

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SİSMİK DALGALARIN SÖNÜM KARAKTERİNDEN  
ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENEREK  
SINIFLANDIRILMASI**

**DOKTORA TEZİ**

**Jeofizik Yük. Müh. Eray YILDIRIM**

**Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ruhi SAATÇILAR**

**Mart 2013**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

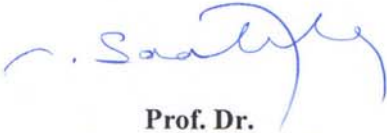
SİSMİK DALGALARIN SÖNÜM KARAKTERİNDEN  
ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENEREK  
SINIFLANDIRILMASI

DOKTORA TEZİ

Jeofizik Yük. Müh. Eray YILDIRIM

Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 25 / 03 / 2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr.  
Ruhi SAATÇILAR  
Jüri Başkanı



Prof. Dr.  
Berkan ECEVİTOĞLU  
Üye

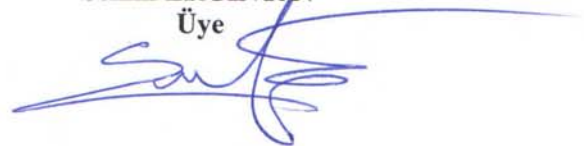


Prof. Dr.  
Emin DEMİRBAĞ  
Üye

Prof. Dr.  
Gündüz HORASAN  
Üye



Doç. Dr.  
Semih ERGİNTAV  
Üye



## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında başından sonuna kadar yardımcı olan, engin bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, ilgi ve desteğini hep yanımda hissettiğim, bana yol gösteren ve yardımlarını hiç esirgemeyen çok değerli danışmanım Prof. Dr. Ruhi SAATÇILAR başta olmak üzere; Gerek bu çalışma boyunca gerekse bilimsel çalışmalarda engin bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren, her konuda desteğini gördüğüm çok değerli hocam Prof. Dr. Gündüz HORASAN'a ve tez çalışmasında kullandığım verileri temin eden, engin bilgi ve tecrübesiyle gerek tez çalışmasında gerekse diğer konularda desteğini hiç eksik etmeyen çok değerli hocam Doç. Dr. Semih ERGİNTAV'a ve saha verilerinin kullanılmasına müsaade eden TÜBİTAK MAM, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü'ne içtenlikle teşekkür ederim.

Personeli olmaktan gurur duyduğum kurumuma, çalışmalarım boyunca beni destekleyen SAÜ Jeofizik Mühendisliği bölüm hocalarıma, araştırma görevlisi arkadaşlarıma, Yapay Sinir Ağları konusunda bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan ve destek veren değerli arkadaşlarım Yük. Müh. Uğur Erkin KOCAMAZ'a ve Yrd. Doç. Dr. Ali GÜLBAĞ'a ve tez çalışmasında kullandığım verilerin toplanması için katıldığım arazi çalışmaları boyunca bana yardımcı olan ve destekleri için TÜBİTAK-MAM personelleri Cengiz TAPIRDAMAZ'a, Yük. Müh. Ali CANKURTARANLAR'a ve Yük. Müh. Adil TARANCI'ya teşekkür ederim.

Hayatım boyunca en çok emekleri geçen, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, annem Fatma YILDIRIM'a, babam Nevzat YILDIRIM'a, ağabeyim Güray YILDIRIM'a, çalışmalarım süresinde bana her türlü desteği veren ve sabır gösteren eşim Gökben YILDIRIM'a ve hayatıma yeni bir anlam katan biricik oğlum Taha Ağâh YILDIRIM'a en içten saygı, sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Eray YILDIRIM

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xvi
ÖZET.....	xviii
SUMMARY.....	xix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
SOĞRULMA VE KESTİRİMİ.....	10
2.1. Soğrulma ve Kalite Faktörü.....	10
2.2. Soğrulma Mekanizmaları.....	15
2.3. Soğrulmanın Kullanıldığı Yerler.....	16
2.4. Q Parametresinin Kestiriminde Kullanılan Yöntemler.....	16
2.4.1. Zaman ortamı yöntemleri.....	17
2.4.1.1. Genlik azalım yöntemi.....	17
2.4.1.2. Analitik sinyal yöntemi.....	18
2.4.1.3. Dalgacık modelleme yöntemi.....	19
2.4.1.4. Faz modelleme yöntemi.....	20
2.4.1.5. Frekans modelleme yöntemi.....	20
2.4.1.6. Yükselme zamanı yöntemi.....	20
2.4.1.7. Pulse genliği yöntemi.....	21
2.4.2. Frekans ortamı yöntemleri.....	21

2.4.2.1. Karşılaştırma yöntemi .....	21
2.4.2.2. Spektral modelleme yöntemi .....	22
2.4.2.3. Spektral oran yöntemi.....	22
2.4.3. Wiener süzgeç yaklaşımı.....	24
2.4.4. Sabit Q paneli yöntemi.....	26
2.4.5. Tekrarlanmalı düz ve ters Q süzgeç (RQF) yöntemi.....	28

