematiksel bir kaynak fonksiyonu şeklinde oluşturulur. Bu aşamada kaynağın veri ile uyum sorunu ortaya çıkabilir. Bilindiği gibi sığ ve mühendislik amaçlı yapılan çalışmaların birçoğunda balyoz kaynak kullanılmaktadır. Balyoz kaynağın oluşturduğu kaynak modeli minimum fazlı bir dalgacıktır ve genellikle hâkim frekansı 30-50 Hz arasındadır. Bu modele uygun oluşturulabilecek minimum fazlı Ricker veya değiştirilmiş Sinüs dalgacığı çapraz ilişki fonksiyonunda kaynak fonksiyon olarak kullanılabilir. Bu şekilde oluşturulan bir kaynak modeli ile verinin çapraz ilişki işleminin de kesin bir sonuç vermesi her zaman mümkün değildir. Bu çalışmada balyoz kaynak fonksiyonuna yakın olacak şekilde değiştirilen bir sinüs fonksiyonu kullanılmıştır. Aynı kaynak fonksiyonu modelleme çalışmalarının bir kısmında da kullanılmıştır.

Kaynak fonksiyonunun doğru ve veriye uygun seçilmesi ilişki yönteminin doğruluğunu doğrudan etkilemekle beraber, yöntemin doğruluğu aynı zamanda verinin örnekleme aralığına da bağlıdır. Ayrıca ilişki yönteminde sonuca doğrudan etki eden diğer parametreler kayıttın gürültü oranı ve ilişki gürültüsü kavramıdır. Gerçek saha koşullarında, verinin dalga formundan veya frekansından bağımsız gürültüler yerine, veri ile iç içe girmiş, ana genlikleri bastıran ve veri spektrumunu olumsuz etkileyen gürültüler bulunmaktadır. Bu nedenle çapraz ilişki işlemlerinde ilişki gürültüsü öne çıkmakta ve elde edilen çıkış verisinde ilk varışlara ait olması beklenen maksimum değerler ya başka zamanlarda oluşmakta ya da herhangi bir maksimum ilişki noktası oluşmamaktadır. Sismik kırılma çalışmalarında özellikle dalga formunu bozan gürültülerin veri içerisinde bastırılması ya da çıkarılması sismik yansıma çalışmalarına göre daha zor olduğundan, ilişki işleminin kalitesi direkt olarak kestirilen kaynak dalgacığının veriyi temsil özelliğine, kaynak dalgacık formunun temiz olmasına ve verinin gürültü seviyesine bağlıdır. Eğer elde edilen kaynak fonksiyonu fazla yan salınımlara sahipse veya izdeki geç varışlar, verinin kalitesini azaltacak kadar karmaşık ise ilişki gürültüsü oluşabilir. İlişki gürültüsü etkisinin en aza indirilmesi için veriden geç varış bölgesi kesilebilir ya da ilişki fonksiyonu boyu ön bilgiler dâhilinde sınırlandırılabilir.

Çapraz ilişki yöntemi saha kayıtlarında birçok faktöre bağlı çalışırken, yapay modeller üzerinde yüksek doğruluk oranı ile çalışmaktadır. Yapay modellere farklı yüzdelerde gürültü eklendiğinde bile, yöntemin doğruluk oranı tatmin edicidir. Çünkü oluşturulan modellerde gürültü faktörü matematiksel olarak veriden ayırt edilebilir. Dolayısıyla, gürültü yüzdesi arttırıldığında dahi işlem sonucu başarılıdır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta tüm sığ arama çalışmalarının ana problemi olan gürültülerin matematiksel olarak ifade edilmesi ve birbirinden ayrılabilmesidir. Sığ çalışmalarda büyük sorunlar yaratan sığ gürültüler tüm araştırmacılar için çözülmesi gereken büyük bir problemdir.

2.2. Konvolüsyon Modelleri ve Analiz

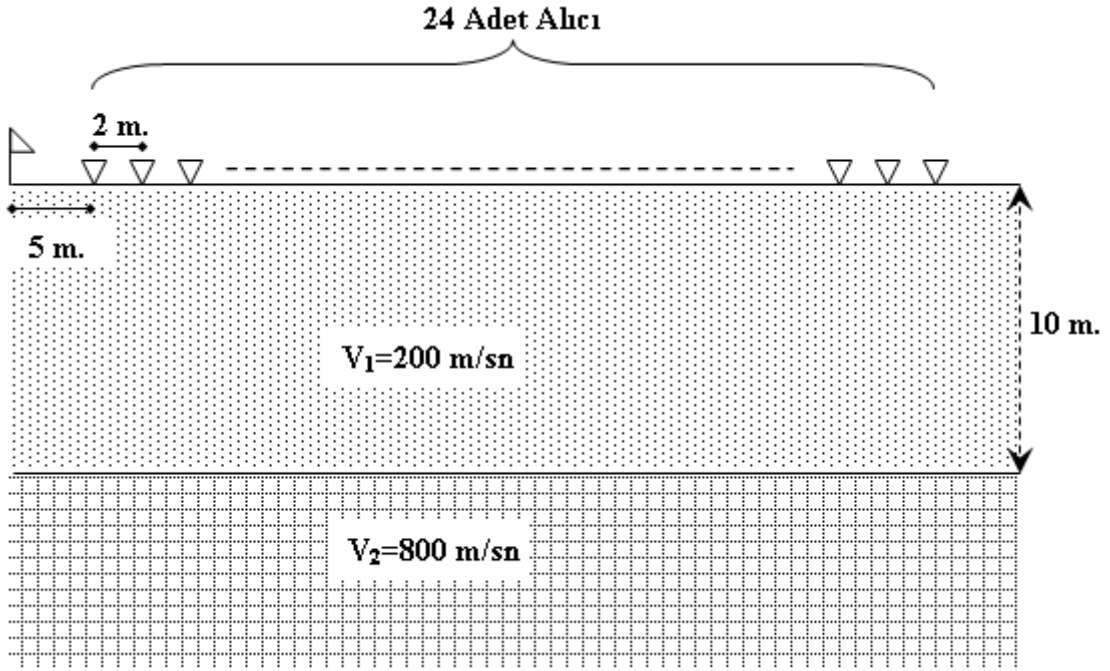
Çoğunlukla sismik yansıma modelleme çalışmalarında kullanılan konvolüsyon işlemi bu çalışmada basit iki tabakalı yer altı modellemesi ve bu modellerden yapay sismik kırılma verisi elde etmek için kullanılmıştır.

Yapılan basit tabaka modellemelerinde amaç, yöntemin çalışma prensibini ve güvenilirliğini göstermektir. Bu nedenle seçilen tabaka hızları ve alıcı sayısı, alıcı aralığı gibi parametreler direk gelen dalgalar ile kırılarak gelen dalgalar arasındaki farkın açık olarak görülebileceği şekilde seçilmiştir. Modelleme sırasında MatLab (Matrix Laboratory) yazılımı kullanılmıştır. MatLab ilk defa 1985 yılında geliştirilmiş, özellikle matris tabanlı işlemlerde başarı ile kullanılan, yüksek grafik özelliklerine sahip, daha çok sayısal hesaplamalarda tercih edilen bir paket programlama dilidir. Program birçok bilim dalında tercih edilmekte ve yüksek başarı ile kullanılmaktadır.

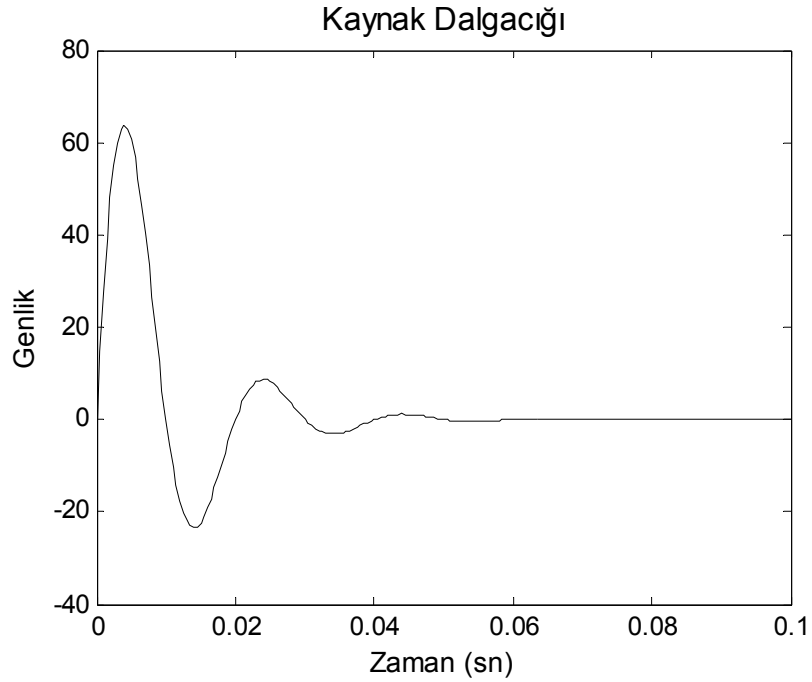
Modelleme sırasında kullanılan parametreler aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Zaman örnekleme aralığı
- İz sayısı ve kayıt uzunluğu
- Kanal (Alıcı) sayısı
- Kanal örnekleme aralığı
- Kaynak genliği, doruk frekansı, örnekleme aralığı, uzunluğu
- Tabaka hızları, derinliği
- Kaynak koordinatı ve derinliği
- İlk ofset uzaklığı
- Eğer gürültü eklenirse gürültü oranı

Oluşturulan yatay iki tabakalı modelde ilk tabaka hızı 200 m/sn, ikinci tabaka hızı 800 m/sn'dir. Ara yüzey derinliği 10 m.'dir. Modelde 24 adet alıcı kullanılmıştır, kaynak noktası sıfır noktası kabul edildiğinde ilk alıcı 5 m., alıcı aralıkları 2 m.'dir (Şekil 2.4). Oluşturulacak yapay veriye ait parametreler ise, zaman örnekleme aralığı 0.0005 sn, iz sayısı 700 adet, kayıt uzunluğu 0.35 sn.'dir. Kullanılan kaynak fonksiyonu Sinüs dalgasının, zaman bağımlı bir üstel fonksiyon ile çarpımından yararlanılarak oluşturulmuş, minimum fazlı bir dalgacıktır. Kaynak fonksiyonu parametreleri, zaman örnekleme aralığı 0.0005 sn., sinyal uzunluğu 0.1 sn., sinyal genliği 100 (kaynak fonksiyonun üstel fonksiyon ile çarpımından dolayı başlangıç genliği, sinyal genliği ile üstel fonksiyonun başlangıç değerinin çarpımına eşit olacaktır) ve frekansı 50 Hz olarak seçilmiştir (Şekil 2.5).

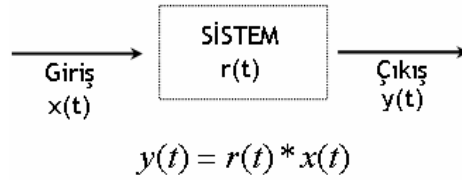


Şekil 2.4. Konvolüsyon modellemeleri sırasında kullanılan yer altı hız modeli

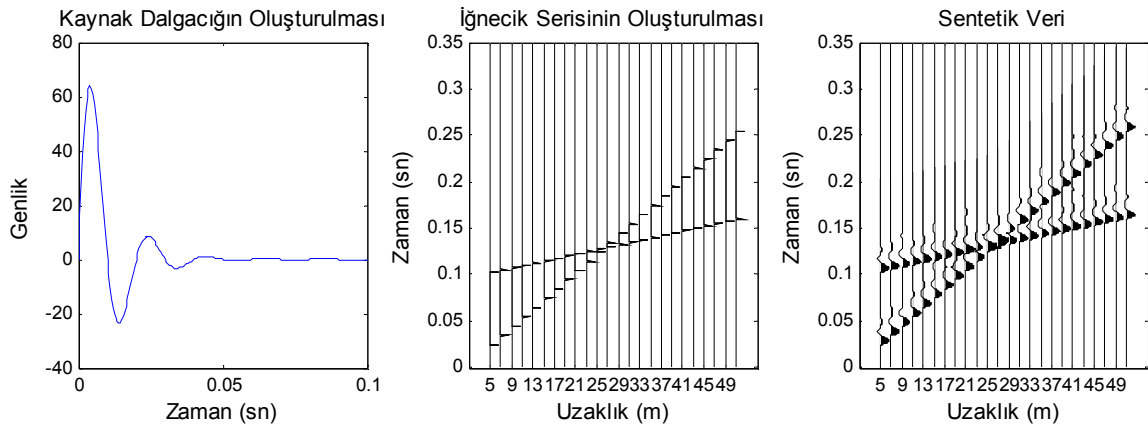


Şekil 2.5. Konvolüsyon modellemeleri sırasında kullanılan kaynak fonksiyonu. Bu kaynak fonksiyonu $f(t) = A * \sin(2\pi ft) * e^{-at}$ şeklindedir.

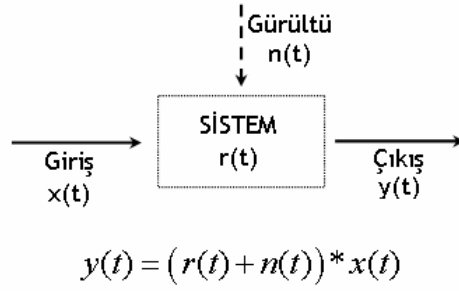
Oluşturulan yapay modellerin sismik tepkisi, kayıt süresi boyunca, yatay iki tabakalı modellerde dalga seyahat zamanları formülleriyle hesaplanan varış zamanlarına denk gelen zaman örnekleme değerlerine bir iğnecik atanması ve oluşturulan iğnecik serisinin kaynak dalgacık ile konvolüsyonu şeklinde elde edilmiştir. Bu şekilde elde edilen veri için oluşturulan konvolüsyon modeli Şekil 2.6'da verilmiştir. Bu durumda kaynak dalgacığının iğnecik ile üst üste geldiği noktada yapay izimiz oluşmuş olur (Şekil 2.7). Eğer ize gürültü eklenmek istenirse yapabilecek iki seçenek vardır. Birincisi, seyahat zamanlarının belirlenmesi ve bu örnekleme noktalarına iğneciğin atanmasından sonra, bu iğnecik baz alınarak kanalın toplam iz sayısı kadar rastgele bir gürültü eklenebilir, yapılan modelleme doğrusal bir sistem olarak tanımlanırsa bu şekilde eklenen gürültü, konvolüsyon işleminden önce sisteme eklenen gürültüyü temsil eder (Şekil 2.8). Şekil 2.9 bu şekilde oluşturulmuş bir sismik kırılma verisi örneğidir. İkinci seçenek ise, iğnecik serisi ile kaynak fonksiyonu konvolüsyon edildikten sonra oluşan yapay iz baz alınarak kanalın toplam iz sayısı kadar rastgele gürültü eklenmesidir (Şekil 2.10). Şekil 2.11 bu şekilde oluşturulmuş bir sismik kırılma verisine örnektir.



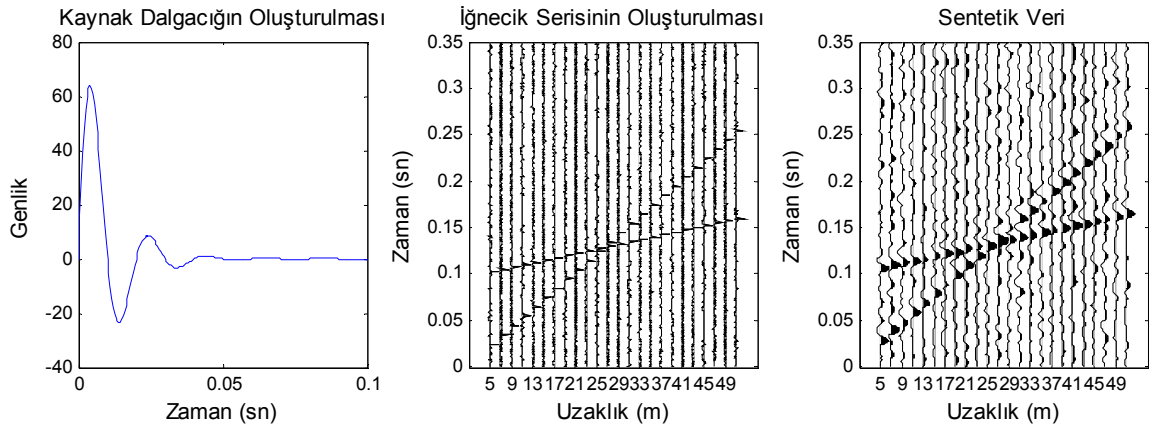
Şekil 2.6. Gürültüsüz bir sismik kırılma verisinin konvolüsyon modeli.



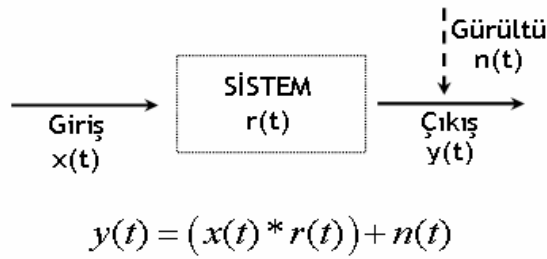
Şekil 2.7. Gürültüsüz konvolüsyon modeli ile oluşturulan sismik kırılma izi.



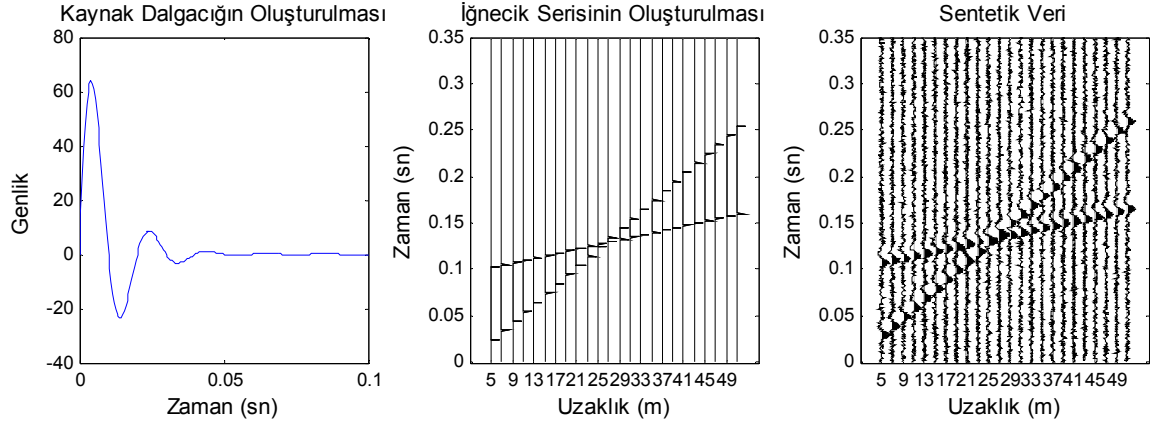
Şekil 2.8. Konvolüsyon işlemi öncesinde sisteme eklenen gürültü ve bu tip gürültü içeren sismik izin konvolüsyon modeli.



Şekil 2.9. Sisteme eklenen %0.1 gürültü ile konvolüsyon sonucu oluşan sismik kırılma izi.



Şekil 2.10. Konvolüsyon işlemi sonrasında çıkış bazlı eklenen gürültü ve bu tip bir gürültü içeren sismik izin konvolüsyon modeli.

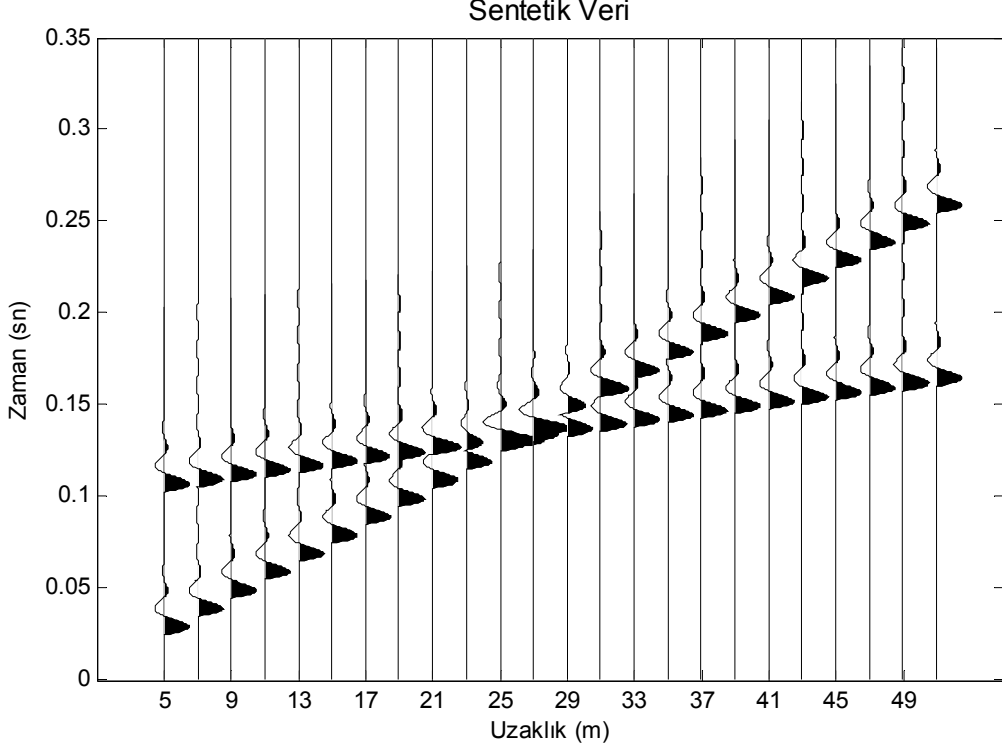


Şekil 2.11. Konvolüsyon sonrası eklenen %15 gürültü ile oluşan sismik kırılma izi.

Yapay izin elde edilmesinden sonra yapılacak işlem, ilişki yöntemi ile iz üzerinden ilk varış zamanlarının belirlenmesi ve bu zamanların modellemenin ilk aşamasında hesaplanan seyahat zamanları ile karşılaştırılmasıdır. İlişki işlemi sırasında izi oluşturan her kanal, kaynak dalgacık ile çapraz ilişkiye tabii tutulur ve ilişki fonksiyonunun maksimum olduğu noktalar belirlenir. Belirlenen maksimum noktalar teorik olarak bize ilk varış zamanlarını verecektir. İlişki fonksiyonundaki maksimum noktalara ait zamanların işaretlenmesi her kanal üzerinde el yordamıyla veya yarı otomatik şekilde yapılabilir. Yarı otomatik şekilde yapılmak istenirse, ilişki fonksiyonunda ilk varışların olması beklenen alanın uzaklık ekseninde sınırlandırılması yeterlidir. Program belirlenen bölgelerde ilişki fonksiyonunun maksimum değerini arayacak ve ilk varış zamanını belirleyecektir.

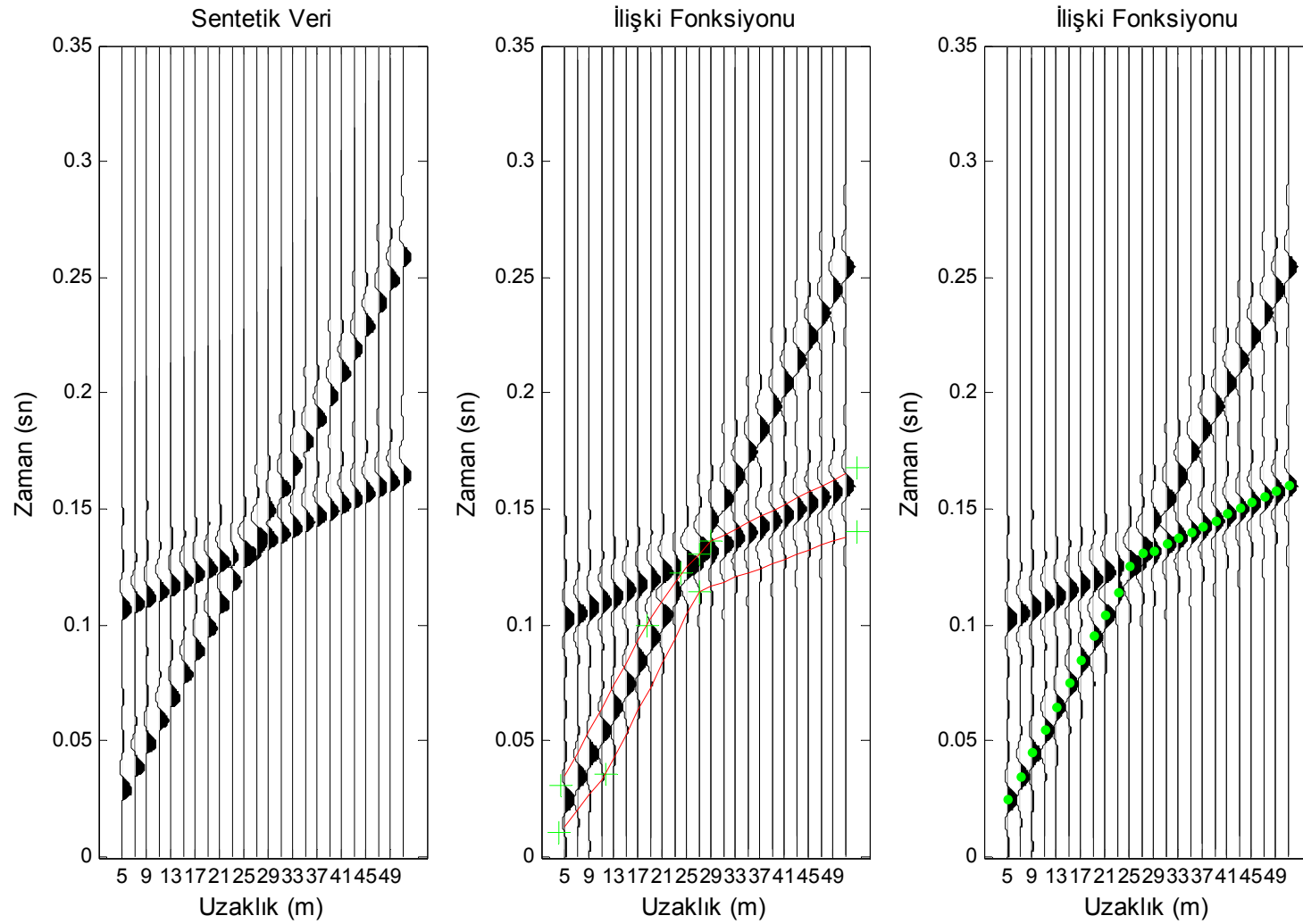
Yöntem ilk olarak model üzerinden elde edilen gürültüsüz veri üzerinde denenmiştir. Belirlenen model ve sinyal parametreleri ile elde edilen yapay veri Şekil 2.12'de verilmiştir. Veri üzerinde bu şekliyle bir ilk varış işaretlemesi yapmak istenildiğinde veriyi oluşturan kaynak fonksiyonu minimum fazlı olduğundan ilk varış işaretlemeleri dalgacığın ön kenarından yapılır. Sonraki aşama, yapay veri ile veriyi oluşturan kaynak fonksiyonunu çapraz ilişki işlemine tabii tutulur. Bu işlemle veri içerisinde kaynak fonksiyonuna benzeyen değerler aranmaktadır. Elde edilen ilişki fonksiyonunda, kaynak ile benzer ya da aynı olan zaman değerlerinde maksimum ilişki değerleri elde edilecektir. Dolayısıyla yapay veride dalgacıkların ön kenarından yapılan ilk varış işaretlemelerinin, çapraz ilişki fonksiyonu üzerinde ilişkinin maksimum olduğu noktalara taşınması beklenir. Çalışmada, ilişki fonksiyonu üzerinde yapılacak işaretleme işlemi, önceki bölümlerde bahsedilen işaretleme zorluklarından dolayı mümkün olduğunca kullanıcıdan bağımsız, yarı otomatik hale getirilmeye çalışılmıştır. Bu nedenle yöntem için

hazırlanan algoritmanın bu bölümü, her alıcı üzerinde işaretleme yapılması yerine ilk varış bilgisi aranması istenen alanın belirlenmesi ve bu alan içinde otomatik olarak ilk varışların belirleneceği şekilde tasarlanmıştır. Yöntemin ‘yarı otomatik’ olarak nitelendirilmesi, ilk varış bilgisinin aranması istenen alanların bir kullanıcı tarafından belirlenmesi nedeniyledir.