### BÖLÜM 3.

YAPAY SİNİR AĞLARI.....	31
3.1. Yapay Sinir Ağları (YSA) Tanımı.....	31
3.2. Yapay Sinir Ağlarının Kısa Tarihçesi.....	33
3.3. Yapay Sinir Ağlarının Bileşenleri.....	34
3.4. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması.....	37
3.4.1. Yapılarına göre sınıflandırma.....	37
3.4.2. Öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırma.....	38
3.5. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Kuralları.....	39
3.6. Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA).....	40
3.7. Levenberg-Marquardt Algoritması.....	43
3.8. Yapay Sinir Ağlarının Avantaj ve Dezavantajları.....	44
3.9. Yapay Sinir Ağlarının Uygulama Alanları.....	45

### BÖLÜM 4.

KESTİRİM YÖNTEMLERİNİN YAPAY VERİLERE UYGULANMASI.....	46
4.1. Yapay Veri.....	46
4.2. Gürültü.....	53
4.2.1. Düzensiz gürültüler.....	54
4.2.1. Düzenli gürültüler.....	54
4.3. YSA Yöntemini Yapay Veride Q Kestiriminde Kullanılması.....	54
4.4. Yapay Verilerde Q Parametresinin Kestirimi.....	57
4.4.1. Gürültü içermeyen yapay veriler üzerinde Q kestirimi.....	58
4.4.2. Gürültü içeren yapay veriler üzerinde Q kestirimi.....	67
4.5. Arazi Verilerinin Özelliklerine Uygun YSA Modelinin Oluşturulması.....	80

4.6. Yapay Verilerde Q Kestirim Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	85
<b>BÖLÜM 5.</b>	
<b>KESTİRİM YÖNTEMLERİNİN GERÇEK ARAZİ VERİLERİNE UYGULANMASI.....</b>	<b>86</b>
5.1. Çalışma Alanının Coğrafik Konumu ve Ulaşım.....	86
5.2. Morfoloji .....	87
5.3. İnceleme Alanının Jeolojik Özellikleri.....	88
5.3.1. Genel jeoloji.....	88
5.3.2. Soğucak formasyonu (Tks).....	88
5.3.3. Ceylan formasyonu (Tkc).....	89
5.3.4. Pınar formasyonu (Tp).....	90
5.3.5. Danişmen formasyonu (Td).....	90
5.3.6. Çukurçeşme formasyonu (Tç).....	90
5.3.7. İnceleme alanının jeolojisi .....	91
5.4. Çalışma Alanının Zemin Özellikleri.....	93
5.5. Sismik Yansıma Çalışması.....	94
5.6. Sismik Yansıma Verilerinin Toplanması.....	97
5.7. Kestirim Yöntemlerinin Gerçek Sismik Veriye Uygulanması.....	100
5.7.1. Genlik azalım yönteminin uygulanması.....	102
5.7.2. Spektral oran yönteminin uygulanması .....	106
5.7.3. Wiener süzgeç yönteminin uygulanması .....	111
5.7.4. YSA yönteminin uygulanması .....	115
5.8. Yöntemlerin Karşılaştırılması.....	118
5.9. Kestirim Sonuçları ve Güven Aralığı Analizi.....	122
5.10. Q Parametresi Kestirim Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	124
<b>BÖLÜM 6.</b>	
<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>127</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>134</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>145</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>156</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
MAM	: Marmara Araştırma Merkezi
MTA	: Maden Tetkik Arama Enstitüsü
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
AI	: Yapay Zeka (Artificial Intelligence)
YSA	: Yapay Sinir Ağları
ANFIS	: Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems
ÇKA	: Çok Katmanlı Algılayıcı
İEÇ	: İşlem Elemanının Çıkışı
LM	: Levenberg-Marquardt
BFG	: Broyden-Fletcher-Goldfarb-ShannoQuasi-Newton
CGF	: Conjugate Gradient with Fletcher-Reeves
OSS	: One Step Secant
SCG	: Scale Conjugate Gradient
MLP	: Çok Katmanlı Algılayıcı (Multi-Layer Perceptron)
LVQ	: Learning Vector Quantization
SOM	: Self Organizing Map
RQF	: Tekrarlanmalı Q Süzgeç (Recursive Q Filter)
CDP	: Ortak Derinlik Noktası (Common Depth Point)
AGC	: Otomatik Kazanç Kontrolü (Automatic Gain Control)
GYS	: Güç Yoğunluğu Spektrumu
$Q$	: Sismik kalite faktörü
$\alpha$	: Soğrulma katsayısı
$\delta$	: Logaritmik azalım
$A$	: Genlik
$f$	: Frekans

$T$	: Periyot
$f_r$	: Rezonans frekansı
$v$	: Hız
$\lambda$	: Dalga boyu
$k$	: Dalga sayısı
$\omega$	: Açısal frekans
$t$	: Zaman
$x$	: Mesafe
$\phi$	: Faz
$G$	: Geometrik yayılım
$\bar{T}$	: Dalgacık iç zamanı
$dB$	: Desibel
$M_I$	: Elastik modülün sanal bileşeni
$M_R$	: Elastik modülün gerçel bileşeni
$\tau$	: Yükselme zamanı
$\Lambda$	: Dalgacığın ilk varış zamanındaki maksimum genliği
$m$	: Eğim
$W$	: Elastik enerji
$E$	: Sistemin anlık enerjisi
$d_t$	: Gerçek çıkış
$y_t$	: İstenen çıkış
$R$	: Özilişki
$H$	: Hilbert dönüşümü
$r$	: Yansıma katsayısı
$n$	: Gürültü
$S/G$	: Sinyal gürültü oranı
$SS$	: Standart sapma
$R^2$	: Belirleme katsayısı
$\sigma$	: Varyans
$\mu$	: Ortalama
$w$	: Ağırlık (YSA'da)



<i>SEM</i>	: Standard Error of Mean, Standart hata
<i>V<sub>p</sub></i>	: P dalgası hızı
<i>V<sub>s</sub></i>	: S dalgası hızı
<i>TDR</i>	: Time Domain Reflectometry
<i>MASW</i>	: Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi (Multichannel Analysis of Surface Waves)
<i>SPAC</i>	: Uzaysal Özilişki Yöntemi (Spatial Auto Correlation)
<i>AVA</i>	: Genliğin yansıma açısı ile değişimi (Amplitude Variation with Angle)
<i>AVO</i>	: Genliğin ofset ile değişimi (Amplitude Variation with Offset)
<i>T<sub>ks</sub></i>	: Soğucak formasyonu
<i>T<sub>kc</sub></i>	: Ceylan formasyonu
<i>T<sub>p</sub></i>	: Pınar formasyonu
<i>T<sub>d</sub></i>	: Danişmen formasyonu
<i>T<sub>ç</sub></i>	: Çukurçeşme formasyonu

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Sismik dalga genliklerini etkileyen faktörler (Reynolds, 1998)...	11
Şekil 2.2.	Dalgacık iç zamanı ( $\bar{T}$ ), seyahat zaman farkı ( $\Delta t$ ) ve kayıt zamanı ( $t$ ) (Tonn, 1991).....	19
Şekil 2.3.	Spektral oran yönteminin grafiksel gösterimi (Anstey, 1977).....	23
Şekil 2.4.	Wiener süzgeç akış diyagramı (Yılmaz, 2001).....	26
Şekil 2.5.	a) 10 s sweep ve 20 – 120 Hz vibroseis ile kaydedilmiş veri, b) Ham verinin sabit Q paneli ile kestirilen $Q = 50$ ile düzeltilmiş hali (Çoruh vd., 1990).....	27
Şekil 2.6.	a) Şekil 2 a'daki verinin stack edilmiş bir kısmı, b) Q panelinden belirlenmiş $Q = 50$ değeri kullanılarak yapılan Q düzelmesi (Çoruh vd., 1990).....	28
Şekil 2.7.	Minimum fazlı dalgacık kullanan Q modeli için RQF uygulaması. a) Minimum fazlı Butterwoth dalgacıkları kullanılarak oluşturulmuş yapay sismogram (soğrulma yok), b) c'deki Q modeli kullanılarak oluşturulmuş yapay sismogram, c) Bu uygulamada kullanılan Q modeli, d) 400 ms üstü ters RQF çıktısı e) 550 ms üstü ters RQF çıktısı, f) Sismogramın tümünün ters RQF çıktısı (Saatçılar vd., 1992).....	30
Şekil 3.1.	Biyolojik nöronun yapısı.....	32
Şekil 3.2.	Bir nöronun YSA modeli (İEÇ; İşlem Elemanının Çıkışı).....	33
Şekil 3.3.	Çok katmanlı ağ yapısı.....	35
Şekil 3.4.	Lineer aktivasyon fonksiyonu.....	36
Şekil 3.5.	Sigmoid aktivasyon fonksiyonu.....	36
Şekil 3.6.	Tan-sigmoid aktivasyon fonksiyonu.....	37
Şekil 3.7.	Danışmanlı öğrenme yapısı (Kulluk, 2009).....	38
Şekil 3.8.	Danışmansız öğrenme yapısı (Kulluk, 2009).....	39