Şekil 2.12. Gürültüsüz, yapay sismik kırılma verisi.

Yapay verinin kaynak fonksiyonu ile çapraz ilişkisi sonucu oluşan ilişki fonksiyonu ve bu fonksiyon üzerinde yapılan yarı otomatik ilk varış işaretlemeleri Şekil 2.13’de verilmiştir. Elde edilen ilişki fonksiyonuna bakıldığında, oluşturulan yapay veri gürültüsüz olmasına rağmen ilişki fonksiyonunun ilişki gürültüsü içeriyormuş gibi görülebilir. Fakat veri herhangi bir ilişki gürültüsü içermemektedir. Gürültü gibi görülen küçük değişimler elde edilen grafiklerin görüntülenme boyutundan kaynaklanmaktadır. Fakat bu tür işlemlerde ilişki gürültüsü, ilişki işleminin aşılması gereken engellerinden biridir ve ilişki işleminin kullanıldığı her alanda göz önünde bulundurulması gereken bir parametredir. İlişki fonksiyonu üzerinde belirlenen ilk varış arama alanı yardımıyla ilişki gürültüsünün sonuçları etkileyecek boyutta olabileceği durumlarda, bu gürültünün etkisinin en aza indirilmesi de hedeflenmiştir.

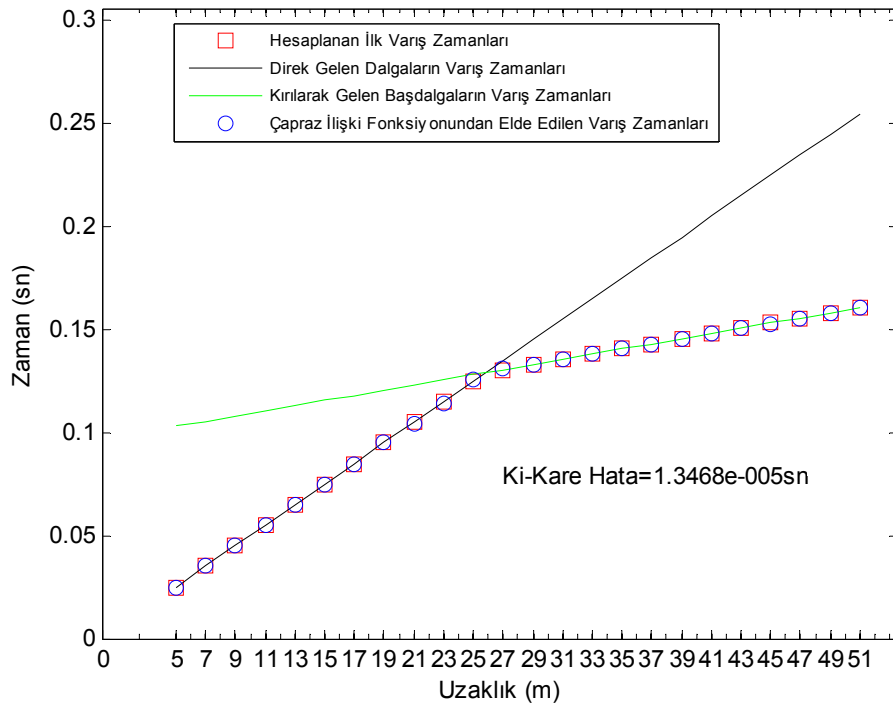


Şekil 2.13. Gürültüsüz yapay sismik kırılma verisi, ilişki fonksiyonu ve ilişki fonksiyonu üzerinde yapılan ilk varış işaretlemesi.

Şekil 2.13'te ilişki fonksiyonu üzerindeki yeşil '+' işaretleri ilk varış bilgisinin aranması istenilen alanların tanımlayan düğüm noktalarıdır. Tasarlanan program bu düğüm noktaları arasında ara değer belirleme tekniği ile alanın sınırlarını oluşturur (kırmızı renkteki çizgiler). Çalışma alanı belirlendikten sonra program, belirlenen alan içerisindeki maksimum ilişki değerini bulur. Bu değere karşılık gelen zaman değeri, ilk varış zamanını verir.

Elde edilen varış zamanlarının güvenilirliği Ki-Kare testi kullanılarak sınanmıştır. Ki-Kare testinde %95 güven aralığı için kritik değer 35.2'dir (yapılan tüm modelleme çalışmalarında kritik değer aynıdır). Elde edilen ilk varış zamanları, hesaplanan seyahat zamanları ile karşılaştırıldığında iki verinin uyumunun çok yüksek olduğu açıkça görülmektedir (Şekil 2.14). Burada hata kaynakları direk gelen dalgalar ile kırılarak gelen dalgalara ait seyahat zamanlarının birbirine yaklaştığı alıcılarda belirlenen zamanlardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Alan seçimi sırasında bu alıcılar civarında ne kadar net düğüm noktaları belirlenirse hata oranının o kadar düşeceği çalışmalar sırasında yapılan gelişigüzel alan seçimlerinde görülmüştür.

İlişki fonksiyonu yardımıyla elde edilen seyahat zamanları ve teorik seyahat zamanları Tablo 2.1'de verilmiştir.

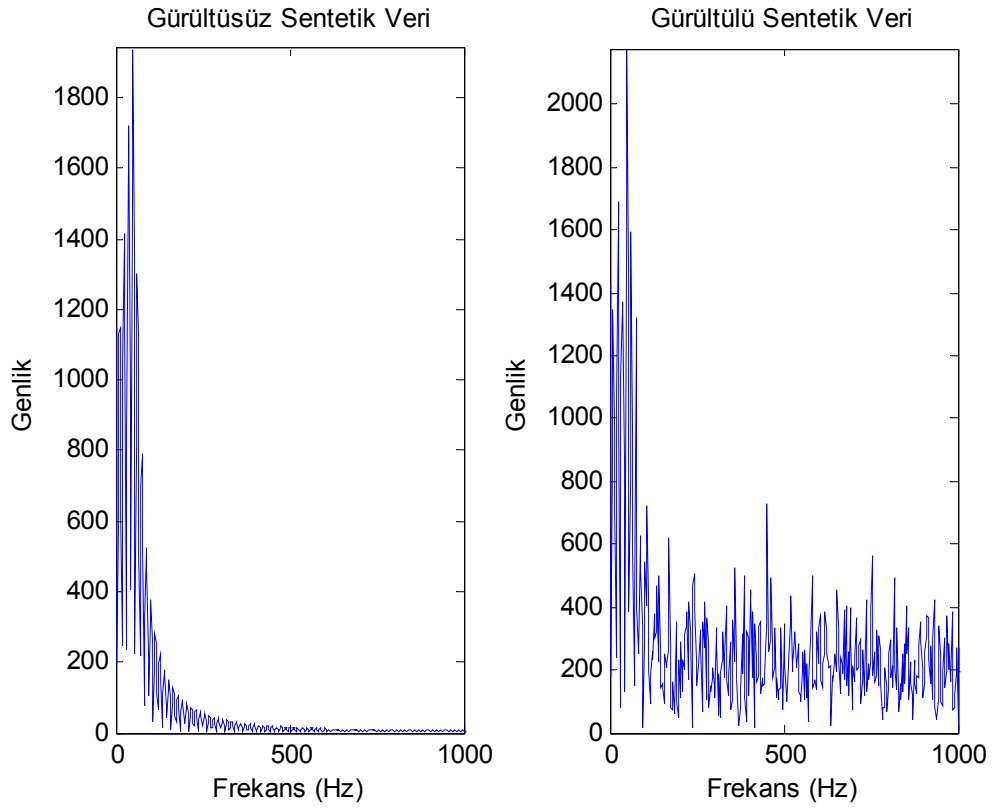


Şekil 2.14. Gürültüsüz yapay sismik kırılma verisi için hesaplanan teorik seyahat zamanları ile ilişki fonksiyonundan elde edilen ilk varış zamanlarının karşılaştırılması.

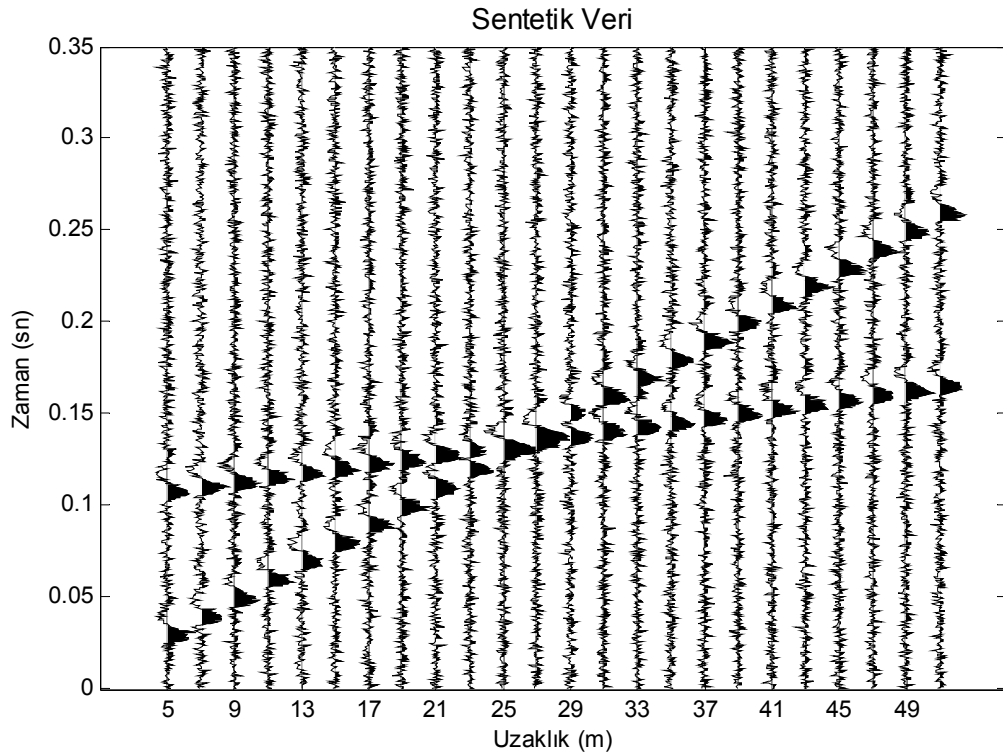
Tablo 2.1. Gürültüsüz yapay sismik kırılma verisi için hesaplanan teorik seyahat zamanları ile ilişki fonksiyonundan elde edilen ilk varış zamanlarının liste şeklinde karşılaştırılması.

Ofset (m)	Teorik Seyahat Zamanları (sn)	İlişki Fonksiyonundan Elde Edilen İlk Varış Zamanları (sn)
5	0,0250	0,0250
7	0,0350	0,0350
9	0,0450	0,0450
11	0,0550	0,0550
13	0,0650	0,0650
15	0,0750	0,0750
17	0,0850	0,0850
19	0,0950	0,0955
21	0,1050	0,1045
23	0,1150	0,1145
25	0,1250	0,1255
27	0,1306	0,1310
29	0,1331	0,1325
31	0,1356	0,1355
33	0,1381	0,1380
35	0,1406	0,1405
37	0,1431	0,1430
39	0,1456	0,1455
41	0,1481	0,1480
43	0,1506	0,1505
45	0,1531	0,1530
47	0,1556	0,1555
49	0,1581	0,1580
51	0,1606	0,1605

Gürültüsüz yapay veride iyi sonuçlar veren yöntem daha sonra çıkış verisi temel alınarak veriye eklenecek rastgele gürültü ile oluşturulan gürültülü bir yapay veride denenmiştir. Çıkış verisi temel alınarak eklenen %15 gürültüyü içeren verinin ilk alıcısına ait genlik spektrumuna bakıldığında izi oluşturan ana frekans çevresinde, birçok frekans değerinde ana olay genliğinden daha küçük genlikli olaylar görülmektedir (Şekil 2.15). Dolayısıyla gürültülü ize zaman ortamında bakıldığında ana olayları çok fazla etkilemeyen küçük genlikli olaylar görülmektedir (Şekil 2.16).



Şekil 2.15. Gürültüsüz veri ile konvolüsyon sonrası %15 gürültü eklenen verinin ilk alıcılarındaki sinyallerin genlik spektrumları.



Şekil 2.16. Konvolüsyon sonrası %15 gürültü eklenen yapay sismik kırılma verisi.

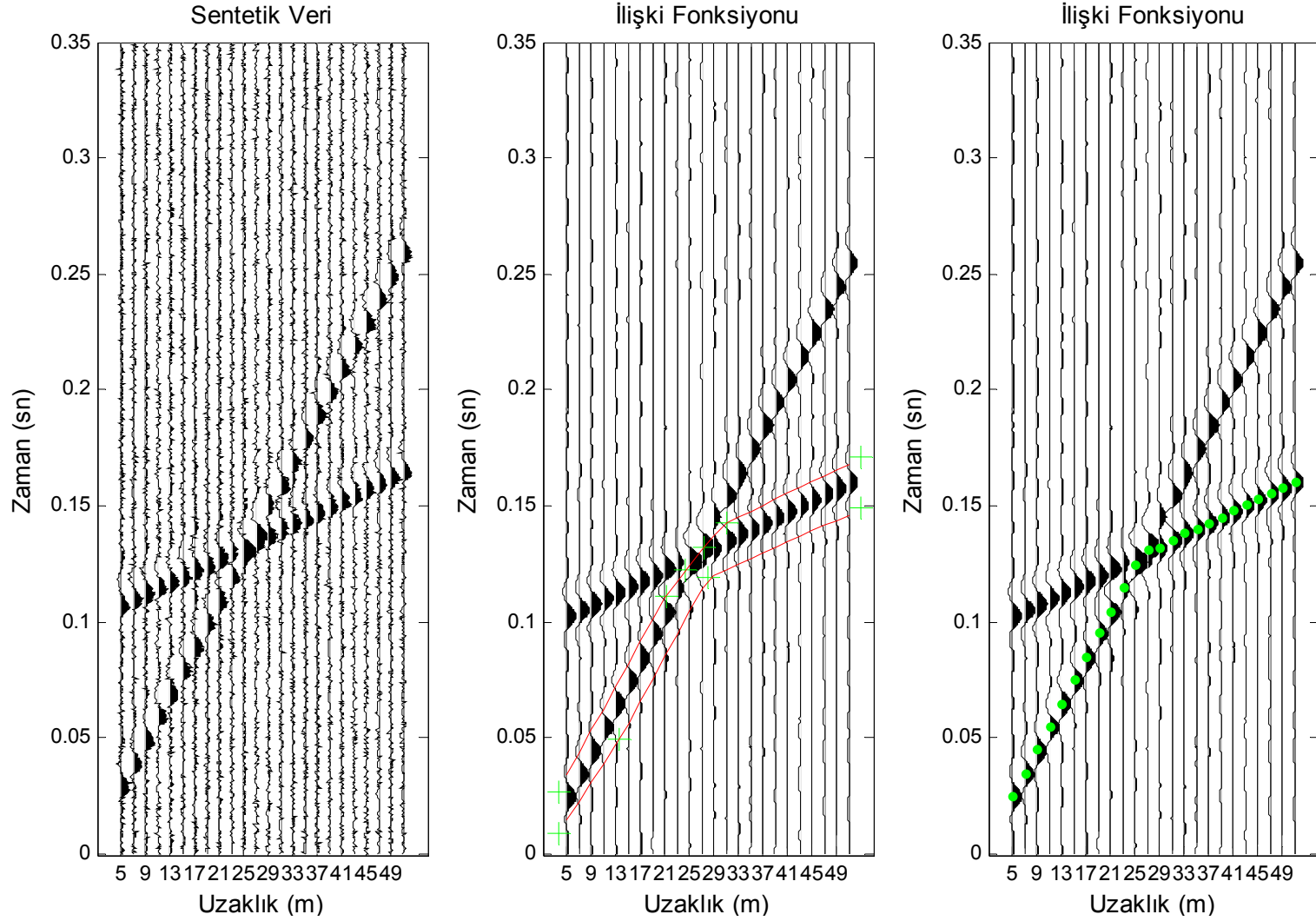
Şekil 2.16'daki veride direk ve kırılarak gelen ana olayların genlikleri diğer genliklerden büyük olduğu için genel dalga formu sadece takip edilebilir düzeyde bellidir. Ancak bu veri üzerinde yapılacak ilk varış işaretlemesinin çok zor olduğu açıkça görülmektedir. Ayrıca belli bir dalga trendi takip edilerek yapılacak bir ilk varış işaretlemesinin de ne kadar doğru olacağı tartışılmalıdır.

Şekil 2.16'daki iz, izi oluşturan kaynak dalga ile ilişki işlemine tabii tutulduğunda ortaya çıkan sonuçlar en az gürültüsüz veri kadar nettir (Şekil 2.17).

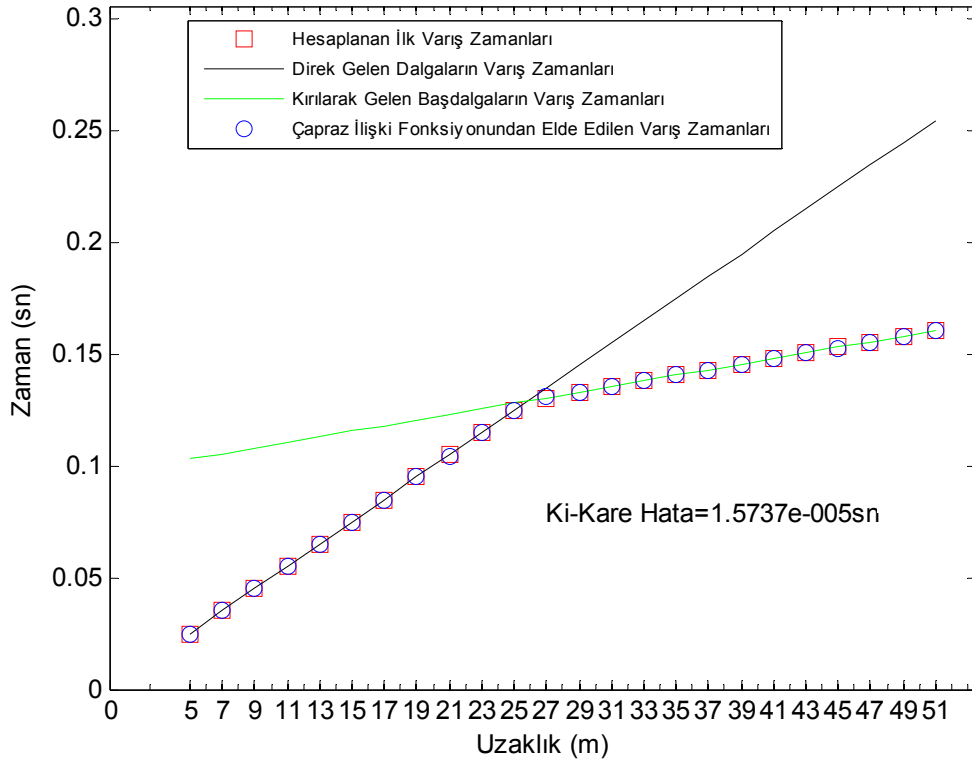
Elde edilen ilk varış zamanları teorik seyahat zamanları ile karşılaştırıldığında bir önceki gürültüsüz veride olduğu gibi yüksek uyumluluk gösterdiği görülmüştür (Şekil 2.18). İlişki fonksiyonu yardımıyla elde edilen seyahat zamanları ve teorik seyahat zamanları Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Konvolüsyon sonrası %15 gürültü eklenen sismik kırılma verisi için hesaplanan teorik seyahat zamanları ile ilişki fonksiyonundan elde edilen ilk varış zamanlarının liste şeklinde karşılaştırılması

Ofset (m)	Teorik Seyahat Zamanları (sn)	İlişki Fonksiyonundan Elde Edilen İlk Varış Zamanları (sn)
5	0,0250	0,0250
7	0,0350	0,0350
9	0,0450	0,0450
11	0,0550	0,0550
13	0,0650	0,0650
15	0,0750	0,0750
17	0,0850	0,0850
19	0,0950	0,0955
21	0,1050	0,1045
23	0,1150	0,1150
25	0,1250	0,1250
27	0,1306	0,1315
29	0,1331	0,1325
31	0,1356	0,1355
33	0,1381	0,1385
35	0,1406	0,1405
37	0,1431	0,1430
39	0,1456	0,1455
41	0,1481	0,1480
43	0,1506	0,1505
45	0,1531	0,1530
47	0,1556	0,1555
49	0,1581	0,1580
51	0,1606	0,1605



Şekil 2.17. Konvolüsyon sonrası %15 gürültü eklenen sismik kırılma verisi, ilişki fonksiyonu ve ilişki fonksiyonu üzerinde yapılan ilk varış işaretlemesi.



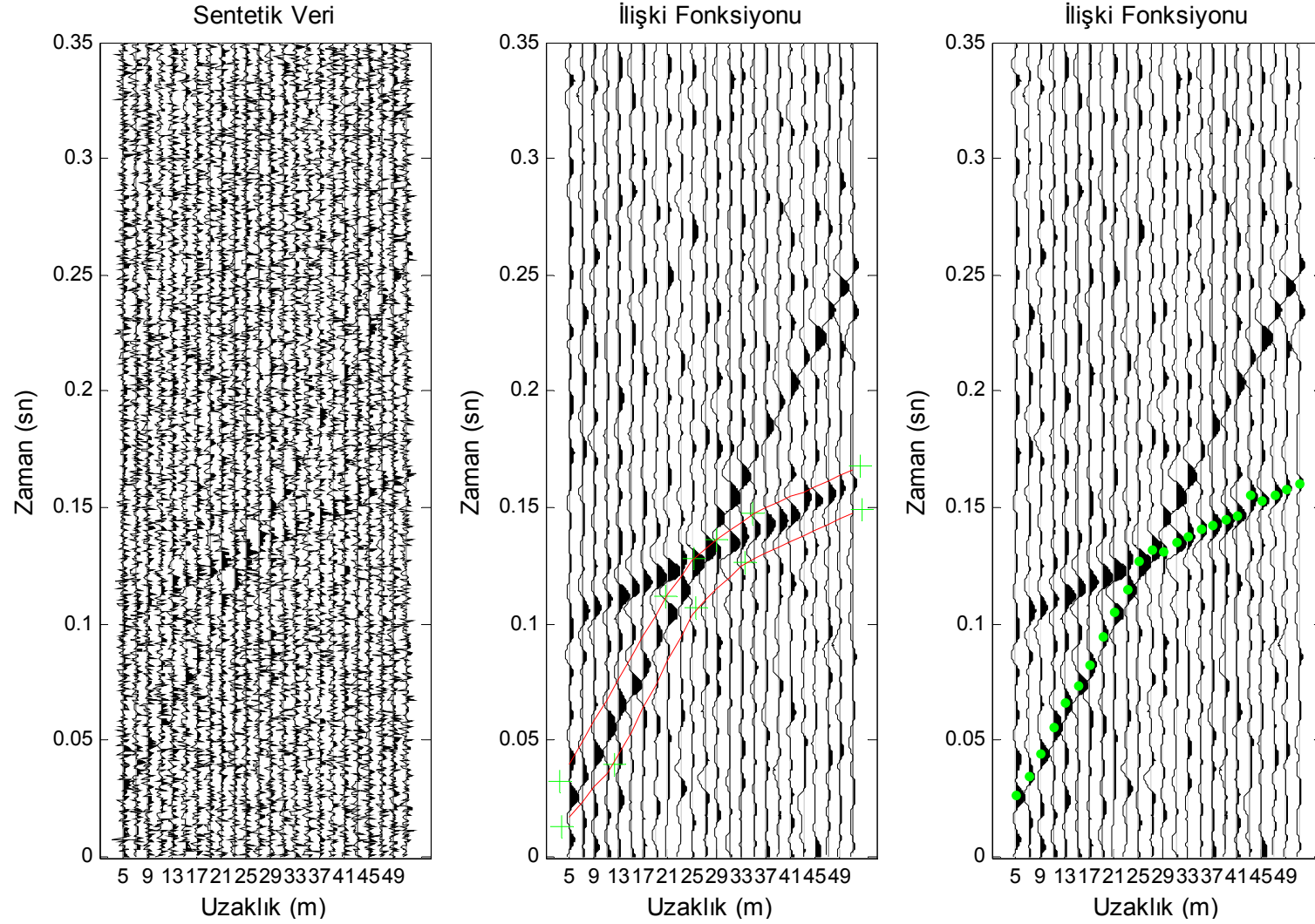
Şekil 2.18. Konvolüsyon sonrası %15 gürültü eklenen sismik kırılma verisi için hesaplanan teorik seyhat zamanları ile ilişki fonksiyonundan elde edilen ilk varış zamanlarının karşılaştırılması.

Yöntemin bu tip gürültülerde çalışabildiği maksimum gürültü oranının belirlenmesi %15'den fazla oranlarda denemeler yapılmıştır. Yöntemin çalışabileceği en fazla gürültü oranı yapılan denemelerle %85 olarak belirlenmiştir. Bu orandan sonra elde edilen ilişki fonksiyonlarından herhangi bir alan seçimi yapmak oldukça zordur. Konvolüsyon sonrası %85 gürültü içeren veri, ilişki fonksiyonu ve yapılan işaretlemeler Şekil 2.19'da, elde edilen ilk varış zamanlarının teorik seyhat zamanları ile karşılaştırılması ise Şekil 2.20'de verilmiştir.