Şekil 3.9.	Takviyeli öğrenme yapısı (Kulluk, 2009).....	39
Şekil 3.10.	Geri yayımlı çok katmanlı algılayıcılarda çalışma prosedürü....	42
Şekil 4.1.	Sıfır fazlı Ricker dalgacığ (f <sub>dom</sub> =50 Hz) a) Zaman ortamı b) Frekans ortamı.....	48
Şekil 4.2.	Sabit Q operatörünün t = 1.0 ve Q = 50 için üretilmiş a) Zaman ortamı b) Genlik spektrumu.....	49
Şekil 4.3.	Q = 60 ve t = 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4 zamanlarındaki sabit Q operatörünün görüntüsü.....	50
Şekil 4.4.	Merkez frekansı 50 Hz Ricker dalgacığının Q = 0, 20, 40, 60 ve 100 değerlerinde soğrulmaya uğramış hali a) Zaman ortamında, b) Frekans ortamında.....	51
Şekil 4.5.	Örnek yeraltı modeli (h <sub>1</sub> ; Tabaka kalınlığı V <sub>1</sub> ; Birinci tabaka hızı V <sub>2</sub> ; İkinci tabaka hızı).....	51
Şekil 4.6.	Örnek olarak verilen yeraltı modelinin Q = 10 için yapay sismogram kaydı.....	52
Şekil 4.7.	Gürültü (üstte), Sinyal (ortada) ve Sinyal + Gürültü (altta).....	53
Şekil 4.8.	Soğrulmaya uğramış dalgacığın yakın (sol) ve uzak mesafelerdeki (sağ) görünümü. t <sub>1</sub> ve t <sub>2</sub> sırasıyla yakın ve uzak ize ait dalga genişliğidir .....	56
Şekil 4.9.	Çalışmada kullanılan YSA yapısı 3 girdi 1 çıktıdan oluşmaktadır	56
Şekil 4.10.	Q=50 için soğrulmaya uğramış dalgacık. a) 100 metrede soğrulmaya uğramış dalgacık, b) 300 metrede soğrulmaya uğramış dalgacık.....	58
Şekil 4.11.	Şekil 4.10'da görülen dalgacıkların genlik spektrumu.....	59
Şekil 4.12.	Spektral oran yöntemi ile Q parametresinin hesaplanması.....	60
Şekil 4.13.	Wiener süzgeç yaklaşımı a)Yakın dalgacığın özilişkisi b) Yakın ve uzak dalgacıkların çapraz ilişkisi c) Özilişki fonksiyonunun Toeplitz matrisi d) Wiener süzgeç katsayıları.....	61
Şekil 4.14.	Wiener süzgeç operatörü genlik (log) spektrumu (Gerçek Q değeri 50).....	61
Şekil 4.15.	YSA yöntemi için yapay sismogram üretmede kullanılan yeraltı modeli (h <sub>1</sub> ; Tabaka kalınlığı V <sub>1</sub> ; Birinci tabaka hızı V <sub>2</sub> ; İkinci tabaka hızı).....	62

Şekil 4.16.	Q=10 için üretilen yapay shot gather, kırmızı olarak görünen 1. ve 20. dalgacıklar YSA yönteminin test işleminde kullanılmıştır.	62
Şekil 4.17.	Gürültü içermeyen yapay verilerin YSA öğrenme algoritmalarına ait performans grafikleri, Modellerin nöron sayılarına karşılık göstermiş oldukları ortalama karesel hata miktarları.....	63
Şekil 4.18.	Gürültü içermeyen yapay verilerdeki Q kestirim yöntemlerin başarı grafikleri. Kesikli kahverengi çizgi % 100 başarı çizgisidir. a) Genlik azalım b) Spektral oran c) Wiener süzgeç d) YSA yöntemi.....	65
Şekil 4.19.	Gürültüsüz yapay verideki spektral oran, Wiener süzgeç ve YSA yöntemlerinin başarı durumlarını daha geniş spektrumdaki ortak görüntüsü.....	66
Şekil 4.20.	Belirli oranlarda gürültü içeren 18 kanallı yapay sismogramlar. a) Gürültü yok b) %1 gürültü c) %20 gürültü d) %50 gürültü eklenmiş sismogram.....	68
Şekil 4.21.	Belirli oranlarda gürültü içeren yapay sismogramlara ait genlik spektrumları. a) Gürültü yok b) %1 gürültü c) %20 gürültü d) %50 gürültü içeren spektrum.....	69
Şekil 4.22.	Q=50 ve %10 Gürültü yüzdesi için soğrulmaya uğramış dalgacık. a) 100 metrede soğrulmaya uğramış dalgacık b) 300 metrede soğrulmaya uğramış dalgacık.....	69
Şekil 4.23.	%10 gürültü içeren soğrulmaya uğramış yapay dalgacıkların (100 ve 300 metredeki). a) Genlik spektrumları b) Spektral oranları ve Q kestirimi c) Wiener süzgeç yöntemi Q kestirimi.....	70
Şekil 4.24.	Gürültü içeriklerine göre YSA yönteminin öğrenme algoritmalarına ait performans grafikleri ve modellerin nöron sayılarına karşılık göstermiş oldukları ortalama karesel hata miktarları. Gürültü içeriklerine göre; a) %1, b) %5, c) %10, d) %20, e)%40 ve f) %50.....	72
Şekil 4.25.	Gürültü miktarlarına göre yöntemlerin hata miktarları.....	79

Şekil 4.26.	Zaman ortamında a) Araziide toplanan kayıtlarda gözlenen veriye ait gürültü b) Filtrelenmiş arazide gözlenen gürültü c) Üretilen renkli gürültü.....	80
Şekil 4.27.	Gürültülere ait genlik spektrumları. Mavi çizgi: Arazi verisinde gözlenen gürültüyü, kırmızı çizgi: filtrelenmiş gözlenen gürültüyü ve yeşil çizgi: üretilen renkli gürültüyü göstermektedir.....	81
Şekil 4.28.	Welch yöntemi kullanılarak hesaplanan güç yoğunluğu spektrumu.....	82
Şekil 4.29.	Arazi verilerinin özelliklerinde üretilen yapay verilerin YSA öğrenme algoritmalarına ait performans grafikleri, Modellerin nöron sayılarına karşılık göstermiş oldukları ortalama karesel hata miktarları.....	83
Şekil 5.1.	Çalışma alanı yer bulduru haritası.....	87
Şekil 5.2.	Genel jeoloji haritası (MTA, 2002).....	89
Şekil 5.3.	Yeniköy alanının jeoloji haritası (Ergintav vd., 2011).....	91
Şekil 5.4.	Yeniköy alanının genelleştirilmiş dikme kesiti (Ergintav vd., 2011).....	92
Şekil 5.5.	Çalışmada kullanılan yüksek ayrımlı sığ sismik yansıma hattı (Kırmızı çizgi; sismik hat, A; sismik hattın başlangıç noktası ve A'; sismik hattın bitiş noktası) (Google Earth, 2012).....	95
Şekil 5.6.	Sismik yansıma profilinin dört coğrafik yönden (Kuzey, Güney, Doğu, Batı) görünüşü (ölçeksiz). Üst sağ; kuzeyden görünüşü, üst sol; doğudan görünüşü, alt sağ; batıdan görünüşü, alt sol; güneyden görünüşü (Google Earth, 2012).....	96
Şekil 5.7.	Çalışmada kullanılan sismik hattın güneydeki tepelik kısımdan görünüşü.....	96
Şekil 5.8.	Çalışmada kullanılan Geometrics – Geode sistem ve ekipmanları	97
Şekil 5.9.	Çalışmalarda sismik kaynak olarak kullanılan mini vibro sistem..	98
Şekil 5.10.	Çalışmada jeofonların zemine yerleştirilmesi.....	98
Şekil 5.11.	Veri toplama aşamasından görüntü.....	99
Şekil 5.12.	1 nolu ham atış verisi.....	100

Şekil 5.13.	1 nolu ham atış verisinin otomatik kazanç kontrolü (AGC) uygulanmış hali.....	100
Şekil 5.14.	Arazide kayıt edilmiş 48 kanallı sismik yansıma atış kaydı. Kırmızı çizgiler arasında kalan yansıma seviyesi Q parametresinin kestiriminde kullanılan bölgeyi göstermektedir...	102
Şekil 5.15.	2 numaralı atış verisinden aynı yansıma seviyesine ait örnek dalgacıklar.....	103
Şekil 5.16.	7 numaralı atış verisinden aynı yansıma seviyesine ait örnek dalgacıklar.....	104
Şekil 5.17.	Toplam 20 sismik yansıma atış kaydı kullanılarak genlik azalım yöntemi ile kestirilen sismik kalite faktörü (Q) değerlerinin dağılımı.....	104
Şekil 5.18.	a) Toplam 20 sismik yansıma atış verisi kullanılarak genlik azalım yöntemi ile kestirilen sismik kalite faktörü (Q) değerlerinin standart sapma analiz sonuçları, b) Kestirilen sismik kalite faktörünün standart sapma analizi ile elde edilen alt ve üst limitleri.....	105
Şekil 5.19.	2 numaralı atış verisinden spektral oran yöntemi ile Q parametresinin kestirimine yönelik örnek. a) Yakın ve uzak ize ait genlik spektrumları (mavi: yakın iz; kırmızı: uzak iz), b) İzlerin spektral oranları. b grafiğinde görülen yeşil çizgi regresyon eğrisini, kırmızı kesikli çizgi ise % 95'e göre güven sınırlarını göstermektedir. Regresyon çizgisinin (yeşil) eğiminden Q parametresi hesaplanmaktadır.....	107
Şekil 5.20.	7 numaralı atış verisinden spektral oran yöntemi ile Q parametresinin kestirimine yönelik örnek. a) Yakın ve uzak ize ait genlik spektrumları (mavi: yakın iz; kırmızı: uzak iz), b) İzlerin spektral oranları. b grafiğinde görülen yeşil çizgi regresyon eğrisini, kırmızı kesikli çizgi ise % 95'e göre güven sınırlarını göstermektedir. Regresyon çizgisinin (yeşil) eğiminden Q parametresi hesaplanmaktadır.....	108