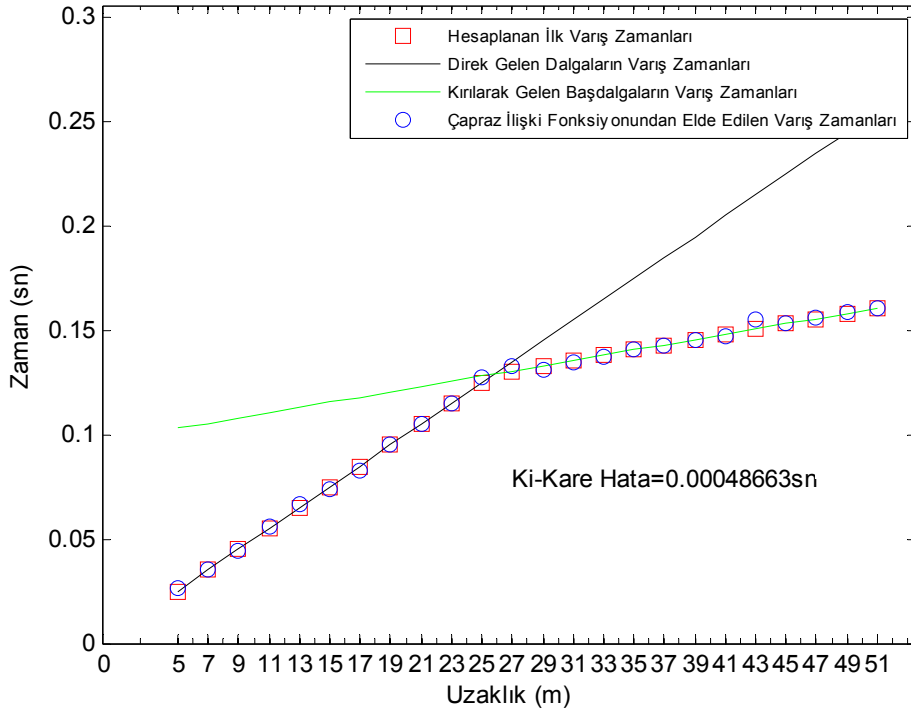
Oluşturulan bir diğer model, gürültünün sistem yani iğnecik serisi temel alınarak eklenmesi ile oluşturulan sismik iz modelidir. Bu modelde gürültü konvolüsyon işleminden önce iğnecik serisine eklendiğinden konvolüsyon işlemi sonrasında oluşan sismik izdeki gürültüler, kaynak dalgacık ile benzer frekans özelliklerine sahip değişik genlikteki gürültülerdir. Dolayısıyla bu modelde gürültülü veri ile gürültüsüz veriye ait genlik spektrumları incelenirse bir önceki modelde gözlenen farklılıklar görülmeyecektir. Şekil 2.21'de iğnecik serisi temel alınarak konvolüsyondan önce sisteme %0.1'lik bir gürültü eklenmesi ile oluşturulmuş sismik izin ilk alıcısına ait genlik spektrumu ile gürültüsüz

sismik izin ilk alıcısına ait genlik spektrumu görülmektedir. Bu iki genlik spektrumu birbirinden ayıran belli bir farklılık olmadığı açıktır.

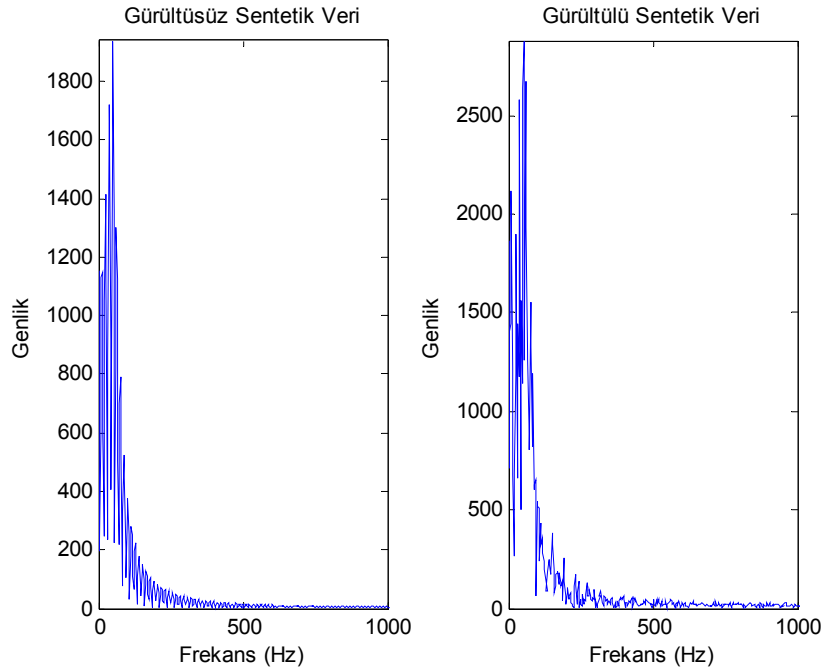
Şekil 2.22’de, oluşturulan sismik iz zaman ortamında görüntülenmiştir. Bu izdeki gürültünün diğer gürültülü izden çok farklı olduğu görülmektedir. Bu tip bir izde ilk varış okuması yapmak çok daha zor bir işlemdir. Çünkü hem ilk varış bilgisi hem de takip edilebilecek dalga trendi, gürültüden fazlasıyla etkilenmiş durumdadır. Ayrıca gürültünün ana dalga genliği ve formu ile uyumlu olması, dalga trendini takip ederek yapılacak bir ilk varış işaretlemesi sırasında hatalı işaretlemelere neden olabilir.



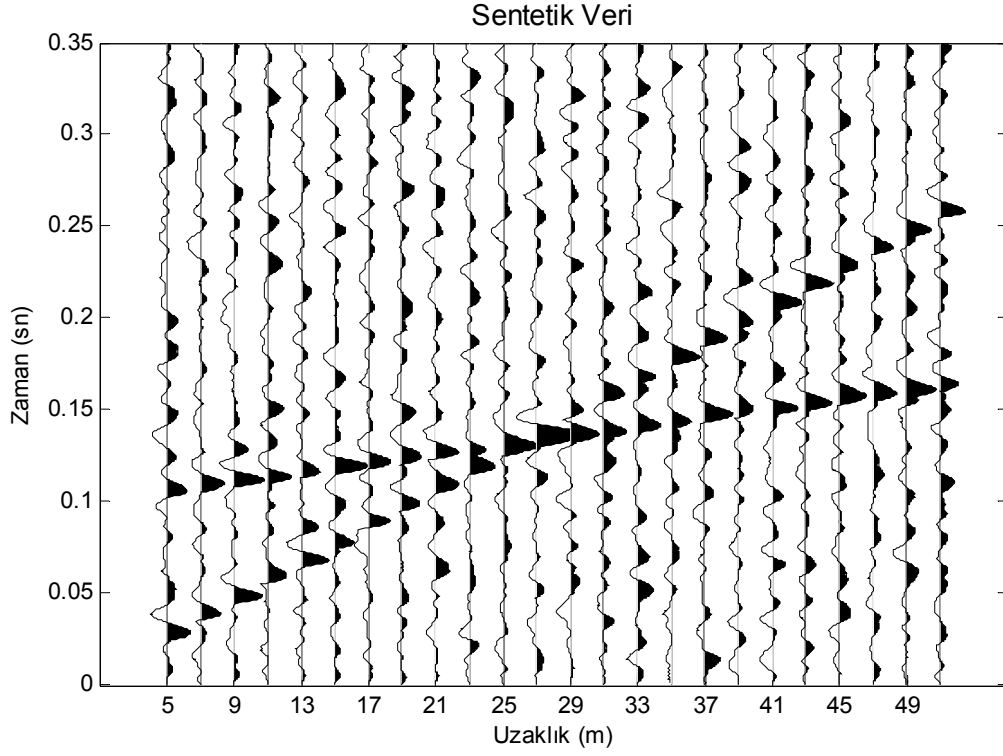
Şekil 2.19. MatLab modelinden elde edilen veriye konvolüsyon sonrası %85 gürültü eklenen sismik kırılma verisi, ilişki fonksiyonu ve ilişki fonksiyonu üzerinde yapılan ilk varış işaretlemesi.



Şekil 2.20. MatLab modelinden elde edilen veriye konvolüsyon sonrası %85 gürültü eklenen sismik kırılma verisi için hesaplanan teorik seyhat zamanları ile ilişki fonksiyonundan elde edilen ilk varış zamanlarının karşılaştırılması.

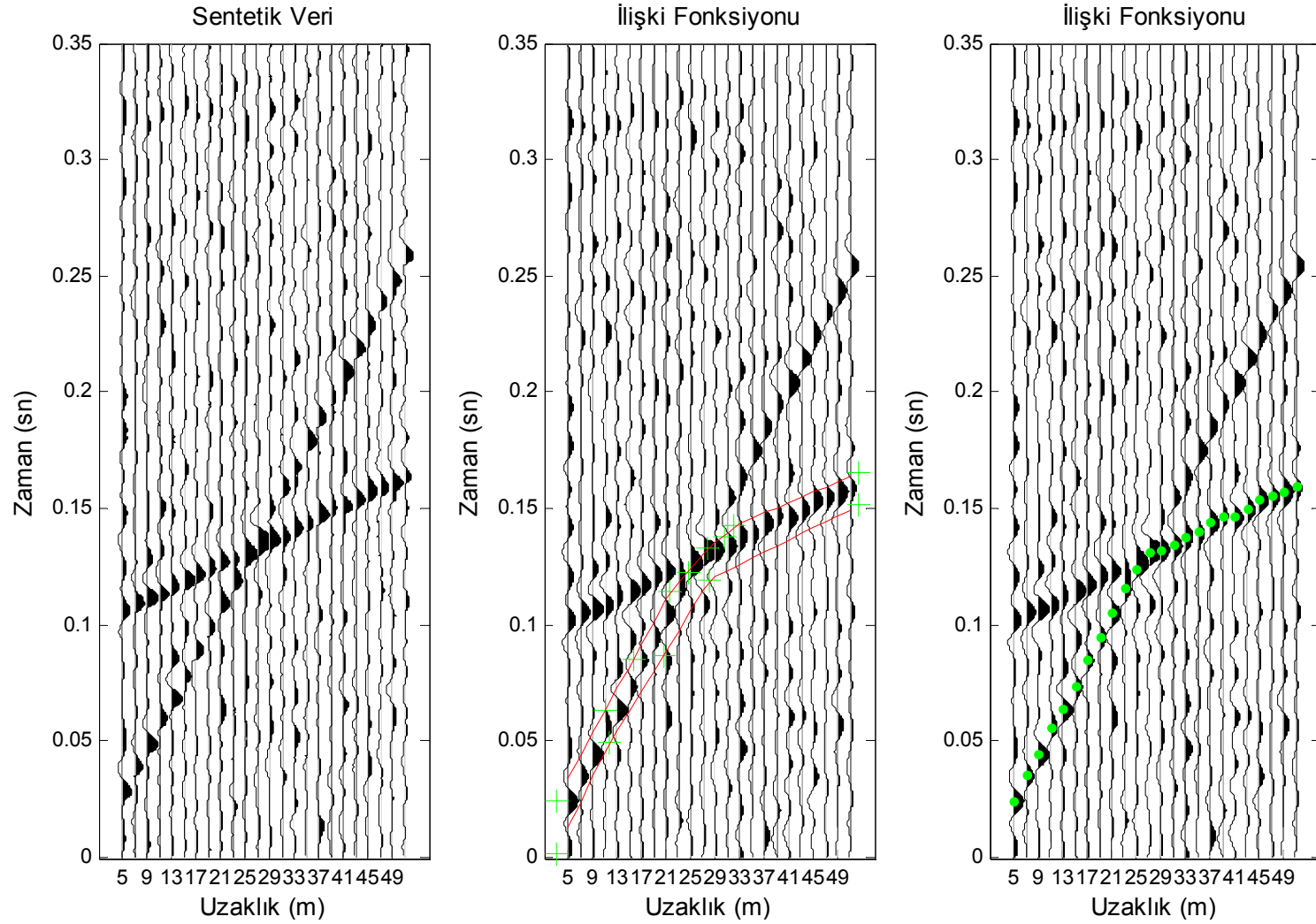


Şekil 2.21. Gürültüsüz veri ile konvolüsyon öncesi %0.1 gürültü eklenen verinin ilk alıcılarındaki sinyallerin genlik spektrumları.



Şekil 2.22. Konvolüsyon öncesi %0.1 gürültü eklenen yapay sismik kırılma verisi.

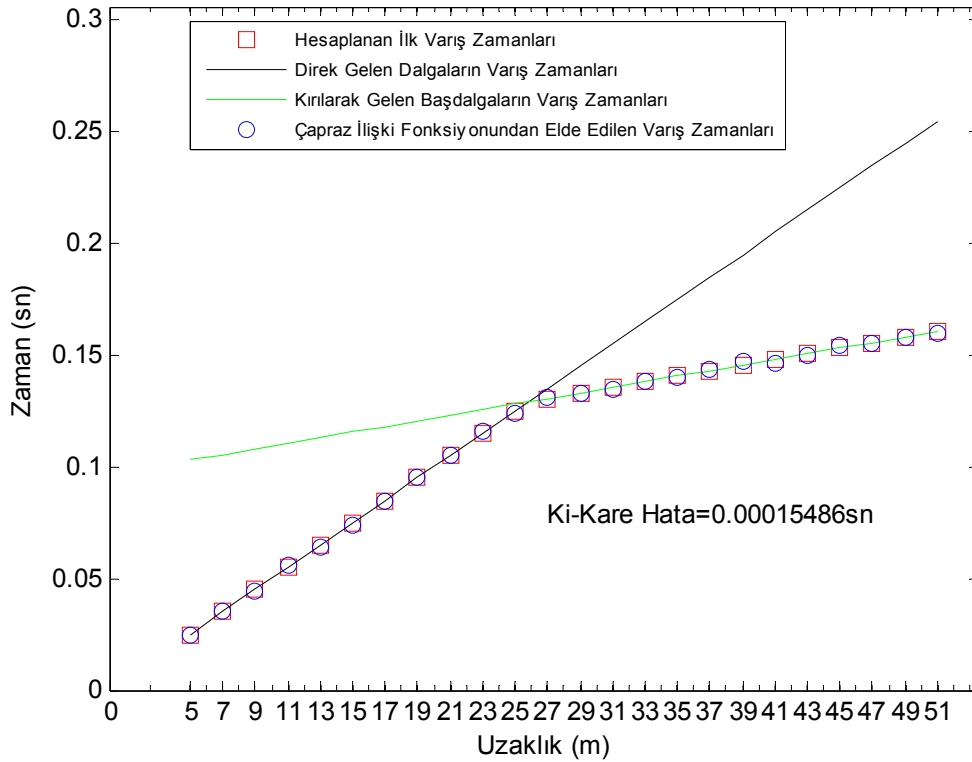
Şekil 2.22'deki sismik izin, izi oluşturan kaynak ile ilişki işlemine tabii tutulduğunda elde edilen ilişki fonksiyonu ve ilişki fonksiyonu üzerinde yapılan yarı otomatik işaretlemeler Şekil 2.23'de verilmiştir.



Şekil 2.23. Konvolüsyon öncesi %0.1 gürültü eklenen sismik kırılma verisi, ilişki fonksiyonu ve ilişki fonksiyonu üzerinde yapılan ilk varış işaretlemesi.

Elde edilen ilişki fonksiyonu en az yapay iz kadar karmaşık bir yapıya sahiptir. Fakat ilişki fonksiyonu üzerinde yapılacak işaretlemelerde amaç maksimum ilişki değerlerini belirlemek olduğu için yapılan alan belirleme işlemi ile ilişki fonksiyonunun karmaşıklığı indirgenmektedir. Burada hem kullanılan ilişki işleminin faydası hem de hedef alan seçme işleminin avantajı ön plana çıkmaktadır.

Elde edilen ilk varış zamanları teorik seyahat zamanları ile karşılaştırıldığında hata oranının önceki izlerde elde edilen hata oranından daha fazla hatalı olduğu görülmektedir (Şekil 2.24). Fakat tüm hata oranlarının değerleri incelendiğinde birbirlerine göre göreceli değişimlerinin aslında Ki-Kare güven aralığı açısından çok çok küçük bir değer ifade ettiği anlaşılmaktadır. Elde edilen değerler Tablo 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.24. Konvolüsyon öncesi %0.1 gürültü eklenen sismik kırılma verisi için hesaplanan teorik seyahat zamanları ile ilişki fonksiyonundan elde edilen ilk varış zamanlarının karşılaştırılması.

Tablo 2.3. Konvolüsyon öncesi %0.1 gürültü eklenen sismik kırılma verisi için hesaplanan teorik seyahat zamanları ile ilişki fonksiyonundan elde edilen ilk varış zamanlarının liste şeklinde karşılaştırılması.

Ofset (m)	Teorik Seyahat Zamanları (sn)	İlişki Fonksiyonundan Elde Edilen İlk Varış Zamanları (sn)
5	0,0250	0,0245
7	0,0350	0,0355
9	0,0450	0,0445
11	0,0550	0,0560
13	0,0650	0,0640
15	0,0750	0,0740
17	0,0850	0,0850
19	0,0950	0,0950
21	0,1050	0,1050
23	0,1150	0,1160
25	0,1250	0,1240
27	0,1306	0,1310
29	0,1331	0,1325
31	0,1356	0,1345
33	0,1381	0,1380
35	0,1406	0,1400
37	0,1431	0,1440
39	0,1456	0,1470
41	0,1481	0,1465
43	0,1506	0,1500
45	0,1531	0,1540
47	0,1556	0,1555
49	0,1581	0,1575
51	0,1606	0,1595

2.3. Dalga Yayılım Modeli ve Analiz

Dalga yayılım modellerini diğer modelleme tekniklerinden ayıran en önemli fark, sismik izin doğrudan kendisinin değil bir kaynak dalgacığının yer altı hız modeli boyunca yayılımının modellenmesidir. Sismik iz ise, yayılımı modellenen dalganın, yer altı hız modeli boyunca hareketi sonucunda oluşur. Bu şekilde saha çalışmalarında yapılan atışlar yüksek hassasiyetle modellenmeye çalışılır. Dalga yayılım modelinden elde edilen izler ile, konvolüsyon modellemelerinden elde edilen izleri fark, dalga yayılım modellerinin daha fazla gerçeği yansıtmasıdır. Yöntemin buradan elde edilen izler üzerinde denenmesi yöntemin gerçek saha koşullarında toplanan veriler üzerinde çalışabileceğini gösterir. Ayrıca buradan elde edilecek izlere de konvolüsyon modellerinde olduğu gibi belli oranlarda gürültü eklenerek uygulamalar yapılacaktır.

Dalga yayılım modeli ve yapay veri Landmark Promax yazılımı (sonraki paragraflarda sadece Promax olarak belirtilecektir) yardımıyla oluşturulacaktır. Promax yazılımı aynı anda sismik modelleme, veri işlem ve yorum yapılabilen geniş kapsamlı bir paket yazılımdır. Özellikle enerji sektöründe birçok firma tarafından kullanılmaktadır. Yazılım birçok farklı modüle sahiptir. Kullanıcı arzu ettiği modülleri tek tek veya sıralı şekilde veriye uygulayabilir.

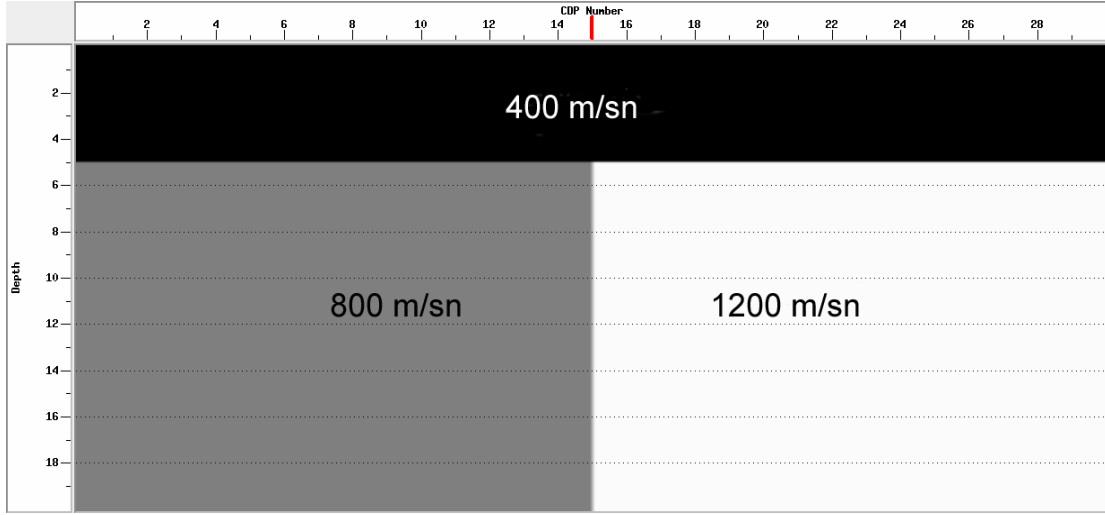
Promax yazılımında çeşitli modelleme modülleri bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan modelleme modülü sonlu farklar yöntemi ile çalışmaktadır. Modelleme modülü üzerinde tanımlanan alanlar sonlu farklar yöntemi ile iki boyutta gridlere bölünür. Her dörtgen grid noktasındaki hız ve yoğunluk değerleri (çalışma boyunca tüm tabakalara ait yoğunluk değerleri aynı kabul edildiğinden yoğunluk parametresinden ilerleyen bölümlerde bahsedilmeyecektir) hücre içerisinde sabittir. Bu grid noktaları arasında yapay P (basınç) dalgası yayılımı yapılır. Dörtgen grid noktalarının en uygun küçüklükte kullanılması ani yanal hız değişimlerinin dalga yayılımı ile kolayca ilişkilendirilmesini sağlar.

Modelleme sırasında yer altı, sonlu uzunluktaki bir ofsette, nokta kaynak modeli ile hat içi ve hat dışı atışlar yapılarak modellenmeye çalışılmıştır. Nokta kaynak modeli bu tip modelleme çalışmaları sırasında en doğru veriyi elde edebileceğimiz kaynak modelidir. Yapılan modellemede sadece P dalgası modellenmiştir. Kesme dalgası ve yüzey dalgası modellemesi bu çalışma için bir önem arz etmemekte ve hesap zamanını arttırmaktadır. Hesaplanan yapay veriler Seg-y formatında depolanır.

Modelleme için oluşturulan modeller sonlu farklar yöntemi kullanılarak tasarlanır. Farklı bilim dallarındaki birçok problemin çözümünde diferansiyel denklemlerin hesaplanması gerekir. Ancak birçok diferansiyel denklemin analitik çözümü ya çok zordur ya da imkânsızdır. Bu nedenle diferansiyel denklemlerin çözümünde çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlardan biriside Sonlu Farklar Yöntemi'dir. Yöntemin esası, hedef yüzey veya alanı bir çözüm alanı (grid ağı) içerisine almak ve bu çözüm alanının karakteristik bölgelerinde (düğüm noktaları) diferansiyel denklem değerlerinin bir yaklaşımla belirlemektir. Çözüm alanını oluşturan grid noktaları bir boyutlu olabileceği gibi iki veya üç boyutluda olabilir. Bu grid noktaları arasındaki çeşitli ilişkilerle oluşturulan sonlu farklar denklemleri, bize diferansiyel denklem değerlerinin elde edilmesi sırasında kullanılacak olan yaklaşımları verir. Çözüm sırasında kararlı yaklaşımlar için

sınır ve başlangıç şartları kullanılır. Bu şartlar çözüm ağı içerisindeki belirli başlangıç veya sınırlara ait diferansiyel denklem çözümünü verir.

Yazılım üzerinde 1 adet model hazırlanmıştır. Yapılan modelde bir yanal süreksizlik göz önüne alınmıştır. Kullanılan tabaka hızları 400 m/sn, 800 m/sn ve 1200 m/sn'dir (Şekil 2.25).

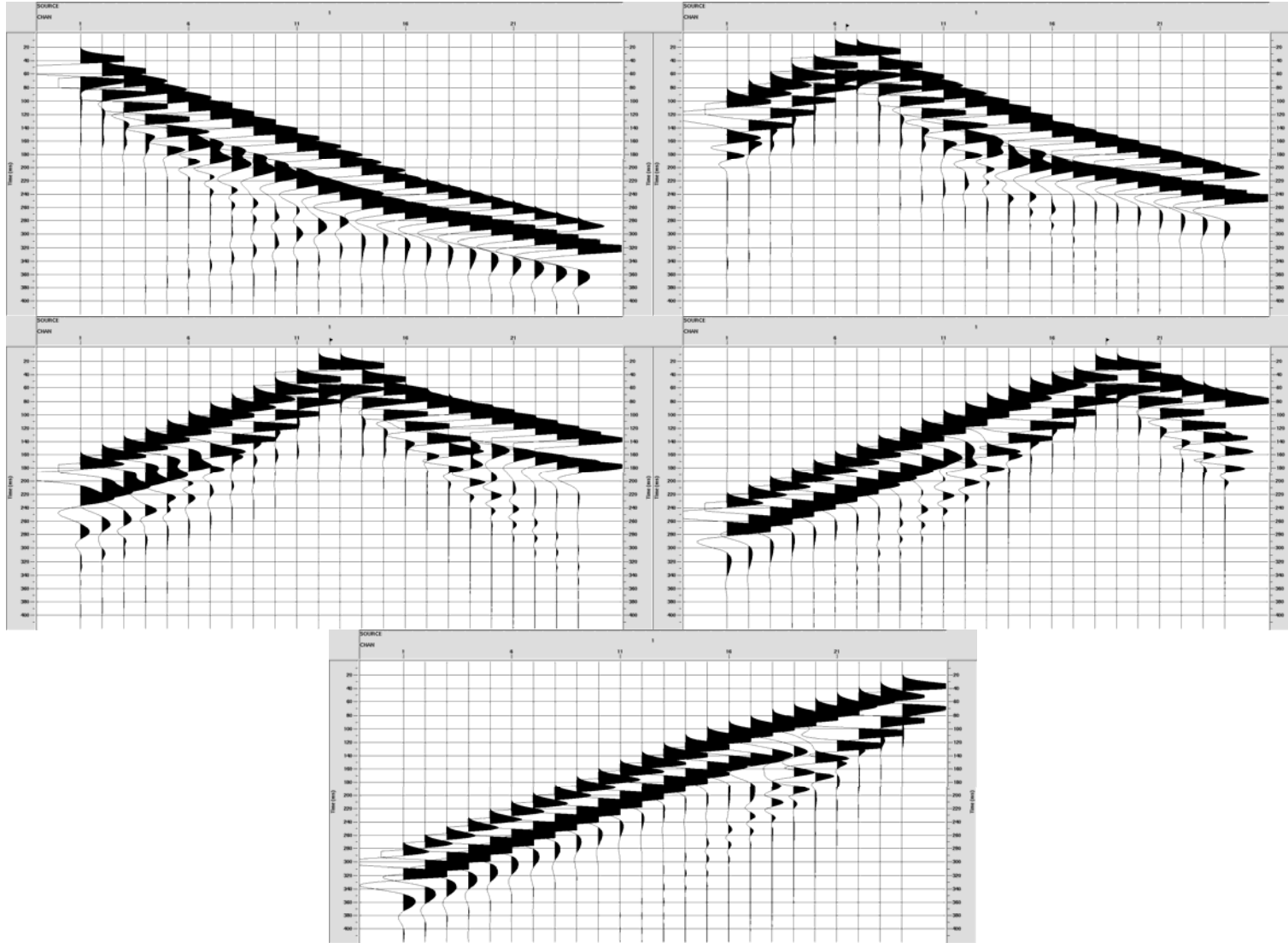


Şekil 2.25. Promax yazılımı üzerinde oluşturulan yanal süreksizlik modeli.

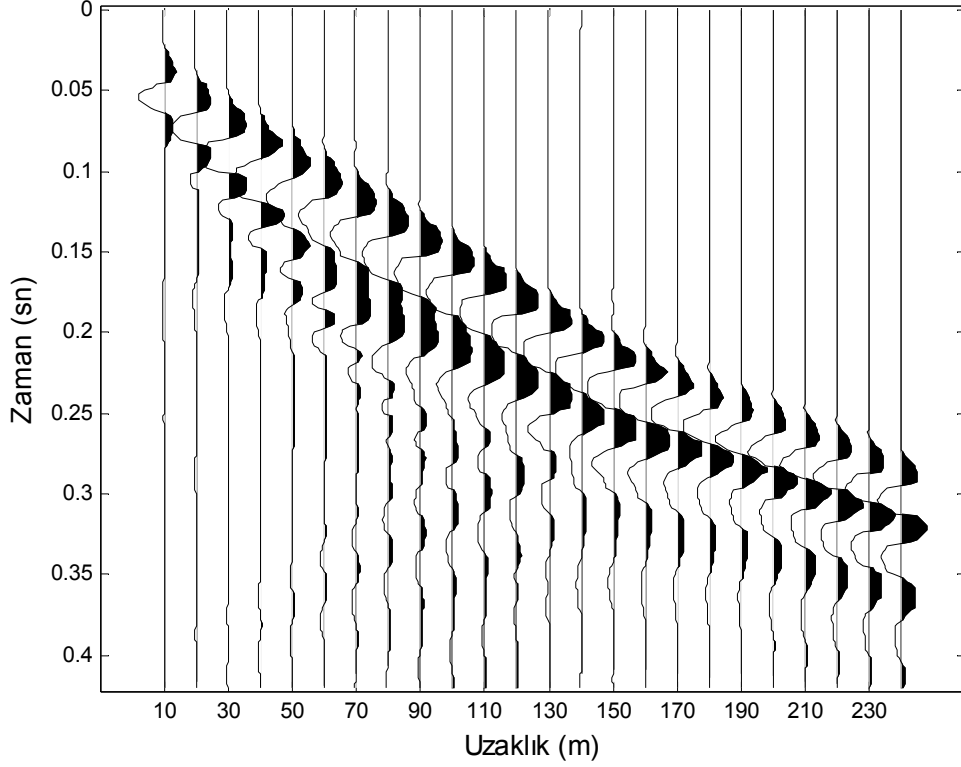
Bu model üzerinden oluşturulacak yapay iz için kaynak modeli nokta kaynak olarak seçilmiştir. Seçilen model ve iz parametreleri bir önceki modellerde olduğu gibi direk gelen dalgalar ile kırılarak gelen dalgaların ayrımının net yapılabileceği şekilde seçilmiştir. Kullanılan model ve iz parametreleri;

- Zaman örnek aralığı; 2 ms.
- Kayıt uzunluğu; 420 ms.
- Kaynak frekansı; 30 Hz.
- Kaynak dalgacığı; Minimum faz Ricker
- Modelleme derinliği; 20 m.
- Alıcı aralığı; 10m.
- Alıcı sayısı; 24 adet
- Atış sayısı; 5 adet
- Atış koordinatları; 0 m., 65 m., 125 m., 185 m., 250 m.'dir.

Oluşturulan model üzerinden elde edilen yapay izlerin Promax yazılımı üzerinde ilişki yöntemi ile değerlendirilmesi mümkün değildir. Dolayısıyla izler Seg-y uzantılı dosyalar olarak MatLab'a aktarılmıştır. İzler MatLab üzerinde çizdirildiğinde önceki bölümlerde bahsedilen 'verinin görüntülenme faktörü'nün önemi ortaya çıkmıştır. Çünkü izler Promax üzerinde görüntülendiğinde, yazılımın sahip olduğu görüntüleme ve zaman örnekleri arasında ara değer belirleme algoritması ilk varış işaretlemesinin yapılmasını daha kolay hale getirmektedir (Şekil 2.26). Aynı izler MatLab üzerinde çizildiğinde ise ilk varış bilgilerinin elde edilmesi zorlaşmaktadır (Şekil 2.27). Çünkü yazılım sahip olduğu görüntüleme ve ara değer belirleme yeteneği gereğince bize bilgi sunmaktadır. Şüphesiz Promax'ın sismik iz görüntüleme konusunda daha yetenekli olması beklenir çünkü Promax sismik veri görüntüleme, işleme ve değerlendirme adına yazılmış özel bir yazılımdır.



Şekil 2.26. Promax üzerinde oluşturulan yanal süreksizlik modeline ait atış verilerinin Promax üzerinde görünümü.



Şekil 2.27. Promax üzerinde oluşturulan yanal süreksizlik modeline ait ilk atış (0 m.) verisinin MatLab üzerinde görünümü.

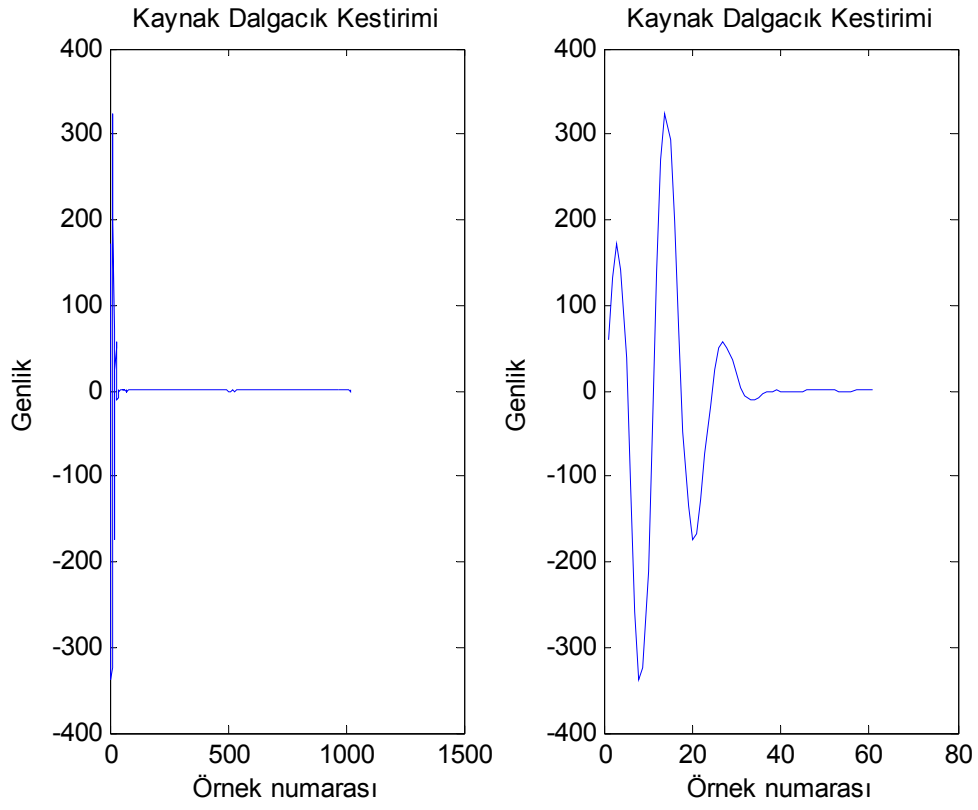
İzler MatLab ortamına aktarıldıktan sonra yapılacak işlem önceki modellerde olduğu gibi ize, izi oluşturan kaynak fonksiyonu ile ilişki işlemi uygulamaktır. Fakat burada MatLab modellerinden farklı olarak, kaynak olarak kullanılan minimum fazlı Ricker dalgacığının fonksiyonundan yararlanarak bir dalgacık fonksiyonu oluşturmak yerine, kaynak fonksiyonunun, izin ortalama güç spektrumundan kestirimi veya izin istenilen herhangi bir kanalından kaynak fonksiyonu olabileceği düşünülen bölümünün seçilmesi yoluna gidilmiştir. Böylelikle yöntemin saha kayıtlarında kullanımına yönelik zemin oluşturulmuştur. Çünkü sismik kırılma çalışmalarına ait saha kayıtlarında çoğunlukla kontrolsüz kaynak kullanıldığından kaynak fonksiyonu bilinmez. Yöntemin çalışma prensibi gereği bir kaynak fonksiyonu oluşturulması zorunlu olduğundan, program izden bir kaynak kestirimi yapacak şekilde tasarlanmıştır.

Promax üzerinde yapılan modellemede konvolüsyon modeli yerine dalga yayılım modeli kullanıldığından izlere ait herhangi bir dalga seyahat zamanı yoktur. Bu nedenle yöntemden elde edilen ilk varış değerlerinin karşılaştırılması Promax üzerinde yapılan ilk varış işaretlemeleri ile karşılaştırılacaktır. Promax'ın diğer yazılımlara göre veri görüntülemeye daha başarılı olduğunu önceki paragraflarda bahsedilmiştir. Bu nedenle

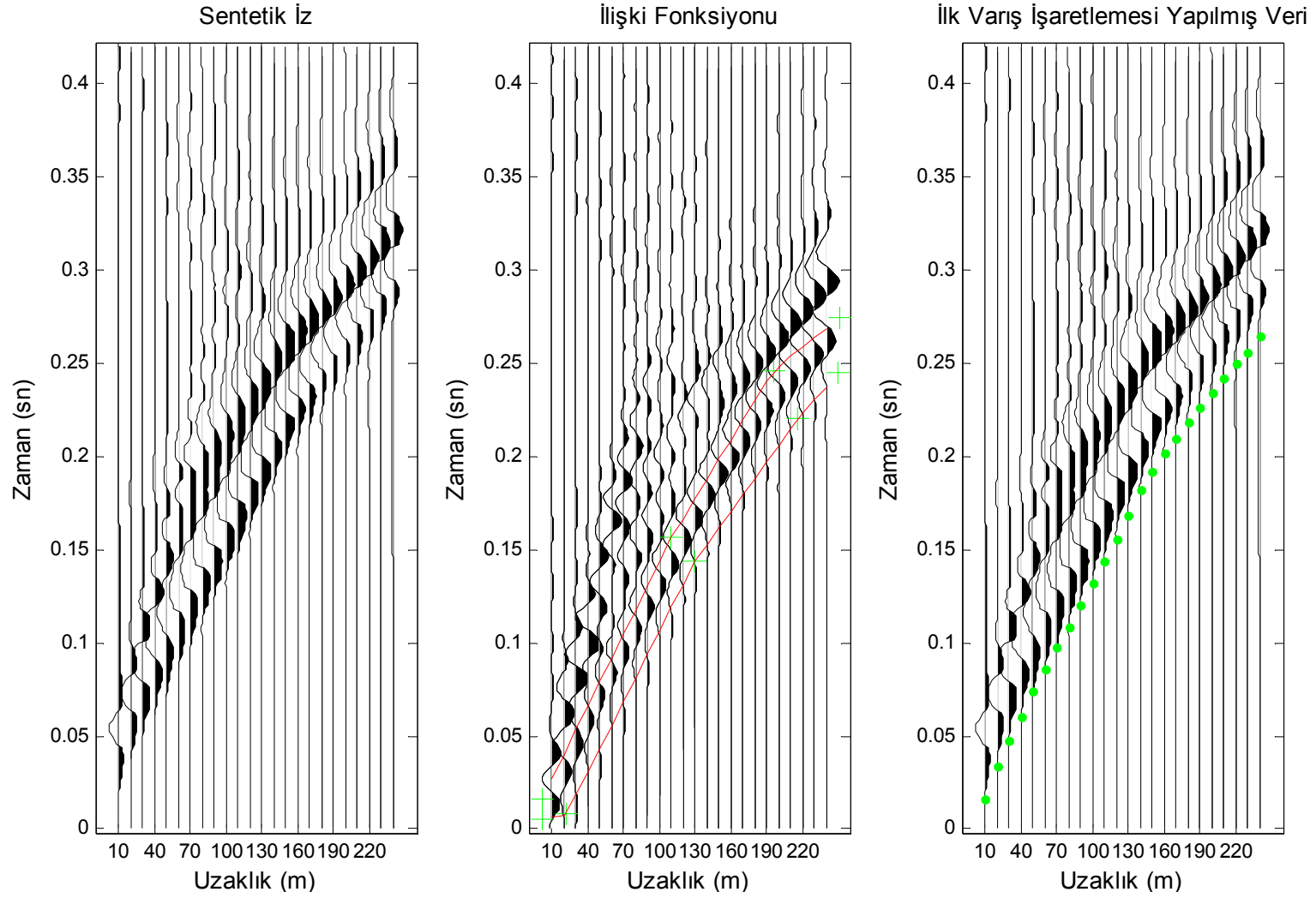
buradan elde edilen değerleri bir karşılaştırma kriteri olarak kullanmak, herhangi bir karşılaştırma yapmaktan daha avantajlı olacaktır. Fakat burada yapılan karşılaştırma sırasında Promax üzerinde yapılan işaretlemenin bir kullanıcı tarafından yapıldığını ve daha önceki bölümlerde bahsettiğimiz görüntüleme ve işaretleme hassasiyeti faktörlerinin yapılan işaretlemeleeri etkilediğini unutmamamız gerekir.

Model üzerinde ilk atış noktasında ilişki fonksiyonu için gerekli kaynak fonksiyonu Şekil 2.28’de, bu atış noktası için elde edilen yapay sismik kırılma izi, ilişki fonksiyonu ve işaretlenen ilk varış zamanları Şekil 2.29’da verilmiştir. Şekil 2.24’da işaretlenen ilk varış zamanlarına bakıldığında, bazı işaretlemeleeri görünenden daha erken zamanlarda olduğu görölmektedir hâlbuki aynı izin her kanalına yakından bakıldığında işaretlemeleeri olması gereken ilk varış noktalarında ya da çok yakında olduğu görölmektedir (Şekil 2.30). Yöntem ile belirlenen ilk varışların, Promax üzerinden elde edilen ilk varışlar ile karşılaştırılmasından elde edilen Ki-kare hata Şekil 2.31’de gösterilmiştir. Hata miktarına bakıldığında, hatanın mevcut güven değerleri içinde olduğu görölmektedir. Elde edilen zamanlar arasında hangisinin daha doğru olduğu ise yorumcuya bağlıdır. Ancak Promax üzerinde yapılan işaretlemenin görsel bir işlemlle yapıldığı unutulmamalıdır. Diğer atışlar için elde edilen ilk varış değerleri ve ki-kare hataları Tablo 2.4’de verilmiştir.

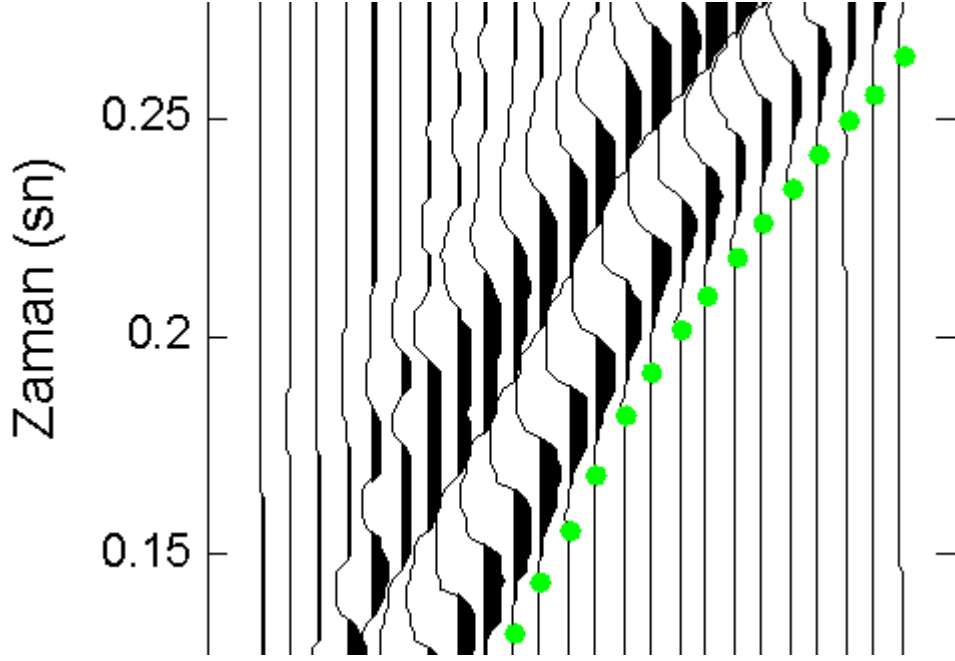
Gürültüsüz Promax modeli üzerinde yapılan bu denemeden sonra model üzerinden ilk kaynak noktası için elde edilen ize, çıkış tabanlı %5, %15 ve %25 gürültü eklenerek yeni izler oluşturulmuş ve yöntem bu izler üzerinde sınanmıştır. Her gürültü oranı için elde edilen iz, ilişki fonksiyonu ve ilk varış değerleri Şekil 2.32-2.34’da gösterilmiştir. Elde edilen sonuçların gürültüsüz veriden elde edilen sonuçlarla uyumluluğu yöntemin kullanılabilirliğini bir kez daha göstermektedir (Şekil 2.35-2.37).



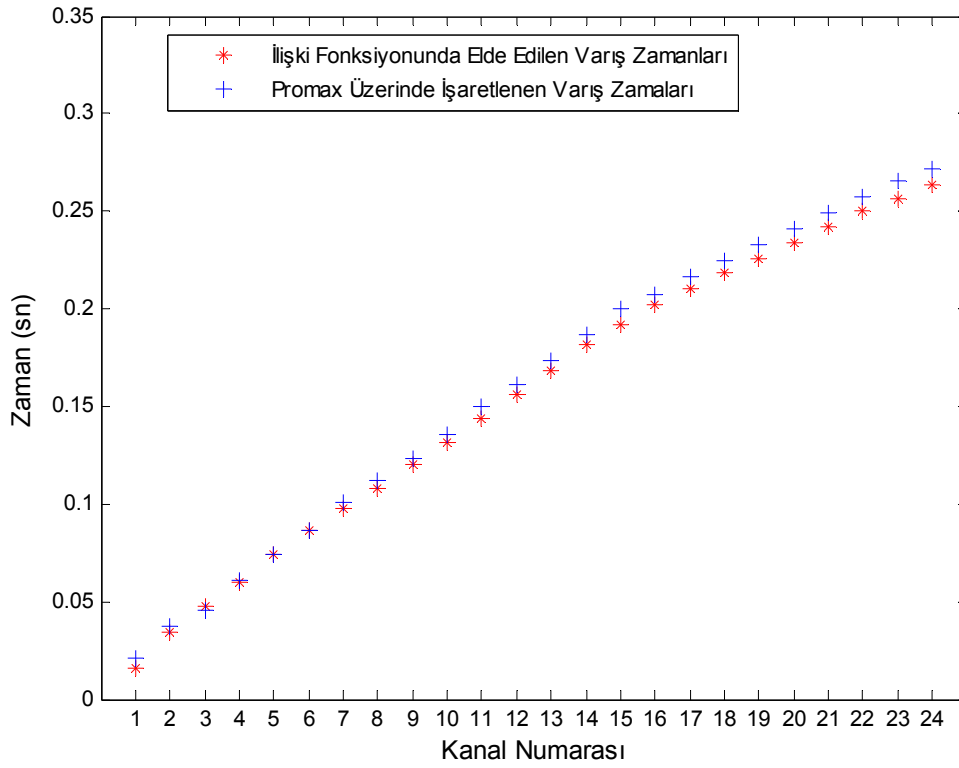
Şekil 2.28. Promax üzerinde oluşturulan yanal süreksizlik modeline ait ilk atış (0 m.) verisinden ortalama güç spektrumu ile elde edilen kaynak fonksiyonu.



Şekil 2.29. Promax üzerinde oluşturulan yanal süreksizlik modeline ait ilk atış (0 m.) verisi, ilişki fonksiyonu ve ilk varış işaretlemesi yapılmış veri.



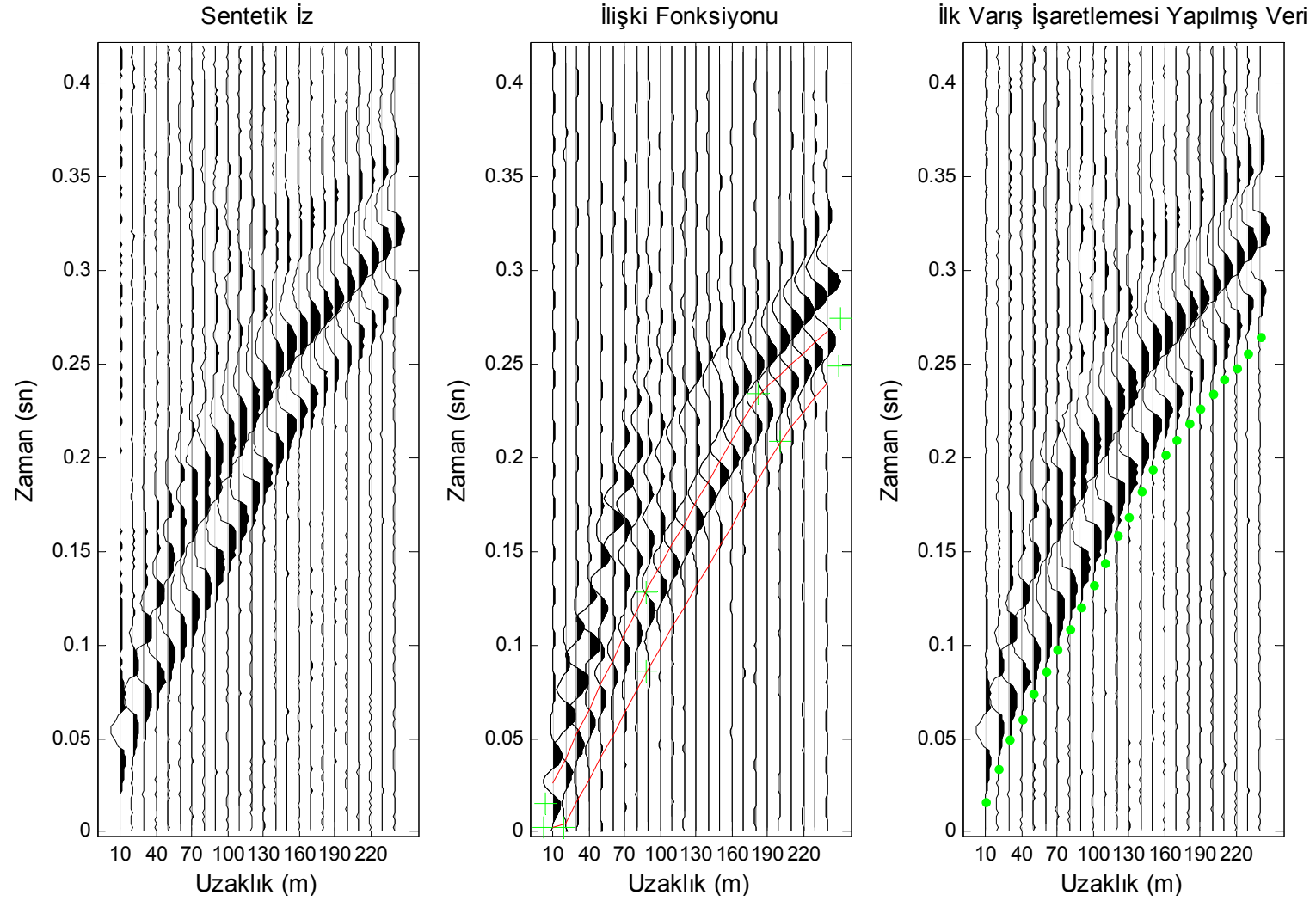
Şekil 2.30. Promax üzerinde oluşturulan yanal süreksizlik modeline ait ilk atış (0 m.) verisi için yapılan ilk varış işaretlemesinin yakından görünümü.



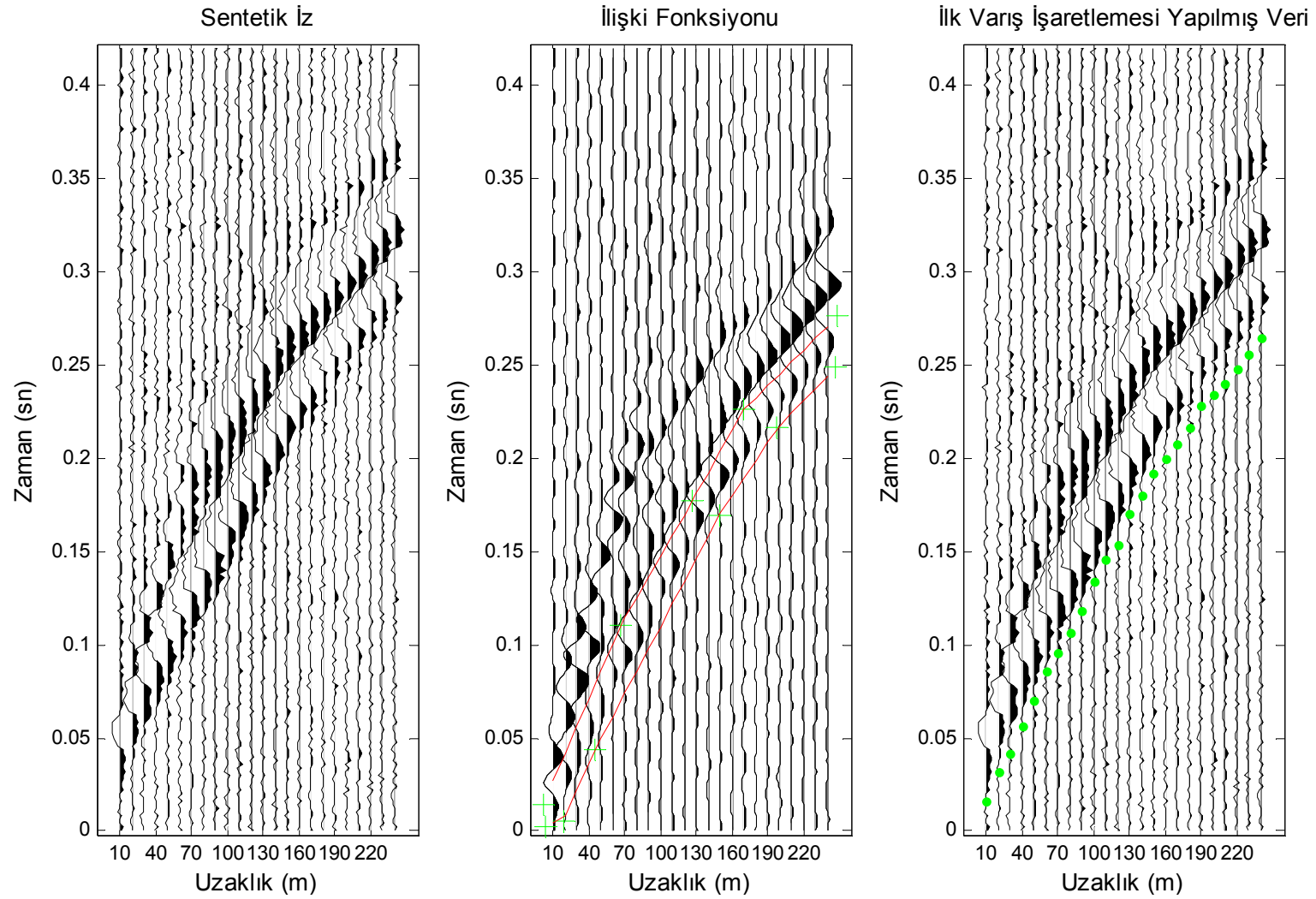
Şekil 2.31. Promax üzerinde oluşturulan yanal süreksizlik modeline ait ilk atış (0 m.) verisi için Promax üzerinde el ile yapılan ilk varış işaretlemeleri ile ilişki fonksiyonu ile elde edilen ilk varış işaretlemelerinin karşılaştırılması.