Şekil 5.21.	Toplam 20 sismik yansıma atış verisi kullanılarak spektral oran yöntemi ile kestirilen sismik kalite faktörü Q değerlerinin dağılımı.....	109
Şekil 5.22.	a)Toplam 20 sismik yansıma atış verisi kullanılarak spektral oran yöntemi ile kestirilen sismik kalite faktörü Q değerlerinin standart sapma analiz sonuçları, b) Kestirilen sismik kalite faktörünün standart sapma analizi ile elde edilen alt ve üst limitleri.....	110
Şekil 5.23.	2 numaralı atış verisinden Wiener süzgeç yöntemi ile Q parametresinin kestirimine yönelik örnek. Grafikte görülen yeşil çizgi regresyon eğrisini, kırmızı kesikli çizgi ise % 95'e göre güven sınırlarını göstermektedir. Regresyon çizgisinin (yeşil) eğiminden Q parametresi hesaplanmaktadır.....	112
Şekil 5.24.	7 numaralı atış verisinden Wiener süzgeç yöntemi ile Q parametresinin kestirimine yönelik örnek. Grafikte görülen yeşil çizgi regresyon eğrisini, kırmızı kesikli çizgi ise % 95'e göre güven sınırlarını göstermektedir. Regresyon çizgisinin (yeşil) eğiminden Q parametresi hesaplanmaktadır.....	113
Şekil 5.25.	Toplam 20 sismik yansıma atış verisi kullanılarak Wiener süzgeç yöntemi ile kestirilen sismik kalite faktörü Q değerlerinin dağılımı.....	113
Şekil 5.26.	a) Toplam 20 sismik yansıma atış verisi kullanılarak Wiener süzgeç yöntemi ile kestirilen sismik kalite faktörü Q değerlerinin standart sapma analiz sonuçları, b) Kestirilen sismik kalite faktörünün standart sapma analizi ile elde edilen alt ve üst limitleri.....	114
Şekil 5.27.	Toplam 20 sismik yansıma atış verisi kullanılarak YSA yöntemi ile kestirilen sismik kalite faktörü Q değerlerinin dağılımı.....	116
Şekil 5.28.	a) Toplam 20 sismik yansıma atış verisi kullanılarak YSA yöntemi ile kestirilen sismik kalite faktörü Q değerlerinin standart sapma analiz sonuçları, b) Kestirilen sismik kalite faktörünün standart sapma analizi ile elde edilen alt ve üst limitleri.....	117

Şekil 5.29.	Toplam 20 sismik yansıma atış verisi kullanarak 4 farklı yöntem ile kestirilen sismik kalite faktörü Q değerlerinin dağılımı.....	119
Şekil 5.30.	Toplam 20 sismik yansıma atış verisi kullanılarak çalışmada kullanılan dört yöntemi ile kestirilen sismik kalite faktörü Q değerlerinin standart sapma analiz sonuçları.....	120
Şekil 5.31.	Kestirim sonuçlarının standart sapma aralıkları. Mor çizgi; Genlik azalım, Yeşil çizgi; Spektral oran, Kırmızı çizgi; Wiener süzgeç ve Mavi çizgi; YSA yöntemleriyle elde edilen standart sapma değerleri.....	121
Şekil 5.32.	%95 anlam düzeyine göre ret ve kabul (yeşil) alanları.....	123
Şekil 5.33.	İki farklı veriye ait güven aralığı ve standart sapma analizi. a ve b sismik yansıma atış kayıtları. c ve d ilgili atışlara ait güven aralığı analizi (kırmızı çizgi: kestirimin ortalaması, kırmızı bölge: güven aralığı, mavi bölge: ortalamaya göre $\pm$ standart sapma aralığı).....	125



## TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1.	Gürültü içermeyen yapay veriler için öğrenme algoritmasına karşılık gelen nöron sayılarının eğitim ve test verilerindeki ortalama karesel hata. Gri renkli zeminler öğrenme algoritmasındaki en iyi sonucu göstermektedir. ‘*’ işareti ise en iyi performanslı modeli göstermektedir.....	64
Tablo 4.2.	Kestirim yöntemlerinin gürültüsüz yapay verideki kestirim sonuçları ve başarı yüzdeleri.....	66
Tablo 4.3.	% 1 gürültü içeren yapay veriler için öğrenme algoritmasına karşılık gelen nöron sayılarının eğitim ve test verilerindeki ortalama karesel hata. Gri renkli zeminler öğrenme algoritmasındaki en iyi sonucu göstermektedir. ‘*’ işareti ise en iyi performanslı modeli göstermektedir.....	73
Tablo 4.4.	% 5 gürültü içeren yapay veriler için öğrenme algoritmasına karşılık gelen nöron sayılarının eğitim ve test verilerindeki ortalama karesel hata. Gri renkli zeminler öğrenme algoritmasındaki en iyi sonucu göstermektedir. ‘*’ işareti ise en iyi performanslı modeli göstermektedir.....	74
Tablo 4.5.	% 10 gürültü içeren yapay veriler için öğrenme algoritmasına karşılık gelen nöron sayılarının eğitim ve test verilerindeki ortalama karesel hata. Gri renkli zeminler öğrenme algoritmasındaki en iyi sonucu göstermektedir. ‘*’ işareti ise en iyi performanslı modeli göstermektedir.....	75