Tablo 2.4. Promax üzerinde oluşturulan yanal süreksizlik modeline ait tüm atış verileri için Promax üzerinde el ile yapılan ilk varış işaretlemeleri ile ilişki fonksiyonu ile elde edilen ilk varış işaretlemelerinin karşılaştırılması.

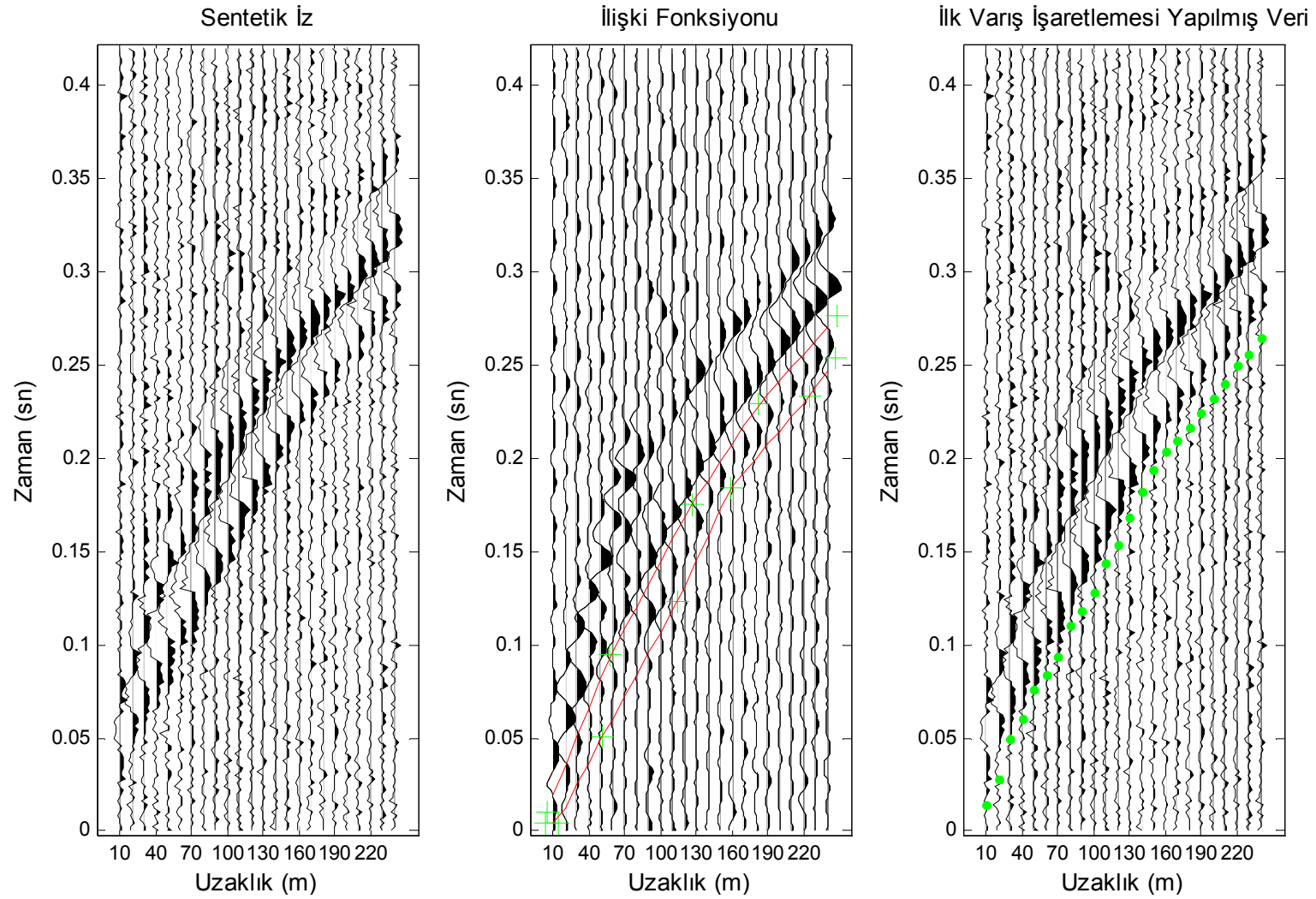
	1.Atış Varış Zamanları (sn)		2.Atış Varış Zamanları (sn)		3.Atış Varış Zamanları (sn)		4.Atış Varış Zamanları (sn)		5.Atış Varış Zamanları (sn)	
	Promax	MatLab	Promax	MatLab	Promax	MatLab	Promax	MatLab	Promax	MatLab
	0,0205	0,0160	0,0809	0,0780	0,1552	0,1480	0,2161	0,2080	0,2704	0,2640
	0,0369	0,0340	0,0676	0,0660	0,1424	0,1360	0,2054	0,1960	0,2587	0,2520
	0,0460	0,0480	0,0543	0,0540	0,1306	0,1240	0,1916	0,1820	0,2453	0,2400
	0,0610	0,0600	0,0425	0,0400	0,1183	0,1120	0,1788	0,1700	0,2315	0,2300
	0,0738	0,0740	0,0297	0,0240	0,1035	0,1000	0,1675	0,1580	0,2208	0,2180
	0,0866	0,0860	0,0082	0,0020	0,0912	0,0880	0,1526	0,1460	0,2074	0,2060
	0,1004	0,0980	0,0077	0,0020	0,0815	0,0760	0,1403	0,1340	0,1951	0,1940
	0,1122	0,1080	0,0297	0,0240	0,0697	0,0620	0,1275	0,1200	0,1829	0,1820
	0,1234	0,1200	0,0359	0,0400	0,0558	0,0540	0,1168	0,1080	0,1711	0,1700
	0,1357	0,1320	0,0564	0,0540	0,0436	0,0400	0,1050	0,0960	0,1593	0,1560
	0,1496	0,1440	0,0681	0,0660	0,0308	0,0220	0,0907	0,0840	0,1450	0,1440
	0,1608	0,1560	0,0794	0,0780	0,0077	0,0020	0,0784	0,0720	0,1337	0,1300
	0,1736	0,1680	0,0932	0,0900	0,0082	0,0020	0,0661	0,0620	0,1209	0,1180
	0,1870	0,1820	0,1055	0,1020	0,0297	0,0220	0,0543	0,0500	0,1081	0,1060
	0,1998	0,1920	0,1173	0,1140	0,0400	0,0400	0,0425	0,0360	0,0963	0,0940
	0,2074	0,2020	0,1260	0,1220	0,0523	0,0480	0,0302	0,0340	0,0866	0,0860
	0,2161	0,2100	0,1357	0,1300	0,0615	0,0560	0,0251	0,0200	0,0809	0,0780
	0,2249	0,2180	0,1439	0,1380	0,0687	0,0640	0,0072	0,0020	0,0707	0,0700
	0,2325	0,2260	0,1516	0,1460	0,0774	0,0700	0,0077	0,0020	0,0635	0,0640
	0,2407	0,2340	0,1603	0,1540	0,0845	0,0780	0,0251	0,0200	0,0543	0,0560
	0,2489	0,2420	0,1685	0,1620	0,0943	0,0860	0,0338	0,0340	0,0466	0,0480
	0,2571	0,2500	0,1772	0,1700	0,1009	0,0960	0,0410	0,0360	0,0389	0,0380
	0,2658	0,2560	0,1854	0,1780	0,1096	0,1040	0,0492	0,0460	0,0297	0,0340
	0,2720	0,2640	0,1941	0,1860	0,1194	0,1120	0,0584	0,0520	0,0195	0,0180
Ki-Kare Hata (sn)	0,0046		0,0146		0,0206		0,0193		0,0018	



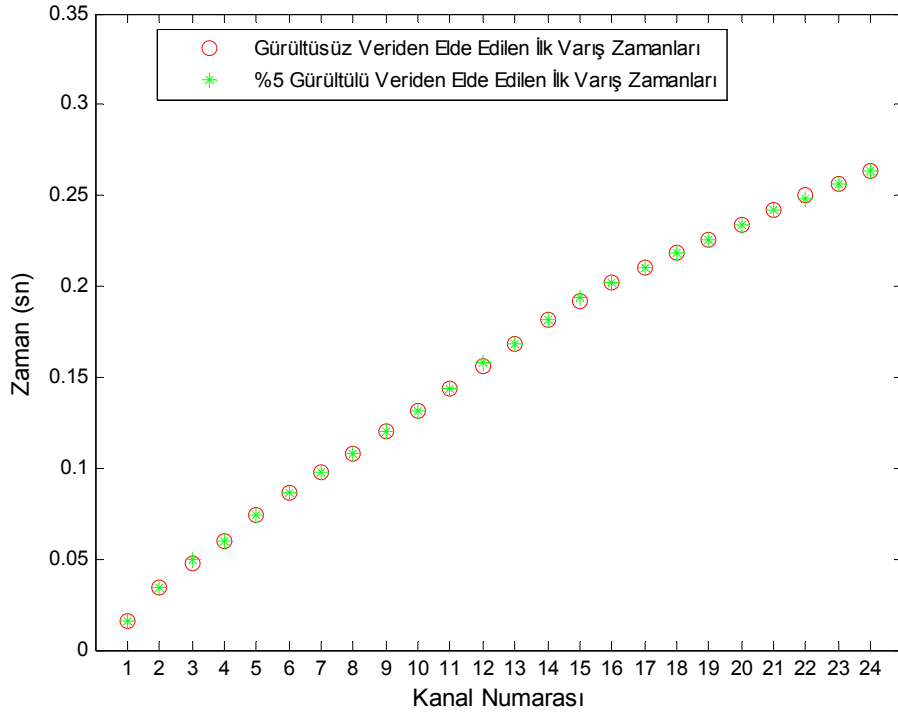
Şekil 2.32. Promax üzerinde oluşturulan yanal süreksizlik modeline ait ilk atış (0 m.) verisine %5 gürültü eklenmiş yapay iz, ilişki fonksiyonu ve ilk varış işaretlemesi yapılmış veri.



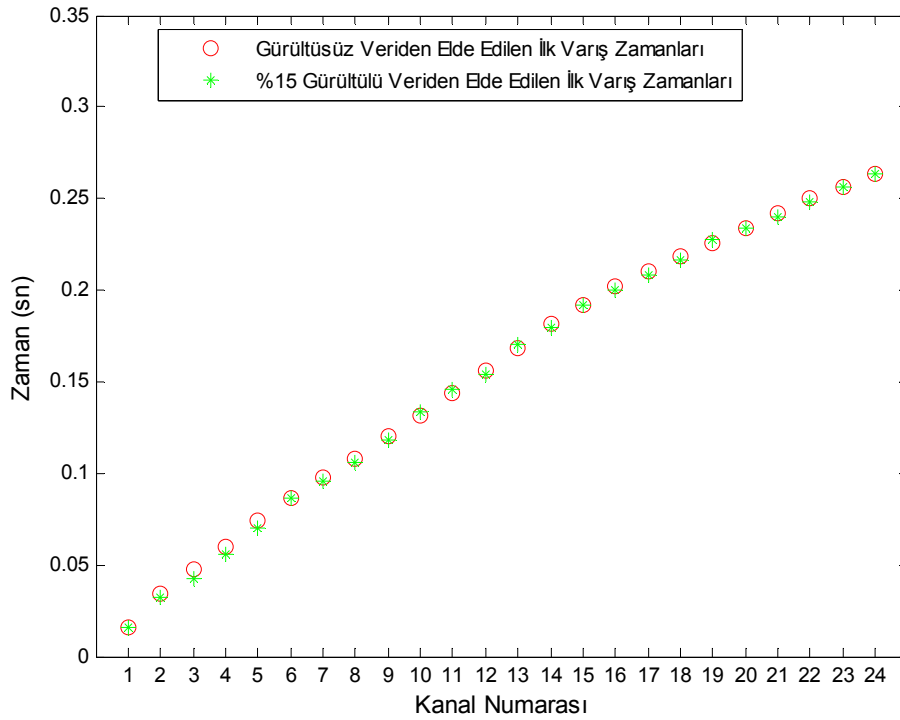
Şekil 2.33. Promax üzerinde oluşturulan yanıl süreksizlik modeline ait ilk atış (0 m.) verisine %15 gürültü eklenmiş yapay iz, ilişki fonksiyonu ve ilk varış işaretlemesi yapılmış veri.



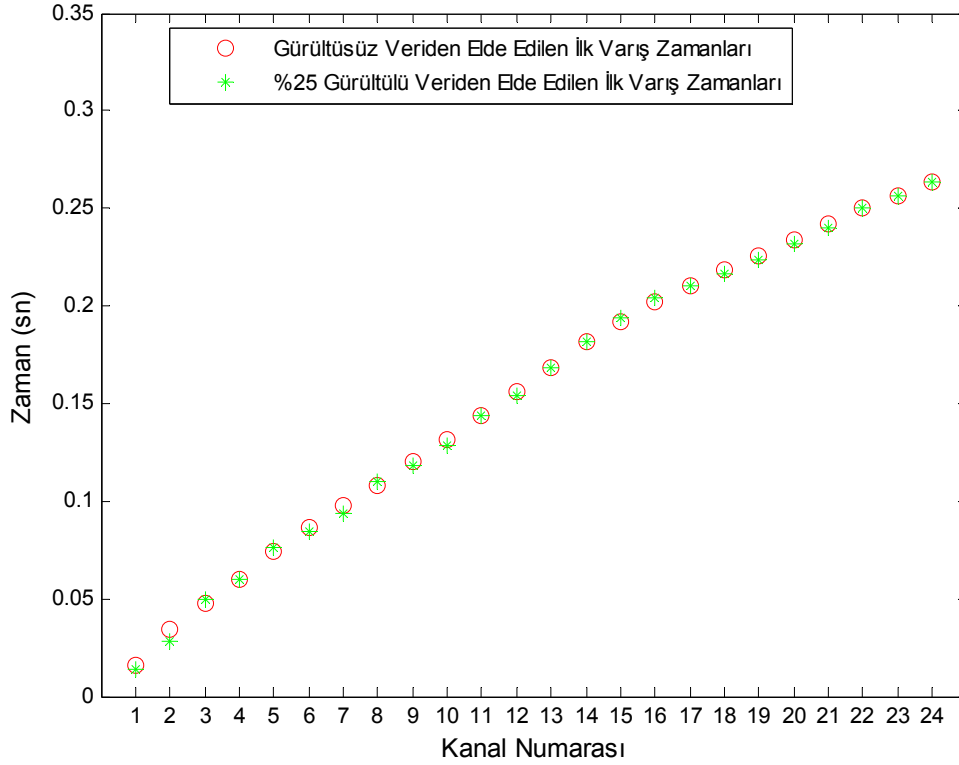
Şekil 2.34. Promax üzerinde oluşturulan yanıl süreksizlik modeline ait ilk atış (0 m.) verisine %25 gürültü eklenmiş yapay iz, ilişki fonksiyonu ve ilk varış işaretlemesi yapılmış veri.



Şekil 2.35. Promax üzerinde oluşturulan yanal süreksizlik modeline ait gürültüsüz ilk atış (0 m.) verisi ile bu veriye %5 gürültü eklenmiş şekli için ilişki fonksiyonundan elde edilen ilk varış zamanlarının karşılaştırılması.



Şekil 2.36. Promax üzerinde oluşturulan yanal süreksizlik modeline ait gürültüsüz ilk atış (0 m.) verisi ile bu veriye %15 gürültü eklenmiş şekli için ilişki fonksiyonundan elde edilen ilk varış zamanlarının karşılaştırılması.



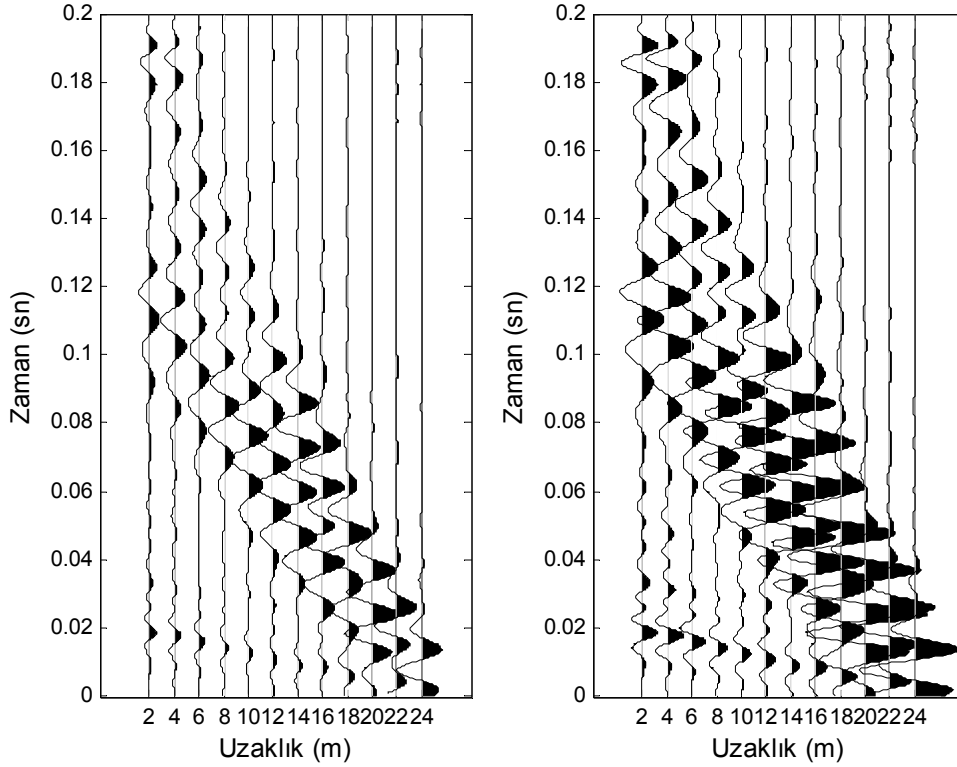
Şekil 2.37. Promax üzerinde oluşturulan yanal süreksizlik modeline ait gürültüsüz ilk atış (0 m.) verisi ile bu veriye %25 gürültü eklenmiş şekli için ilişki fonksiyonundan elde edilen ilk varış zamanlarının karşılaştırılması.

2.4. Saha Verileri Üzerinde Uygulamalar

Yöntem yapay veriler üzerinde sınılandıktan sonra, gerçek saha koşullarında toplanan sismik kırılma verilerinde uygulanmıştır. Bu aşamada kullanılacak veriler tek bir saha çalışmasından değil farklı sahalardan elde edilen veriler içerisinde seçilmeye çalışılmıştır. Çünkü farklı saha koşulları farklı veri karakteristikleri demektir. Dolayısıyla yöntem farklı karakteristikteki veriler üzerinde sınanmış olur. Seçilen veriler özellikle P dalgasına ait izlerden seçilmiştir. Çünkü S dalgası verileri polarite ve genlik açısından P dalgası verilerine göre daha karmaşıktır.

Jeofizik bilimi içinde yapılan bu tür modelleme, veri işleme veya veri değerlendirme çalışmalarında yapılan yapay yer altı modelleri ne kadar hassas olursa olsun yöntemlerin gerçek yer altı koşullarından elde edilen veriler üzerinde denenmesi gerekir. Çünkü yapılan yapay modeller belirli matematiksel ve fiziksel temellere dayanır dolayısıyla gerçek bir yer altı koşulundaki karmaşıklığa ulaşması çok zordur.

Saha çalışmalarından elde edilen verilerin değerlendirilmesi sırasında karşılaşılan bazı zorluklar vardır. Bunlar, polarite dönmeleri ve geç varış genliklerinin ilk varış genliklerinden büyük olmasıdır. Geç varış bilgilerinin, erken varışları bastırması, ilişki fonksiyonundan erken varışlara ait maksimum ilişki değerlerinin, geç varışlara ait maksimum ilişki değerleri tarafından bastırılmasına neden olmaktadır. Bu sorunun aşılması için ilişki işleminden elde edilen değerlerinin çizdirilmesi sırasında genlik oranı artırılmıştır ve değerlerin daha seçilebilir olması sağlanmıştır (Şekil 2.38). Polarite dönmesi sorunu ise bize ilişki sonucu üzerinde pozitif maksimum ilişki değerleri yerine, negatif maksimumlar vermektedir. Bu sorun işaretlemenin her kanal üzerinden tek tek yapılması sırasında bir sorun teşkil etmez ancak işaretlemenin alan seçimi ile yapılması sırasında sorun yaratabilir. Bu nedenle program seçilen alan içerisindeki genliklerin mutlak değerleri üzerinde işlem yapacak şekilde tasarlanmıştır. Dolayısıyla bir ilişki değerinin negatif veya pozitif maksimum değer olması işaretlemenin yerini değiştirmeyecektir.



Şekil 2.38. Bir sismik kırılma verisinin farklı genlik faktörleri ile MatLab üzerinde çizdirilmesi. Uygun yüksek genlik faktörleri genliklerin daha iyi görülmesini sağlayabilir fakat genlik faktörünün çok yükseltilmesi genliklerin birbirine girmesine yol açabilir.

Bu bölümde kullanılacak veriler Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği bölümüne ait olan Geometrics ES 3000 cihazı ile alınmış olan sismik kırılma

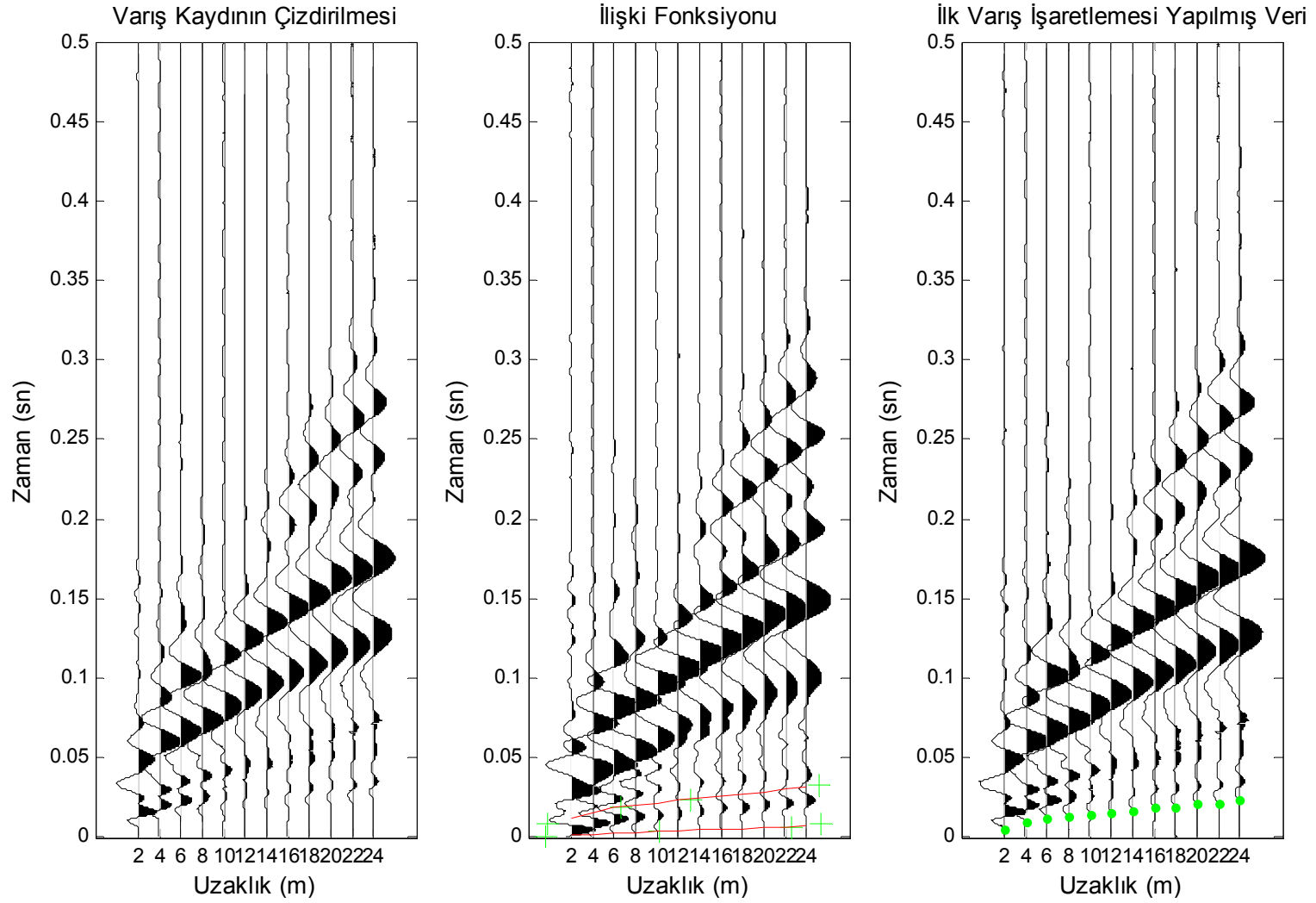
verileridir. Toplam beş adet veri üzerinde yöntem uygulanacaktır. Verilerin alınması sırasında kullanılan yan ekipmanlar aynıdır, tek değişken verinin alındığı ortamdır. Kullanılan veriler sırayla deneme1, deneme2,...,deneme5 verisi olarak isimlendirilecektir. Verilerin gürültü içeriği ve ilk varış işaretlemesi yapılabilirliği hakkında daha açık bir fikir sahibi olunması için verilerin, global anlamda ve ülkemizde sismik kırılma verilerinin görüntülenmesinde ve ilk varış işaretlemesinin yapılmasında sıkça kullanılan Seisimager Pickwin programındaki görünümüleri verilecektir. Deneme1 verisi diğer verilere göre en temiz kayıttır. Bu tip verilerde yorumcu ilk varış zamanlarını işaretlemede zorluk yaşamaz fakat işaretlenen zamanları matematiksel doğruluğu doğrudan önceki bölümlerde anlatılan verinin görüntüleme faktörüne bağlıdır. Kullanılan diğer sismik kırılma verilerinde ise ilk varışlar sadece yakın alıcılarda işaretlenebilmekte, kaynaktan uzaklaştıkça ilk varış bilgileri gürültüler tarafından bastırılmaktadır. Bu tip verilerde uzak alıcılardaki işaretlemeler yakın alıcılardaki işaretlemeler temel alınarak yapılabilir. Fakat elde edilen ilk varış bilgisinin doğruluğu tartışmaya açıktır.