Tablo 4.6.	% 20 gürültü içeren yapay veriler için öğrenme algoritmasına karşılık gelen nöron sayılarının eğitim ve test verilerindeki ortalama karesel hata. Gri renkli zeminler öğrenme algoritmasındaki en iyi sonucu göstermektedir. ‘*’ işareti ise en iyi performanslı modeli göstermektedir.....	76
Tablo 4.7.	% 40 gürültü içeren yapay veriler için öğrenme algoritmasına karşılık gelen nöron sayılarının eğitim ve test verilerindeki ortalama karesel hata. Gri renkli zeminler öğrenme algoritmasındaki en iyi sonucu göstermektedir. ‘*’ işareti ise en iyi performanslı modeli göstermektedir.....	77
Tablo 4.8.	% 50 gürültü içeren yapay veriler için öğrenme algoritmasına karşılık gelen nöron sayılarının eğitim ve test verilerindeki ortalama karesel hata. Gri renkli zeminler öğrenme algoritmasındaki en iyi sonucu göstermektedir. ‘*’ işareti ise en iyi performanslı modeli göstermektedir.....	78
Tablo 4.9.	Kestirim yöntemlerinin gürültü yüzde değerlerine göre kestirim hata (%) miktarı.....	79
Tablo 4.10.	Arazi verilerinin özelliklerinde üretilen yapay veriler için öğrenme algoritmasına karşılık gelen nöron sayılarının eğitim ve test verilerindeki ortalama karesel hata. Gri renkli zeminler öğrenme algoritmasındaki en iyi sonucu göstermektedir. ‘*’ işareti ise en iyi performanslı modeli göstermektedir.....	84
Tablo 5.1.	Genlik azalım yöntemi ile her bir sismik yansıma atış kaydı için elde edilen kestirim sonuçları ve istatistik değerleri.....	106
Tablo 5.2.	Spektral oran yöntemi ile her bir sismik yansıma atış kaydı için elde edilen kestirim sonuçları ve istatistik değerleri.....	111
Tablo 5.3.	Wiener süzgeç yöntemi ile her bir sismik yansıma atış kaydı için elde edilen kestirim sonuçları ve istatistik değerleri.....	115
Tablo 5.4.	YSA yöntemi ile her bir sismik yansıma atış kaydı için elde edilen kestirim sonuçları ve istatistik değerleri.....	118
Tablo 5.5.	Her bir atış kaydı için kestirim yöntemleri ile elde edilen sonuçların ortalaması ve standart sapması.....	122

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Soğrulma, Sismik Kalite Faktörü, Genlik Azalım, Spektral Oran, Wiener Süzgeç, Yapay Sinir Ağları, Zemin, Güven Aralığı Analizi

Bu çalışmanın amacı, genlik azalım, spektral oran, Wiener süzgeç ve Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemleri kullanılarak, zemin içerisinde yayılan sismik dalgaların soğrulmasının kestirilmesi, kestirim yöntemlerinin karşılaştırılması ve kestirim sonuçlarıyla zemin özelliklerinin incelenmesidir. Bu amaca yönelik olarak, bahsi geçen yöntemleri kullanarak soğrulma parametresinin kestirimini sağlayacak MATLAB ortamında programlar yazılmıştır. Kullanılan yöntemlerin performansları ilk olarak çeşitli miktarlarda gürültü içeren yapay sismogramlar üzerinde incelenmiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Gürültü içermeyen yapay verilerde kestirim yöntemlerinin başarı yüzdesi oldukça yüksektir. Gürültü miktarı arttıkça kestirim yöntemlerinde başarı yüzdesi azalmaktadır.

YSA yönteminin uygulamasında toplam 480 model incelenmiştir. İncelenen modellerin performanslarına göre girdi parametresi olarak dalgacıkların genişliğinin, enerjilerinin ve kat ettikleri mesafelerin farkları, çıktı olarak ise sismik kalite faktörü (Q) kullanılmıştır. Bu çalışmada Yapay Sinir Ağları metodolojisi kullanılarak dalga formundan soğrulma parametresinin kestirilmesi sismik uygulamalar alanında yapılan ilk çalışmalar arasında yer alacaktır.