Saha verileri üzerinde yapılan uygulamalarda, kaynak fonksiyonları verilerin temiz bir kanalı üzerinden yapılmıştır. Kaynak fonksiyonu seçimi sırasında verilerin erken varış bölgeleri kullanılmıştır. Çünkü erken varışlar geç varışlara göre, kaynak dalganın yeraltında hareketi sırasında maruz kaldığı faktörlerden nispeten daha az etkilenirler. Dolayısıyla bu bölgeden seçilecek bir kaynak fonksiyonu, kullanılan kaynağın dalga formunu daha iyi temsil eder.

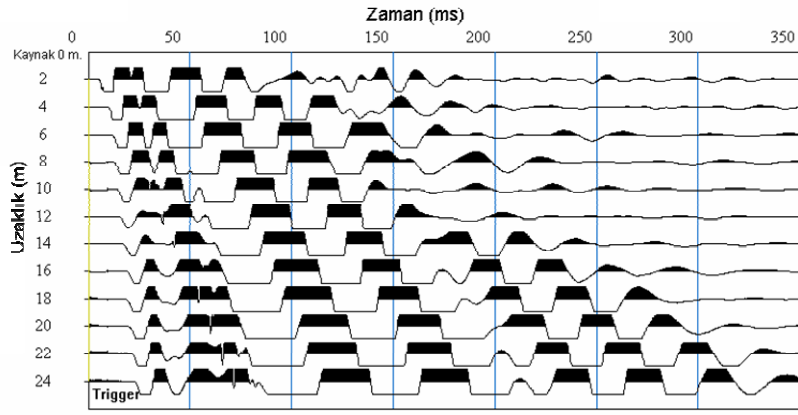
İlişki fonksiyonu üzerinde ilk varış zamanlarının aranması istenilen bölgenin seçimi sırasında ise, erken varış bölgelerindeki maksimum ilişki değerlerinin bulunduğu alanlar seçilmelidir. Çünkü bir sismik kırılma verisinde ilk varış, arka fon gürültüden sonra kayıt edilen ilk olay olarak tanımlanır. Dolayısıyla, alan seçiminde bu tanıma uygun hareket edilmelidir.

Saha verileri üzerinde yapılan denemelerden ilki nispeten temiz olan deneme1 verisi üzerinde yapılmıştır. Verinin MatLab üzerinde zaman ortamındaki görüntüsü, ilişki fonksiyonu ve elde edilen ilk varış değerleri Şekil 2.39'da verilmiştir. Deneme1 verisinin Pickwin görünümü Şekil 2.40'da verilmiştir. Deneme1 verisi için kaynak fonksiyonu 1. kanal üzerinden yapılmıştır. Elde edilen zamanların veri ile uyumluluğu gayet açıktır.

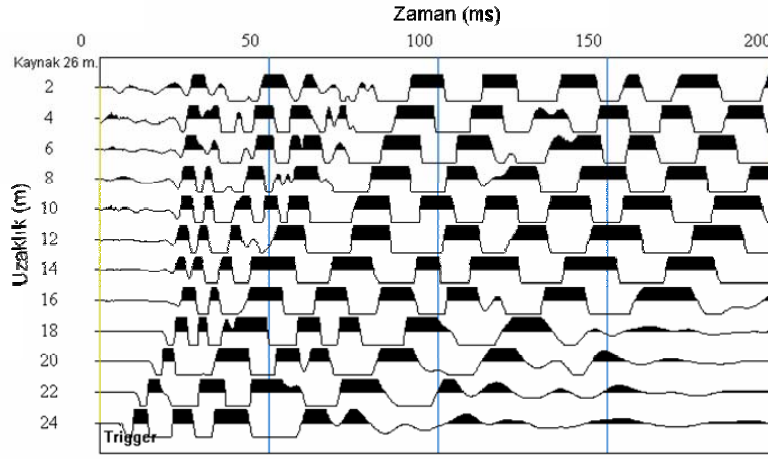
Yöntem daha sonra sırayla diğer deneme verilerine uygulanmıştır. Bu verilerin Pickwin üzerindeki görüntüleri Şekil 2.41-2.44 arasında verilmiştir.



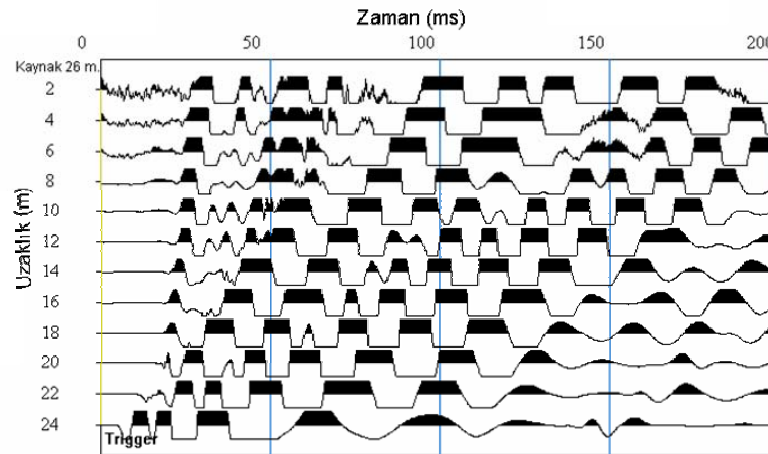
Şekil 2.39. Deneme1 verisi, ilişki fonksiyonu ve ilk varış işaretlemesi yapılmış veri.



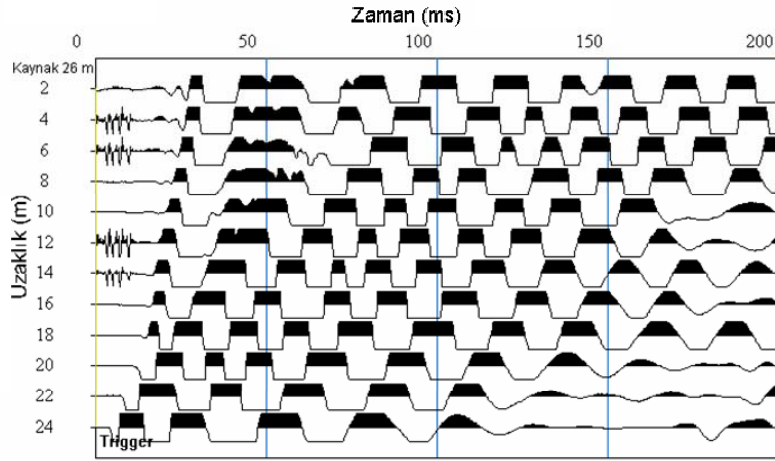
Şekil 2.40. Deneme1 verisinin Pickwin üzerinde görünümü.



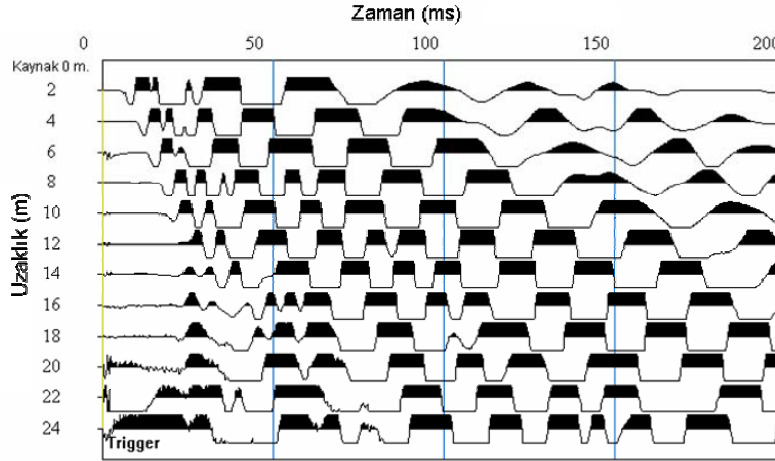
Şekil 2.41. Deneme2 verisinin Pickwin üzerinde görünümü.



Şekil 2.42. Deneme3 verisinin Pickwin üzerinde görünümü.

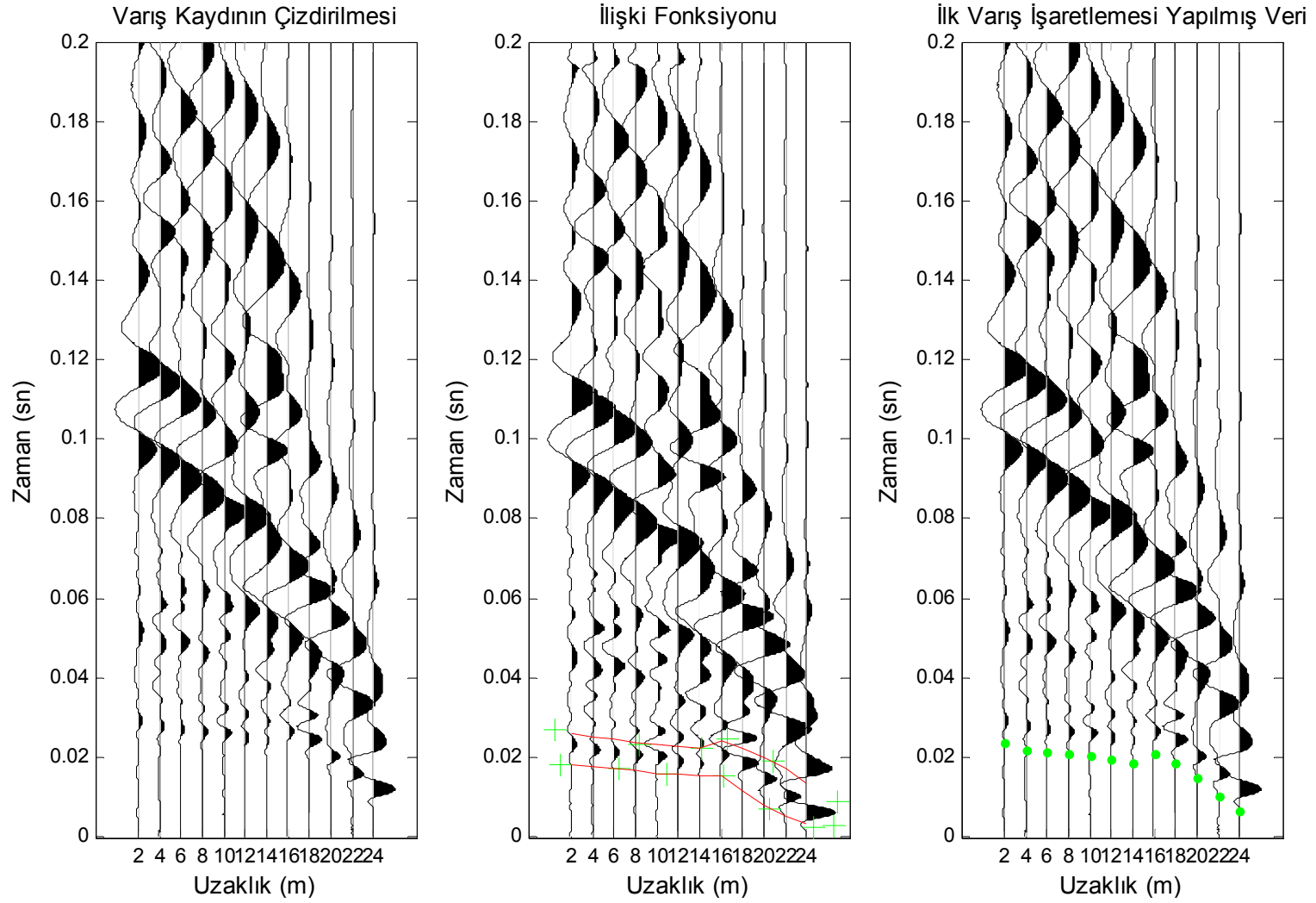


Şekil 2.43. Deneme4 verisinin Pickwin üzerinde görünümü.

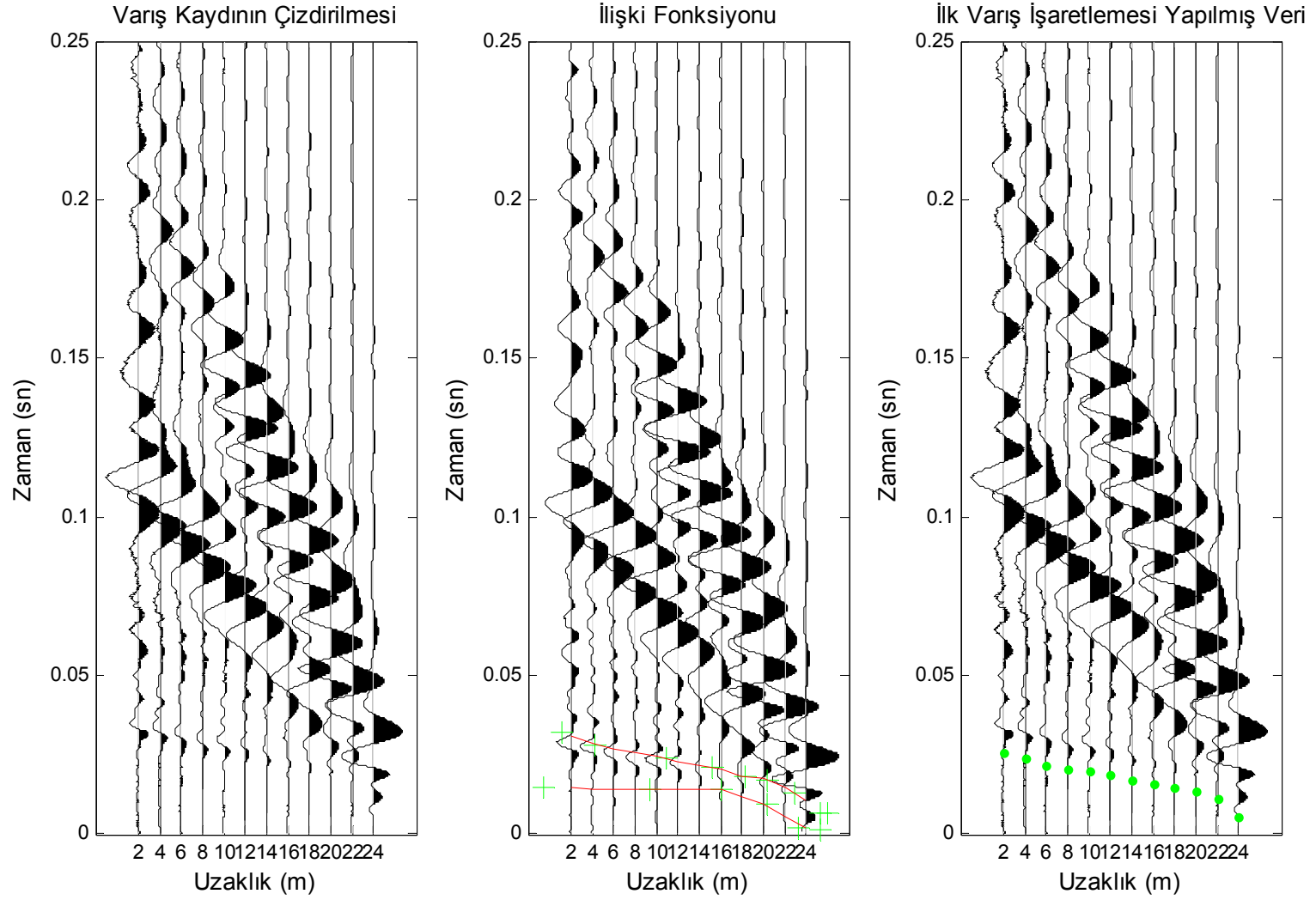


Şekil 2.44. Deneme5 verisinin Pickwin üzerinde görünümü.

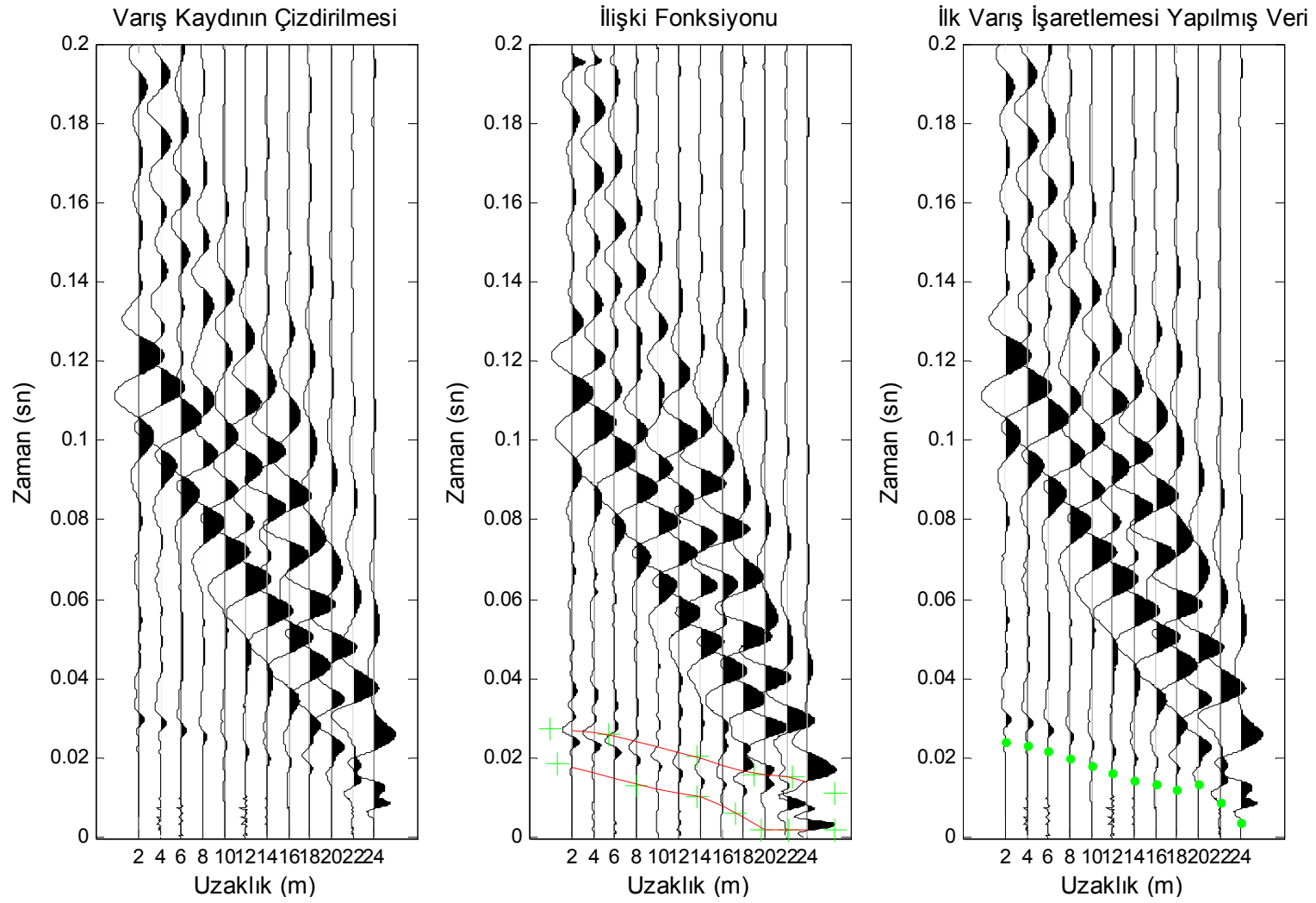
Verilerin MatLab üzerinde zaman ortamı görüntüleri, ilişki fonksiyonları ve elde edilen ilk varış değerleri Şekil 2.40-2.48 arasında verilmiştir. Kaynak fonksiyonları; deneme2 için 12. kanal, deneme3 için 1. kanal, deneme4 için 12. kanal ve deneme5 için 4. kanal üzerinden yapılmıştır.



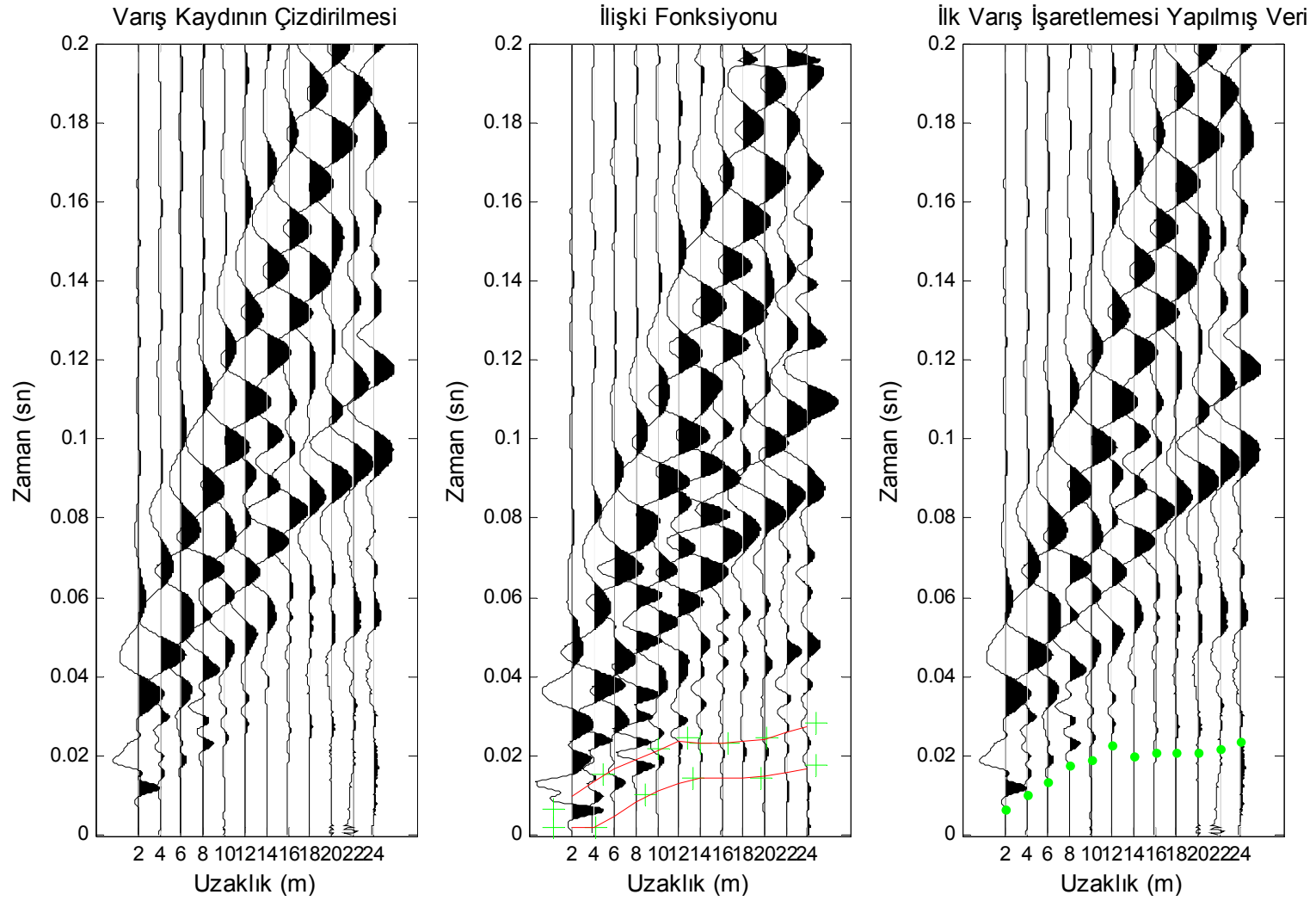
Şekil 2.45. Deneme2 verisi, ilişki fonksiyonu ve ilk varış işaretlemesi yapılmış veri.



Şekil 2.46. Deneme3 verisi, ilişki fonksiyonu ve ilk varış işaretlemesi yapılmış veri.



Şekil 2.47. Deneme4 verisi, ilişki fonksiyonu ve ilk varış işaretlemesi yapılmış veri.



Şekil 2.48. Deneme5 verisi, ilişki fonksiyonu ve ilk varış işaretlemesi yapılmış veri.

2.5. İlk Varış Zamanlarındaki Küçük Değişimlerin Sismik Kırılma Verilerinin Değerlendirilmesindeki Etkileri

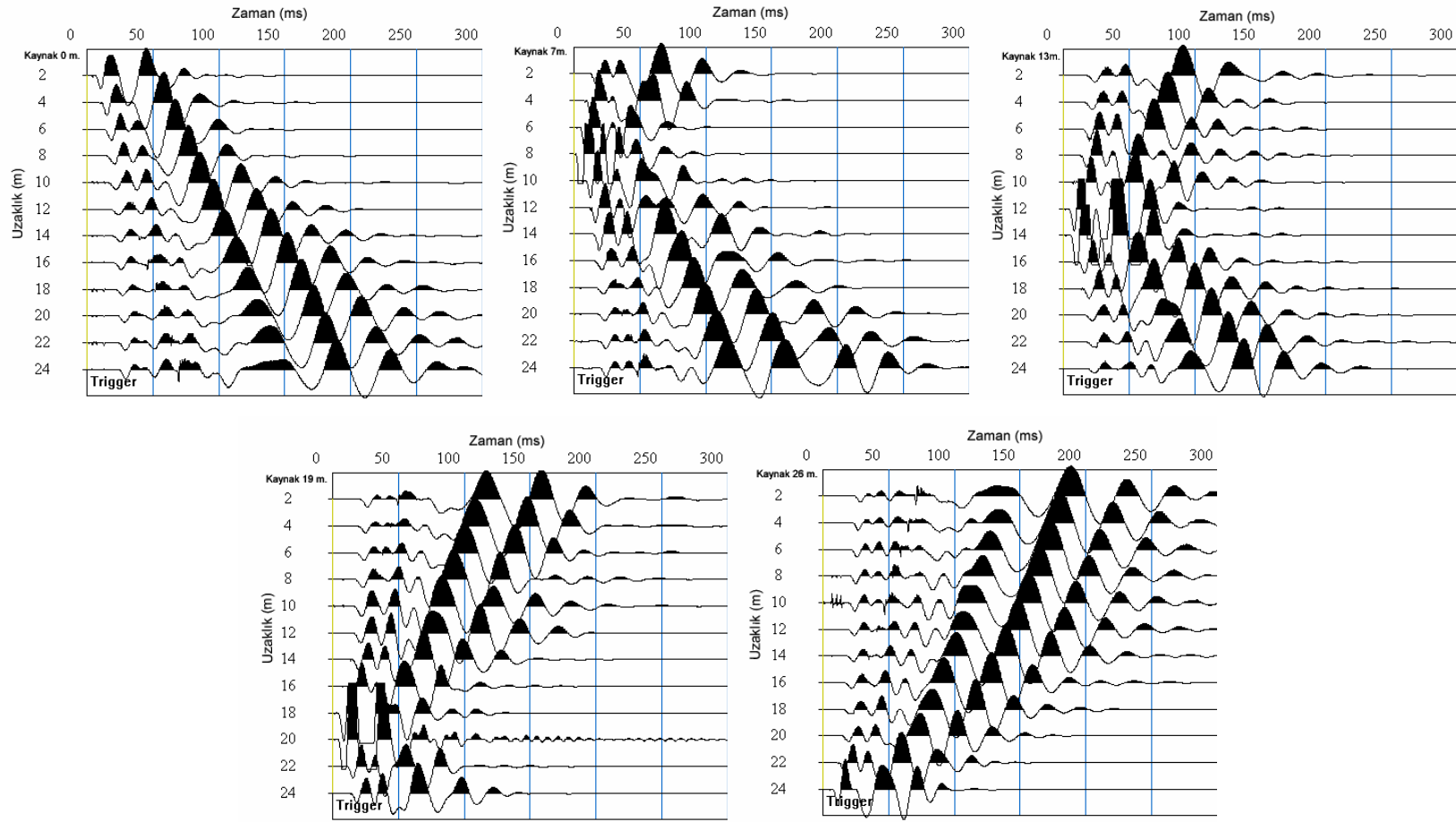
İlişki yöntemi ile elde edilen ilk varış zamanları ile izler üzerinden el ile işaretlenen ilk varış zamanlarının arasındaki farklar her ne kadar küçük görünse de bu farklar kırılma verilerinin değerlendirilmesinde büyük farklar yaratabilir. Ayrıca yapılan tüm bilimsel çalışmaların amacı en doğruyu bulmaktır bu nedenle doğru varış zamanına milisaniye mertebesinde biraz daha yaklaşma önem arz etmektedir.

İlişki yöntemi ile elde edilen ilk varış zamanları ile el ile işaretlenen ilk varış zamanları arasındaki farkların sismik kırılma verilerinin değerlendirilmesindeki etkilerini göstermek için iki farklı profil üzerinde yapılan beş atışa ait iki farklı ilk varış değeri veri grubu sismik tomografi ve gecikme zamanı yöntemi ile değerlendirilmiştir. Sismik tomografi yönteminin seçim nedeni, yöntemin doğası gereği her seyahat zamanını tek tek değerlendirmesi ve seyahat zamanlarındaki küçük değişimlere diğer yöntemlerden daha duyarlı olmasıdır. Dolayısıyla bu yöntem ile ilk varış zamanlarındaki küçük değişimlerin neden olduğu yanal değişimler gözlenecektir. Gecikme zamanı yönteminin seçim nedeni ise yöntemin düşey ayrırlılığının yüksek olması, tabaka hız ve kalınlık değişimlerine hassas olmasıdır. Bu yöntemle yapılacak değerlendirmeler ile küçük zaman farklarının tabaka hızları ve kalınlıkları üzerinde olan etkileri gözlenecektir.

Tomografi değerlendirmesi sırasında SeisOpt2D programı kullanılacaktır. Program giriş verisi olarak yalnızca ilk varış zamanları ve profil geometrisini (alıcı, kaynak uzaklıkları ve yükseklikleri) kullanır. Bu program Genelleştirilmiş Simulated – Annealing olarak isimlendirilen doğrusal olmayan (nonlinear) optimizasyon tekniğini kullanır. Bu teknik, yeraltının optimize edilmiş bir hız modelini geliştirmek için kullanılan kontrollü Monte – Carlo ters çözüm temeline dayanmaktadır (Pullammanappelli ve Hovie, 1994). Gecikme zamanı yöntemi için ise Seisimager programının Plotrefa modülü kullanılacaktır. Plotrefa modülü gecikme zamanı değerlendirmesini yinelemeli bir mantıkla yaparak en az hatayla sonuç tabaka hız modelini elde etmeye çalışır.

Seçilen saha verileri özellikle temiz kayıtlar içeren çalışmalardan seçilmiştir. Çünkü bu tip verilerde el ile yapılan işaretlemelerle ilişki yönteminden elde edilen işaretlemeler arasındaki zaman farkları çok küçüktür. Dolayısıyla küçük farklardan kaynaklanacak değerlendirme değişimleri daha dikkat çekici olacaktır. Yapılan değerlendirmeler sırayla Değerlendirme1 ve Değerlendirme2 olarak adlandırılacaktır.

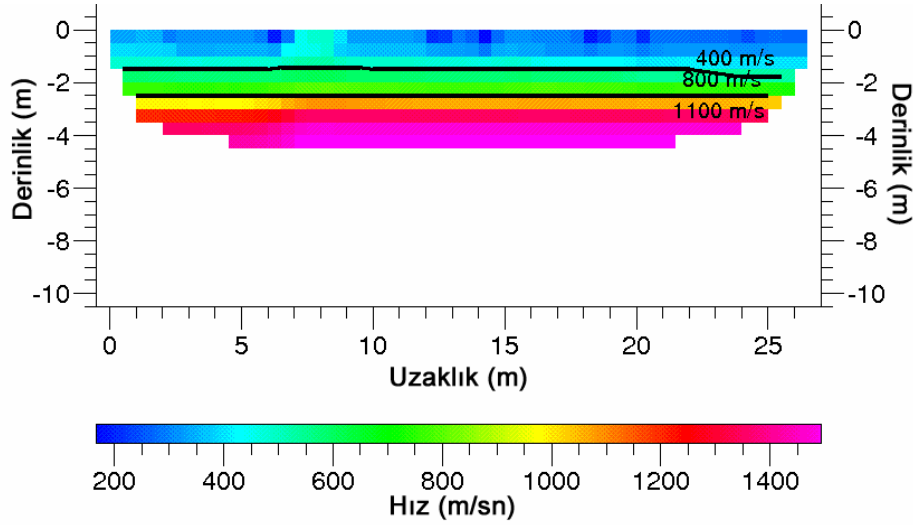
Değerlendirme1’de kullanılacak beş atışlı sismik kırılma verisi Şekil 2.49’da verilmiştir. Çalışılan profil üzerinde beş atış yapılmıştır. Bu verilere ait el ile işaretlenen ilk varış zamanları, ilişki yöntemi ile elde edilen ilk varış zamanları ve bu iki veri arasında her atıştaki ortalama zaman farkı Tablo 2.5’de verilmiştir. Tablo 2.5’e bakıldığında ortalama zaman farklarının çok küçük olduğu görülmektedir. Beş atış için toplam ortalama zaman farkı ± 1.24 ms’dir. Bu tip küçük zaman farkları birçok araştırmacı veya mühendis tarafından göz ardı edilebilecek değerdedir ve sonuç yer altı derinlik kesitine etkisinin az olacağı düşünülür. Bu zaman farklarının tomografi sonuçlarımızdaki etkilerini görebilmek için ilk varış değerleri SeisOpt2D programına aktarılmıştır. Tomografi çözümü sırasında her iki ilk varış zamanı veri grubu için aynı çözüm parametreleri kullanılmıştır. Her iki veri grubu için elde edilen hız alan kesitleri Şekil 2.50 ve Şekil 2.51’de verilmiştir.



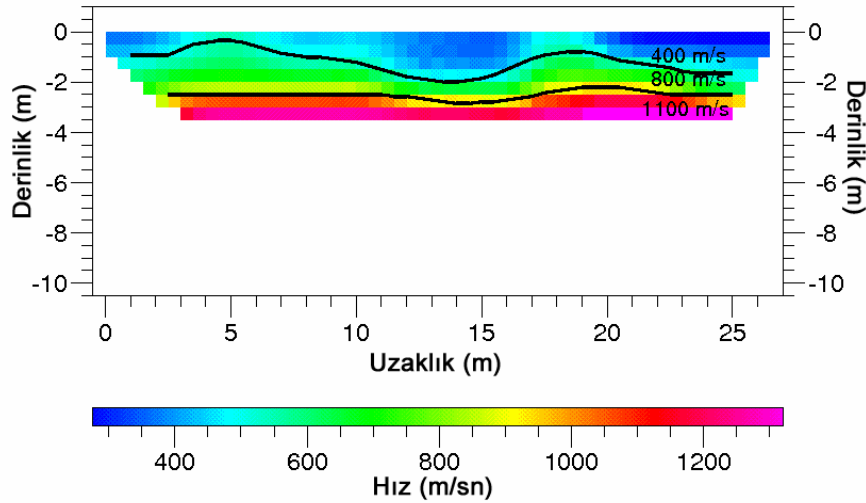
Şekil 2.49. Değerlendirme1’de kullanılacak beş atışlı sismik kırılma verisinin Pickwin üzerinde görünümü

Tablo 2.5. Değerlendirmel’de kullanılan sismik kırılma verilerinde el ile işaretlenen ilk varış zamanları, ilişki yöntemi ile elde edilen ilk varış zamanları ve her profildeki ortalama zaman farkları.

	1. Profil Zamanları (ms)		2. Profil Zamanları (ms)		3. Profil Zamanları (ms)		4. Profil Zamanları (ms)		5. Profil Zamanları (ms)	
	Normal	İlişki Fonk.	Normal	İlişki Fonk.	Normal	İlişki Fonk.	Normal	İlişki Fonk.	Normal	İlişki Fonk.
	6,682	4,000	12,825	13,500	18,630	18,250	20,250	20,500	25,380	23,500
	9,112	9,000	8,100	9,500	16,605	15,500	19,980	18,750	24,030	22,000
	14,175	12,500	5,130	5,000	15,525	13,250	19,305	17,750	22,275	21,000
	15,187	14,750	2,025	1,500	13,230	11,000	17,500	17,000	21,600	20,250
	15,795	17,000	6,075	8,500	7,155	7,250	16,605	16,000	20,250	19,500
	18,832	18,750	12,555	13,250	4,725	0,500	16,875	15,250	20,250	19,500
	20,250	20,000	14,750	16,250	6,075	2,250	15,525	13,500	19,575	18,750
	20,857	20,500	15,930	18,250	7,425	8,750	11,880	9,250	17,955	17,750
	22,275	21,750	17,550	19,500	13,230	13,000	5,130	1,750	16,875	17,000
	23,895	22,750	17,550	21,000	16,000	15,750	4,725	2,000	15,525	15,000
	24,300	23,250	20,250	21,250	17,500	16,750	12,150	9,000	13,230	11,250
	24,907	23,500	20,250	21,250	18,630	16,750	13,905	12,000	8,100	5,750
Ort. Fark	± 0,71		± 1,31		± 1,31		± 1,75		± 1,14	



Şekil 2.50. Değerlendirme1’de el ile işaretlenen ilk varış zamanlarının tomografi sonucu (hız alan kesiti).

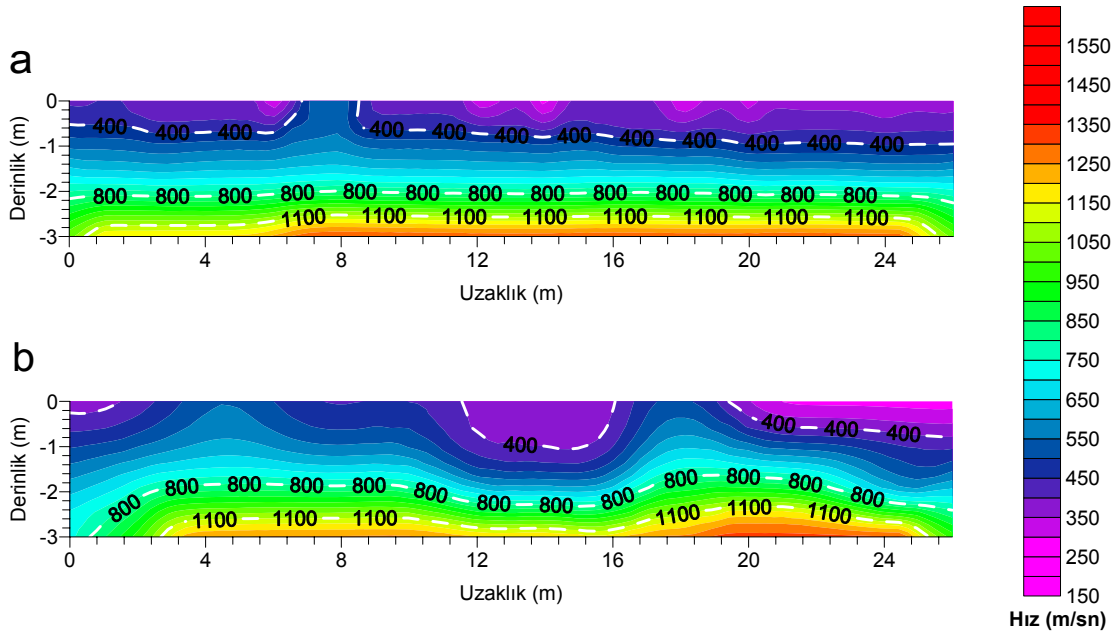


Şekil 2.51. Değerlendirme1’de ilişki fonksiyonu ile elde edilen ilk varış zamanlarının tomografi sonucu.

Şekil 2.50 ve Şekil 2.51’e bakıldığında iki farklı işaretleme arasındaki küçük zaman farklarının hız alan kesitlerine etkisinin büyük olduğu görülmektedir. İki kesite ait hız ölçekleri çok küçük bir farka sahiptir. Fakat bu küçük farktan kaynaklanan renk değişimlerinin en aza indirgenmesi için kesitler üzerinde 400-800 m/sn ve 800-1100 m/sn hızların arasındaki süreksizlik yüzeyleri gösterilmiştir. Bu süreksizlik yüzeylerindeki fark iki kesit arasındaki farkı daha açık ortaya koymaktadır. Özellikle kesitlerdeki 400-800 m/sn hızlarının arasındaki ara yüzeydeki değişim irdelenmesi gereken bir değişimdir. Şekil

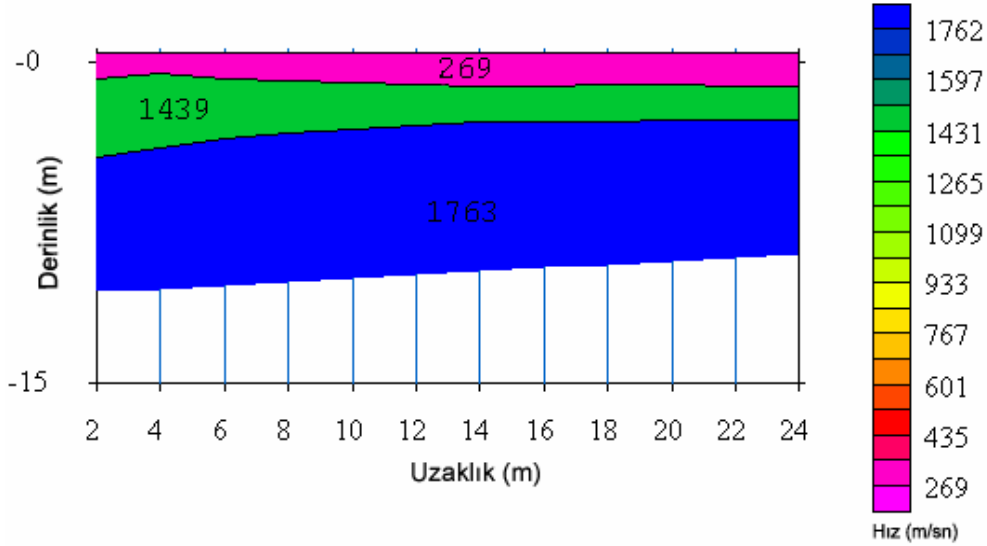
2.50’de süreksizlikler neredeyse yataydır. Bunun başlıca nedeni, sismik kırılma verilerinin değerlendirilmesi sırasında eğer ilk varış zamanları el ile işaretlenirse, işaretleyicinin (kişinin) her alıcı için tam olarak birbirinden bağımsız olarak işaretleme yapamaması, ister istemez bir dalga trendi takip etmesidir. Dolayısıyla yapılan işaretlemeler sanki bir doğru üzerinde yapılmış gibi görünür. Böyle bir veri grubu zaman-uzaklık grafiğine aktarılsa işaretler yaklaşık bir doğru üzerinde sıralanabilir. Bu tip yaklaşık doğrusal bir zaman-uzaklık grafiğinden elde edilecek süreksizlik sınırı yine doğrusala yakın olacaktır. Eğer grafik bir doğrusal fonksiyon olarak düşünülürse, fonksiyonun çözümünü oluşturan değişkenlerde doğrusal olacaktır. Yani süreksizlik yüzeyi herhangi bir topografik değişim içermez. İlişki yöntemi ile işaretleme sırasında ise, her alıcıdaki iz birbirinden bağımsız olarak değerlendirilir. Dolayısıyla iki alıcı arasındaki zaman değişimi açık olarak ortaya koyulur. Böylelikle iki alıcının süreksizlik yüzeyinde temsil ettiği uzaklık arasındaki topografik değişimler ve yanal süreksizlikler daha açık şekilde belirlenir.

İki tomografi çözümü arasındaki fark, sonuç hız alan kesitini oluşturan hız değerlerinin aynı renk ölçeğinde konturlanmış haliyle Şekil 2.52’de de görülebilir. Şekildeki beyaz kesikli çizgiler, hız alanı kesitini oluşturan hız değerlerinden 400, 800 ve 1100 m/sn değerlerine ait hız konturlarını göstermektedir, ara yüzey sınırları değildir.

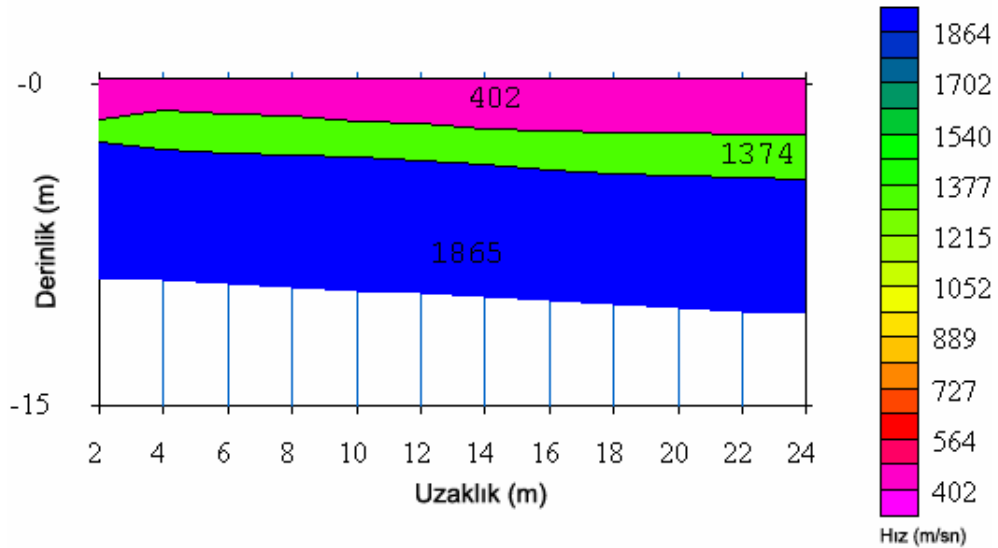


Şekil 2.52. Değerlendirme1’ de elde edilen iki farklı hız alan kesitinin kontur haritası: a) el ile işaretlenen ilk varış zamanlarından elde edilen tomografi sonuç hız alan kesitini oluşturan hız değerleri, b) ilişki işlemi ile işaretlenen ilk varış zamanlarından elde edilen tomografi sonuç hız alan kesitini oluşturan hız değerleri.

Verilerin gecikme zamanı değerlendirme sonuçları da tabaka hızları ve kalınlıkları açısından dikkat çekicidir. Gecikme zamanı için elde edilen iki farklı sonuç Şekil 2.53 ve Şekil 2.54'de verilmiştir.



Şekil 2.53. Değerlendirmel1'de el ile işaretlenen ilk varış zamanlarının gecikme zamanı sonuç tabaka-hız modeli.

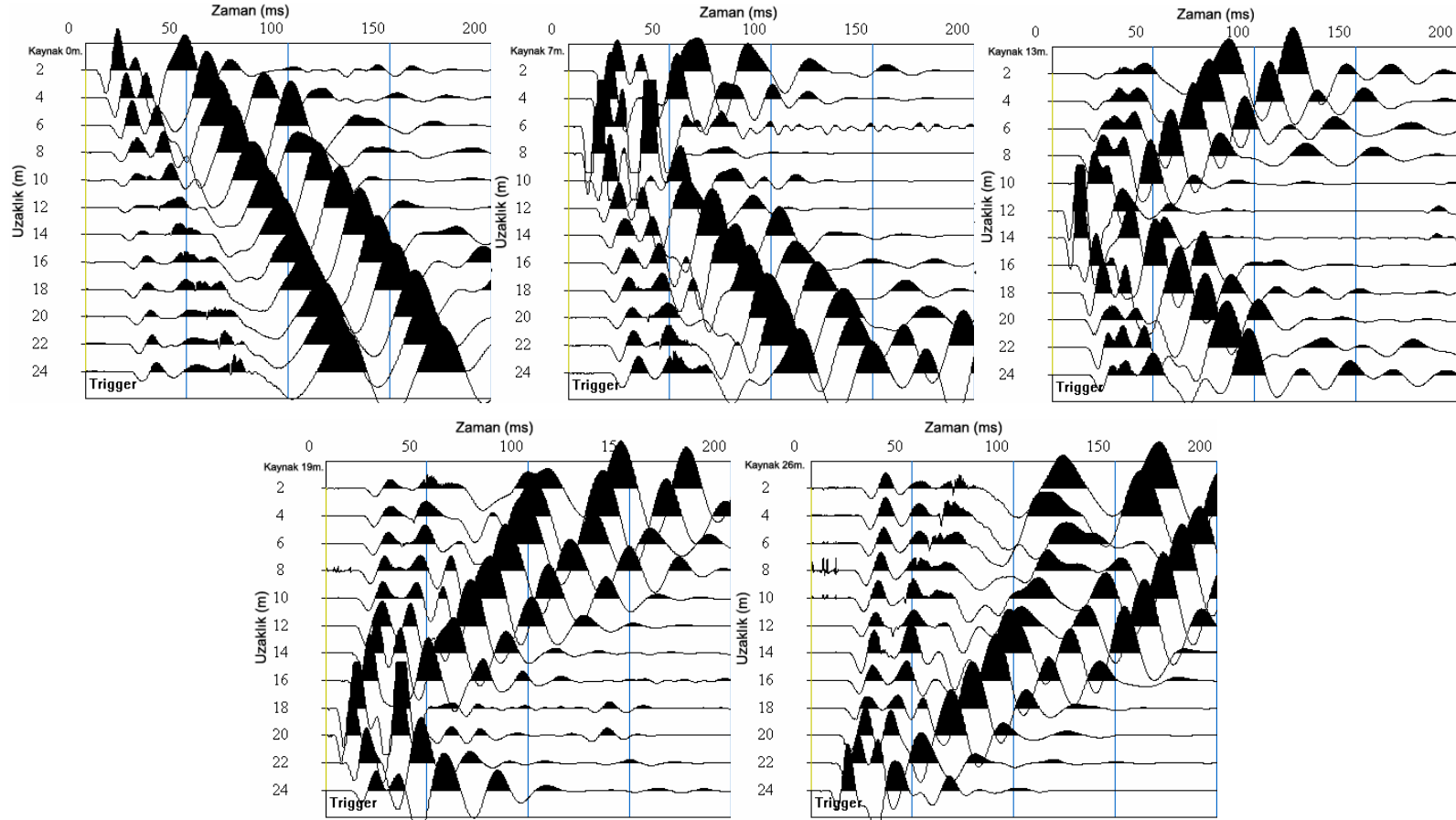


Şekil 2.54. Değerlendirmel1'de ilişki fonksiyonu ile işaretlenen ilk varış zamanlarının gecikme zamanı sonuç tabaka-hız modeli.

Gecikme zamanı çözümlerine bakıldığında iki çözüm arasındaki hız değişimleri açıktır. Oluşan hız değişimlerinden ilk ara yüzey ikinci ara yüzeye göre daha az

etkilenmiştir. İkinci ara yüzeydeki değişim ise küçük zaman farklarının değerlendirmeler üzerindeki etkisini görmek açısından güzel bir örnektir.

İlk varış zamanlarındaki küçük değişimlerin sismik kırılma değerlendirmelerine olan etkilerinin gösterilmesi için yapılan diğer bir uygulama Değerlendirme2'dir. Değerlendirme2'de kullanılan beş atışlı sismik kırılma verisi Şekil 2.55'de verilmiştir. Bu verilere ait el ile işaretlenen ilk varış zamanları, ilişki yöntemi ile elde edilen ilk varış zamanları ve bu iki veri arasında her atıştaki ortalama zaman farkı Tablo 2.6'da verilmiştir.

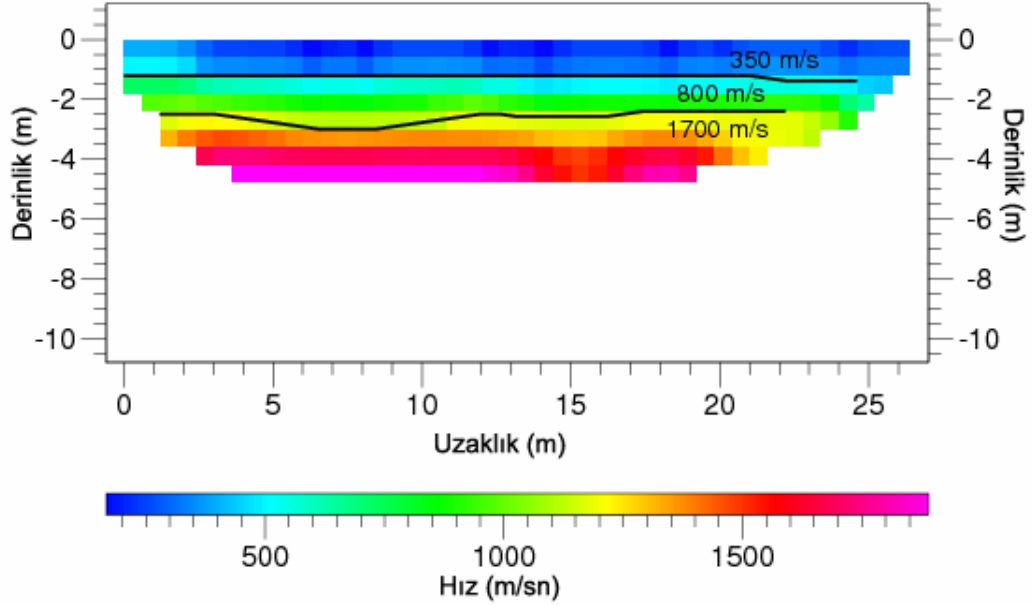


Şekil 2.55. Değerlendirme2’de kullanılacak beş atışlı sismik kırılma verisinin Pickwin üzerinde görünümü.

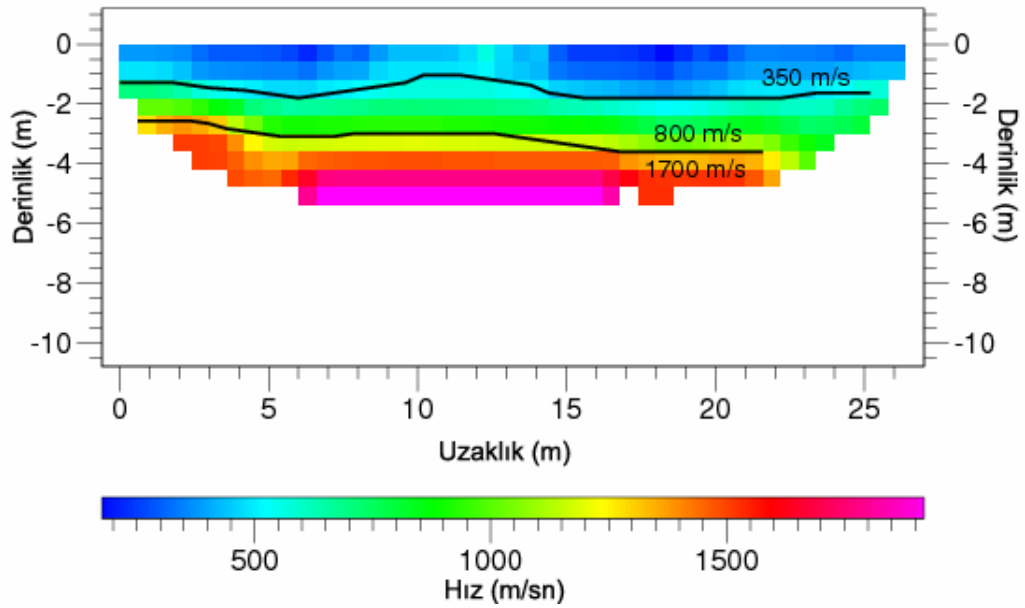
Tablo 2.6. Değerlendirme2’de kullanılan sismik kırılma verilerinde el ile işaretlenen ilk varış zamanları, ilişki yöntemi ile elde edilen ilk varış zamanları ve her profildeki ortalama zaman farkları.

	1. Profil Zamanları (ms)		2. Profil Zamanları (ms)		3. Profil Zamanları (ms)		4. Profil Zamanları (ms)		5. Profil Zamanları (ms)	
	Normal	İlişki Fonk.	Normal	İlişki Fonk.	Normal	İlişki Fonk.	Normal	İlişki Fonk.	Normal	İlişki Fonk.
	5,467	5,500	12,150	11,500	16,099	16,000	19,744	21,750	25,819	24,500
	10,024	9,750	11,542	8,250	16,099	15,750	19,744	21,500	25,211	24,250
	12,150	12,500	6,075	4,500	15,187	14,500	18,225	20,750	24,300	23,250
	13,061	14,000	6,075	3,250	13,061	12,250	16,706	19,250	21,262	22,000
	13,669	14,500	9,112	8,500	11,542	9,000	15,187	18,250	22,174	20,750
	16,099	15,500	13,669	12,250	5,467	1,750	15,187	17,000	20,655	19,500
	16,706	17,500	15,187	15,000	6,075	2,250	13,061	15,500	19,744	19,000
	19,136	19,500	16,706	17,000	12,150	9,750	10,631	12,250	18,225	18,250
	19,136	19,750	18,225	17,250	13,669	12,500	5,467	5,750	16,706	15,750
	19,744	21,250	18,225	18,750	16,099	15,000	4,556	4,000	14,580	14,250
	21,262	22,250	19,744	19,500	16,706	16,500	10,024	10,750	12,150	11,250
	23,692	24,250	21,262	21,750	18,225	18,000	12,150	15,000	9,112	6,250
Ort. Fark	± 0,5		± 0,87		± 1,42		± 1,75		± 0,91	

Tablo 2.6'ya bakıldığında zaman farklarının Değerlendirme1'den daha küçük olduğu görülmektedir. İlk varış zamanlarındaki toplam ortalama zaman farkı ± 1.09 'dur. İki farklı işaretleme tekniği için elde edilen tomografi çözüm sonuçları Şekil 2.56 ve Şekil 2.57' de verilmiştir.

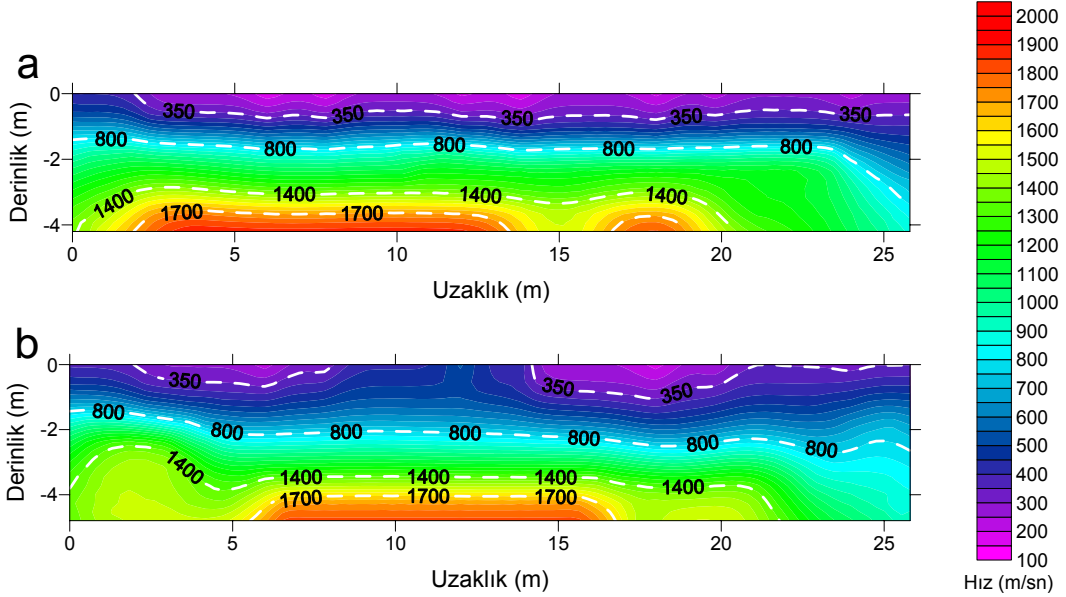


Şekil 2.56. Değerlendirme2'de el ile işaretlenen ilk varış zamanlarının tomografi sonucu.



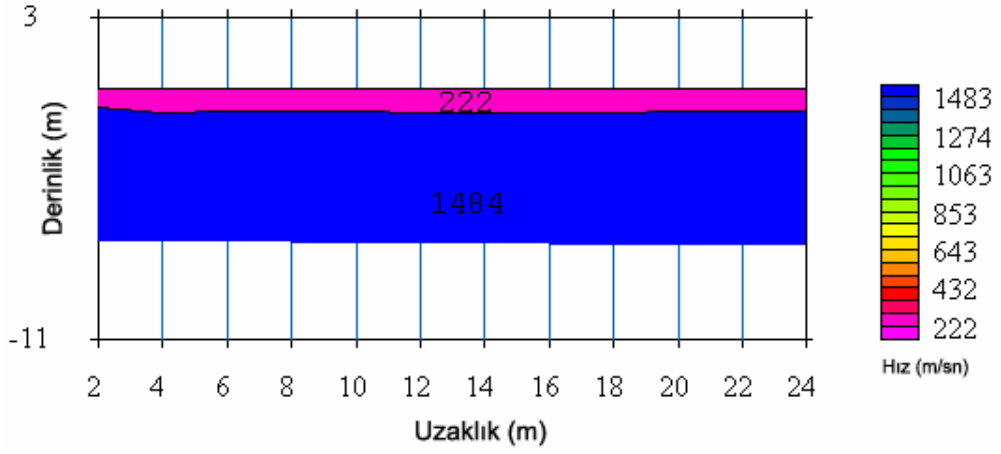
Şekil 2.57. Değerlendirme2'de el ile işaretlenen ilk varış zamanlarının tomografi sonucu.

Sonuç hız alan kesitlerine bakıldığında küçük zaman farklarının bir önceki çalışmadaki gibi ara yüzelerde belirgin farklılıklara neden olduğu görülmektedir. Şekil 2.56 ve Şekil 2.57’deki hız ölçümleri küçük bir farka sahiptir. Bu renk farkının indirgenmesi için 350-800 m/sn ve 800-1700 m/sn hızları arasındaki süreksizlik yüzeyleri gösterilmiştir. İlk varış zamanları arasındaki zaman farkı nispeten bir önceki karşılaştırmadan küçük olduğu için ara yüzelerdeki değişimde daha azdır. Tomografi sonucunda elde edilen hız alan kesitini oluşturan hız değerlerinin aynı renk ölçeğinde konturlanmış hali Şekil 2.58’de verilmiştir. Şekil 2.58’de ki beyaz kesikli çizgiler 350, 800 ve 1700 m/sn hızlarına ait hız konturlarını göstermektedir. Ayrıca şekilde 1400 m/sn hızına ait konturlardaki belirgin değişimde gösterilmiştir.

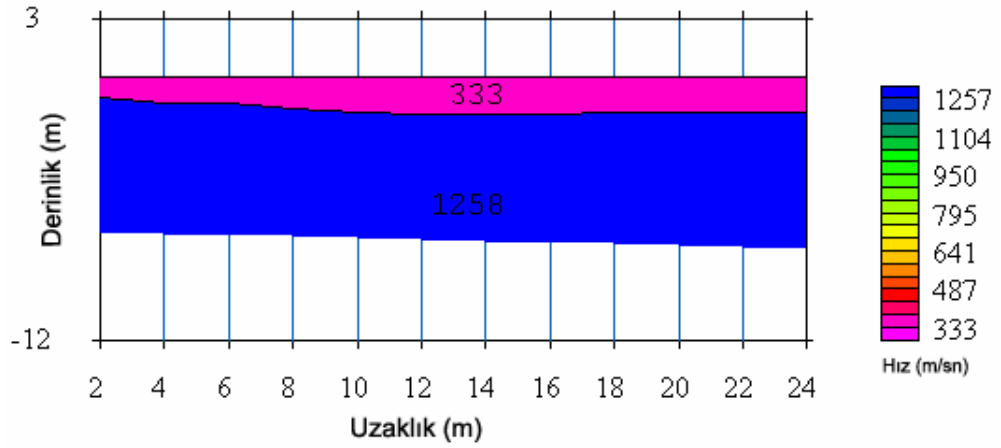


Şekil 2.58. Değerlendirme2’de elde edilen iki farklı hız alan kesitinin kontur haritası: a) el ile işaretlenen ilk varış zamanlarından elde edilen tomografi sonuç hız alan kesitini oluşturan hız değerleri, b)ilişki işlemi ile işaretlenen ilk varış zamanlarından elde edilen tomografi sonuç hız alan kesitini oluşturan hız değerleri.

Zaman farklarının tabaka hızları ve kalınlıklarında meydana getirdiği değişimler Şekil 2.59 ve Şekil 2.60’deki gecikme zamanı çözümü sonuçlarında görülebilir.



Şekil 2.59. Değerlendirme2'de el ile işaretlenen ilk varış zamanlarının gecikme zamanı sonuç tabaka-hız modeli.



Şekil 2.60. Değerlendirme2'de ilişki fonksiyonu ile işaretlenen ilk varış zamanlarının gecikme zamanı sonuç tabaka-hız modeli.

Şekil 2.60'a bakıldığında ikinci tabaka hızının Şekil 2.59'dakinden daha düşük olduğu görülmektedir. Bu değişim, birinci ara yüzeyin kalınlaşmasına neden olmuştur.

3. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında sismik kırılma verilerinde ilk varış zamanlarının belirlenmesinde ilişki yönteminin kullanılması ve ilk varış zamanları değerlerindeki küçük değişimlerin kırılma verisi değerlendirmelerine etkileri incelenmiştir. Yöntem, konvolüsyon ve dalga yayılımı teknikleriyle oluşturulan iki farklı model grubundan elde edilen yapay sismik kırılma verileri ve çeşitli saha çalışmalarından elde edilen farklı karakteristikteki sismik kırılma verileri üzerinde uygulanmıştır.

Yöntemin sismik kırılma verilerinde ilk varışların belirlenmesindeki başarısı gerek yapay modeller üzerinde gerekse saha verileri üzerinde açıkça görülmektedir. Yöntem özellikle uyumsuz, yüksek frekanslı gürültülü verilerde başarılı şekilde çalışmaktadır. Konvolüsyondan sonra %15 gürültü içeren yapay sismik kırılma verilerinde (Şekil 2.17) ilk varış zamanları ile teorik seyahat zamanları arasındaki fark saniyenin 10^{-5} 'i mertebesindedir (Şekil 2.18). Yapay modellerde %85 oranında eklenen bu tip gelişigüzel gürültülerde dahi yöntem başarılıdır (Şekil 2.19-2.20), fakat yöntemin sağlıklı çalışması için sınır değer %30-40 olarak belirlenmiştir. Uyumlu gürültü söz konusu olduğunda S/N oranının önemi ortaya çıkmaktadır. Bu tip gürültülerin temsili için yapay konvolüsyon modellerinde konvolüsyon öncesi iğnecik serisi temel alınarak belirli oranlarda rastgele gürültü eklenmiştir. İğnecik serisine eklenen %0.1'lik gelişigüzel gürültü bile, verinin içeriğini yüksek oranda değiştirmektedir (Şekil 2.23). Saha verilerindeki uyumlu gürültüler çalışmada modellenen uyumlu gürültülerden farklı karakteristikler gösterebilirler. Yöntem bu tip gürültüler içeren verilerde de başarılıdır. Bu verilerden elde edilen ilk varış zamanları ile teorik seyahat zamanları arasındaki fark saniyenin 10^{-4} 'ü mertebesindedir (Şekil 2.24). Elde edilen hata miktarları Ki-Kare testi ile belirlenen kritik değerin çok çok uzağındadır. Buda yöntemin başarısını göstermektedir. Yöntem, dalga yayılım modelinden elde edilen yapay verilerde ve bu verilere eklenen farklı oranlardaki gürültülerde de iyi sonuçlar vermiştir. Uyumlu ve uyumsuz gürültüler ve gerçek saha koşulları göz önüne alındığında yöntemin sağlıklı çalışabileceği gürültü oranı %15-20 olarak verilebilir. Bu oran gürültülü sismik kırılma verilerinin değerlendirilmesi sırasında veriye herhangi bir veri-işlem uygulamadan analiz edilmesini sağlar. Daha önce anlatıldığı gibi sismik kırılma verilerinde kalıplaşmış veri-işlem adımları olmadığı gibi, gürültülü verilere uygulanacak basit bir süzgeçleme işlemi bile ilk varışların durumunu değiştirebilmektedir. Yöntemin

çok kanallı veya çok atışlı veri gruplarında yapılacak ilk varış işaretlemesi için harcanan zamanın kısılmasını sağlar ve aynı zamanda yapılan işaretlemenin hassasiyetini artırır. Yöntemde her alıcının birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmesi işaretleme sırasında yapılabilecek hatalı dalga trendi takibini önlemekte, ilk varışların herhangi bir göz yanılmasından bağımsız yapılmasını sağlamaktadır. Ayrıca yöntem ile yapılan işaretlemeleler görselliğe değil matematiksel ilişkilere bağlı yapılır.

Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi sismik kırılma verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan tek veri ilk varış zamanlarıdır. Bu zamanların belirlenmesi sırasında el ile işaretlemede milisaniye mertebesindeki değişimler işaretleme imlecinin çok çok küçük bir kaymasına bağlıdır. Gürültüsüz bir veri üzerinde çalışırken dahi milisaniye hassasiyetindeki değişimleri kontrol etmek neredeyse imkânsızdır çünkü kullanılan değerlendirme programlarının zaman eksenleri bu hassasiyeti sağlayacak düzeyde değildir. İlişki yöntemi ile ilk varışlar izden ize (kanaldan-kanala) belirlendiği için diğer birçok ilk varış yönteminden daha verimli bir yöntemdir. Ayrıca yöntemin matematiksel olarak diğer yöntemlerden daha basit olması az iş gücü ile daha çok bilgiye ulaşmayı sağlamaktadır.

Şekil 2.49 ve Şekil 2.55’de gösterilen sismik kırılma izleri Seisimager Pickwin programı üzerinde gösterilmiştir. Bu program dünyada birçok araştırmacı tarafından sıkça kullanılan bir programdır. Verilerin zaman eksenine bakıldığında 1 milisaniyenin çok küçük bir aralığa denk geldiği görülmektedir. İşaretleme sırasında yapılacak küçük bir kaydırma, ilk varış zamanının milisaniye mertebesindeki değişimine neden olacaktır. Bu değişim çoğunlukla kabul edilebilir sayılır. Fakat günümüzde araştırmaların çözünürlüğünün devamlı arttığı ve yanal değişimlerin daha fazla irdelendiği düşünüldüğünde bu değişimler verinin değerlendirilmesinde belirgin farklar yaratabilir. Bu değişimlerin çözümlere olan etkilerini göstermek için iki farklı çok atışlı sismik kırılma verisinde (Şekil 2.49 ve 2.50) ilk varışlar el ile ve ilişki fonksiyonu ile edildikten sonra ilk varış verileri sismik tomografi ve gecikme zamanı yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Değerlendirme1 olarak isimlendirilen ilk karşılaştırmada el ile işaretlenen ilk varış zamanları ile ilişki fonksiyonu üzerinden işaretlenen ilk varış zamanları arasındaki toplam ortalama zaman farkı ± 1.24 ms’dir. Bu küçük farka rağmen kesitlerdeki 400-800 m/sn ve 800-1100 m/sn ara yüzeylerine bakıldığında aradaki fark açıkça görülmektedir (Şekil 2.50 ve 2.51). Bu zaman farklarının tabaka hızları ve kalınlığına olan etkileri gecikme zamanı çözümlerinde daha net görülmektedir (Şekil 2.53 ve 2.54). Değerlendirme2 olarak isimlendirilen karşılaştırma da ise iki işaretleme tekniğinden elde edilen toplam ortalama

zaman farkı ± 1.09 ms'dir. Elde edilen tomografi sonuc hız alan kesitleri (Şekil 2.56 ve 2.57) ve gecikme zamanı tabaka-hız modelleri (Şekil 2.59 ve 2.60) bu küçük zaman farkının değerlendirme sonuçlarına yaptığı etkiyi açıkça göstermektedir.

4. ÖNERİLER

Çalışmada kullanılan ilişki yönteminin, basitliğinin yanında getirdiği faydaların çok olduğu açıkça görülmektedir. Fakat yöntemin ileride herkes tarafından kullanılabilirliği, işlem yükü ve işlem zamanının geliştirilmesi için birkaç öneride bulunmak faydalı olacaktır.

Bilindiği gibi sismik kırılma verilerinde ilk varış zamanları verinin erken zamanlarında aranır, dolayısıyla örnek sayısı veya kayıt uzunluğu büyük olan verilerde tüm veri için ilişki fonksiyonu oluşturmak çok atışlı verilerde büyük bir işlem yükü ve zamanı gerektirebilir. Bu yükün ve zamanın azaltılması aynı ilişki fonksiyonu üzerinden yarı otomatik işaretleme yaparken kullanılan alan seçimi gibi veri üzerinde ilişki fonksiyonundan önce bir ilk varış arama bölgesi seçimi ile olabilir. Böylelikle hem işlem yapılacak örnek sayısı azaltılmış olur hem de ana maksimum ilişki değerlerini bastırarak ilişki gürültüsü en aza indirgenir.

Yöntemin herkes tarafından paket bir program şeklinde kullanılması için, hazırlanan algoritmalar MatLab GUI (Graphic User Interface) üzerine uygun bir ara yüzle beraber aktarılabilir.

5. KAYNAKLAR

- Baer, M. ve Kradolfer, U., 1987. An Automatic Phase Picker for Local and Teleseismic Events, Bulletin of Seismological Society of America, 77, 4, 1437-1445.
- Bois, P., 1980. Autoregressive Pattern Recognition Applied to The Delimitation of Oil and Gas Reservoirs, Geophysical Prospecting, 28, 4, 572-591.
- Boschetti, F., Dentith, M.D. ve List, R.D., 1996. A Fractal-Based Algorithm for Detecting First Arrivals on Seismic Traces, Geophysics, 61, 4, 1095-1102.
- Cochran, M. D., 1973. Seismic Signal Detection Using Sign Bits, Geophysics, 38, 6, 1042-1052.
- Criss , C. J., Kappius, R. ve Cunningham, D., 2003. First Arrival Picking Using Image Processing Methods, *Geophysics of the 21st century-the leap into the future*.
- Douglas, A., Bowers, D. ve Young, J. B., 1997. On The Onset of P Seismograms, Geophysical Journal International, 129, 3, 681-690.
- Earle, P. S. ve Shearer, P. M., 1994. Characterization of Global Seismograms Using an Automatic-Picking Algorithm, Bulletin of Seismological Society of America, 84, 2, 366-376.
- Ervin, C. P., McGinnis, L. D., Otis, R. M. ve Hall, M. L., 1983. Automated Analysis of Marine Refraction Data: A Computer Algorithm, Geophysics, 48, 5, 582-589.
- Gelchinsky, B. T. ve Shtivelman, V., 1983. Automatic Picking of First Arrivals and Parameterization of Traveltime Curve, Geophysical Prospecting, 31, 6, 915-928.
- Geldart, P. L. ve Sheriff, R. E., 2004. Problems in Exploration Seismology and Their Solutions, *Society of Exploration Geophysics*.
- Gu, H., Zhou, H. ve Zhang, X., 1992. Automatic Pick of First Arrival Time, Geophysical & Geochemical Exploration, 16, 2, 120-129.
- Hansen, K. M., Roy-Chowdhury, K. ve Phinney, R. A., 1988. The Sign Filter for Seismic Event Detection, Geophysics, 53, 8, 1024-1033.
- Hatherly, P. J., 1982. A Computer Method for Determining Seismic First Arrival Times, Geophysics, 47, 10, 1431-1436.
- Henry, S., 2004. Understanding Seismic Amplitudes, *American Association of Petroleum Geologists Web Article August*.

- Ivanov, J. ve Miller, R. D., 2004. Semi-Automatic Picking of First Arrivals Through Cross Correlation Using Spline Interpolation Applied to Near Surface Seismic Surveys, Symposium on the Application of Geophysics to Environmental and Engineering Problems 17.
- Keiswetter, A., 1992. Significance of Sledgehammer Source Parameters-High Resolution Seismic Study, M.S Thesis, University Kansas.
- Kusuma, T. ve Fish, B. C., 1993. Toward More Robust Neural-Network First Break and Horizon Pickers, 63rd meeting of the Society of Exploration Geophysics.
- Leung, M. T., 2003. Controls of Traveltime Data and Problems Of The Generalized Reciprocal Method, Geophysics, 68, 5, 1626-1632.
- Li, M., 2000. Seismic Applications of Interactive Computational Methods, M.S thesis, University of Sydney.
- Liu, H. H. ve Fu, K. S., 1982. A Syntactic Pattern Recognition Approach to Seismic Discrimination, Geoexploration, 20, 1, 183-196.
- Matsuoka T., Taner M. T., Hayashi T., Ashida Y., Watanabe T. ve Kusumi H., 2000. Imaging of Refracted Waves by Convolution, Society of Exploration Geophysicist, Expanded Abstracts, Tulsa.
- McCormack, M. D., Zaucha, D. E. ve Dushek, D. W., 1993. First-Break Refraction Event Picking and Seismic Data Trace Editing Using Neural Networks, Geophysics, 58, 1, 67-78.
- McEvelly, T. V. ve Majer, E. L., 1982. ASP:An Automated Seismic Processor for Microearthquake Networks, Bulletin of Seismological Society of America, 72, 1, 303-325.
- Miller, R. D., Pullan, S. E., Waldners, J. S. ve Haeni, F. P., 1986. Field Comparison of Shallow Seismic Sourcer, Geophysics, 51, 11, 2067-2092.
- Miller, R. D., Pullan, S. E., Steeples, D. W. ve Hunter, J. A., 1992. Field Comparison of Shallow Seismic Sources Near Chino-California, Geophysics, 57, 5, 693-709.
- Milsom, J., 2003. Field Geophysics (Third Edition), John Wiley & Sons Ltd.
- Monk, D., 1999. Pitfalls in Seismic Acquisition, The Leading Edge, 18, 9, 1080-1083.
- Murat, M. E. ve Rudman, A. J., 1992. Automated First Arrival Picking: A Neural Network Approach, Geophysical Prospecting, 40, 6, 587-604.
- Nikias, C. L. ve Pan, R., 1987. Bispectrum Estimation: A Digital Signal Processing Framework, Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics Engineers, 75, 7, 869-891.

- Palmer, D., 2001. Shallow Refraction Seismology for The New Millenium, ASEG 15th Geophysical Conference and Exhibition.
- Palmer, D., 2007. Is it Time to Re-Engineer Near-Surface Seismic Refraction Methods, ASEG 2007 Technical paper Perth, 1-6.
- Paulson, K. V. ve Merdler, S.C., 1968. Automatic Seismic Reflection Picking, Geophysics, 33, 3, 431-440.
- Peraldi, R. ve Clement, A., 1972. Digital Processing of Refraction Data Study of First Arrivals, Geophysical Prospecting, 20, 3, 529-548.
- Pullammanaggalil, S. K. ve Lovie, J. N., 1994. A Generalized Simulated-Annealing Optimization for Inversion of First Arrival Times, Bulletin Of The Seismological Society Of American, 84, 5, 1397-1409.
- Pullan, S. E. ve MacAulay, H. A., 1987. An In-Hole Shotgun Source For Engineering Seismic Surveys, Geophysics, 52, 7, 985-996.
- Reynolds, J.M., 1997, An Introduction to Applied and Environmental Geophysics, John Wiley and Sons Ltd.
- Robinson, J. E., 1978. Pitfalls in Automated Lithostratigraphic Correlation, Computers and Geosciences, 4, 3, 273-275.
- Sheriff, R. E., 1991. Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysics (Third Edition), Society of Exploration Geophysicists.
- Talagapu, K. K., 2005. 2D and 3D Land Seismic Data Acquisition and Seismic Data Processing, M.S thesis, Andhra University.
- Telford, W. M., Geldart, L. P. ve Sheriff, R. E., 1990. Applied Geophysics (Second Edition), Cambridge University Press.
- Tu, P. H., 1995. Extracting and Analysing Seismic Events Using Computer Vision Techniques, Ph.D thesis, Oxford University.
- Van der Veen, M., Bunes, H. A., Bükler, F. ve Gren, A. G., 2000. Field Comparison of High Frequency Seismic Sources For Imaging Shallow Structures (10-250 m.), Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 5, 2, 39-56.
- Whiteley, R. J. ve Eccleston, P. J., 2006. Comparison of Shallow Seismic Refraction Interpretation Methods of Regolith Mapping, Exploration Geophysics, 37, 4, 340-347.
- Whitley, D. ve Cogswell, R., 1997. The First Break Seismic Detection Problem, Representation Issues-Final Report- Landmark Companies.

- Wu, X. ve Nyland E., 1987. Automated Stratigraphic Interpretation of Well Log Data, Geophysics, 52, 12, 1665-1676.
- Yung, S. K. ve Ikelle, L. T., 1997. An Example of Seismic Time Picking by Third-Order Bicoherence, Geophysics, 62, 6, 1947-1951.

ÖZGEÇMİŞ

3 Eylül 1985'te Gaziantep doğdu. İlk ve orta öğretimini İstanbul'da tamamladı. 2003 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde Lisans öğrenimine başladı. 2007 yılında Lisans öğrenimini birincilikle bitirdikten sonra aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans çalışmalarına başladı. 2009 yılında aynı Anabilim Dalı'na Araştırma Görevlisi olarak atandı. Sığ, mühendislik çalışmaları ve bilgisayar programlama alanlarına ilgili olup, elektronik-bilgisayar teknolojileri ve müziğe meraklı olup, iyi derecede İngilizce bilmektedir.