Çalışmada kullanılan kestirim yöntemleri TÜBİTAK projesi kapsamında İstanbul İli, Arnavutköy ilçesi, Yeniköy mahallesinde toplanmış 5 numaralı yüksek ayrımlı sismik yansıma hattının verilerine uygulanarak zeminin fiziksel özellikleri ve litolojisi incelenmiştir. Yöntemlerin Q kestiriminde aynı veriler kullanılmış olup her bir yöntem için 424 tane Q kestirimi, toplamda ise 1696 tane Q kestirimi yapılmıştır. Kestirim sonuçlarının ve istatistik çalışmaların (standart sapma ve güven aralığı) değerlendirilmesi neticesinde YSA, Wiener süzgeç ve spektral oran yöntemlerinin birbirlerine oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Genlik azalım yönteminin gürültüye olan duyarlılığından dolayı nispeten kestirimde daha yüksek risk göstermektedir. Çalışma alanında önceden yapılan çalışmalara göre zemin, killi ve kumlu birimlerden oluşan, suya doymuş, güncel ve eski heyelanlar neticesinde heterojenitenin gözlemlendiği oldukça zayıf bir zemin özelliği göstermektedir. Bu çalışmaya göre bu fiziksel şartlar altındaki zeminlerin Q değerinin 7,9 ile 13,6 arasında olması beklenebilir.

# CLASSIFICATION OF SOIL PROPERTIES USING ABSORPTIVE CHARACTERISTICS OF SEISMIC WAVES

## SUMMARY

Key Words: Attenuation, Seismic Quality Factor, Amplitude decay, Spectral ratio, Wiener filter, Artificial Neural Network, Soil, Confidence interval analysis

The aim of this study is to estimate the attenuation of the seismic waves which propagate in soil by using amplitude decay, spectral ratio, Wiener filter and Artificial Neural Networks (ANN). Comparison of the estimation methods and investigation of soil properties by using the estimation results are alternative purposes of this study. For this purpose, programs which provide the estimation of the attenuation parameter by using the above mentioned methods have been developed using MATLAB. The performances of the used methods were examined and compared firstly by using synthetic seismograms which includes various amounts of noise. The percentage of success of the estimation methods is quite high for noiseless synthetic data. As the amount of noise increase the percentage of success of the estimation methods decrease.

Total 480 models were examined in the application of the ANN methods. Depending on the performances of the examined ANN methods, the difference between two wavelets depending on their widths, energy, and the traveling distance is used as input and as output Q parameters are used. The estimation of the attenuation parameter from waveform by using ANN presented in this study is one of the first studies made in the field of seismic application.

Estimation methods used in this study were applied to the high resolution seismic reflection data which was collected from Yeniköy district of Arnavutköy, İstanbul within the scope of a TÜBİTAK Project. The physical properties and the lithology of the soil were examined by using the results of Q estimations. The same data were used for Q estimations of all the methods. For each method 424 and in total 1696 Q estimations were made. As a result of the evaluation of the estimation results and statistical analysis, it was seen that ANN, Wiener filter and spectral ratio methods produced quite similar results. According to the previous studies carried out in the study area, the soil consists of clay and sandy units and is water saturated. Also heterogeneity is observed as result of the past and current landslides. Because of these conditions the soil shows a weak soil property. According to results obtained in this study, under physical conditions it is expected that the soil's Q values were between 7,9 and 13,6.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Fiziksel anlamda sismik soğrulma kavramı; elastik dalgaların ortam içinde yayılımına esas teşkil eden parçacıkların birbirlerine çarparak kinetik enerjinin bir kısmının ısı enerjisine ve yamulma veya bir miktar plastisite kazanması ile elastik dalgaların yüksek frekanslarındaki enerjilerinin yitirilmesi olarak tanımlanır. Soğrulmanın yüksek olduğu durumlarda artık dalganın elastik yayılımı yerine inelastik dalga yayılımından söz etmek gerekir. Soğrulma kelimesinin İngilizce karşılığı ise “absorption” olarak ifade edilmektedir. Soğrulma olayı haberleşme, tıp elektroniği, askeri teknolojiler ve jeofizik gibi birçok disiplin içerisindeki fiziksel olaylarda hesaba katılmakta ve incelenmektedir. Bu fiziksel olaylara, ışığın soğrulması, fiber optik sistemlerdeki sinyalin soğrulması, kablosuz ağlarda kullanılan elektromanyetik dalgaların soğrulması, radar sinyallerinin soğrulması, X-ışınlarının soğrulması ve sismik dalgaların yayıldığı ortam içerisinde soğrulması örnek olarak gösterilebilir. Soğrulma olayı enerjinin iletimi açısından bir dezavantaj olarak görünmesine karşın, yayıldığı ortamın fiziksel özelliklerinin belirlenmesi bakımından oldukça önemli bir parametredir. Farklı disiplinlerde yapılan soğrulma ile ilgili bilimsel çalışmalarla enerjinin yayıldığı ortam veya ortamlara ait önemli fiziksel bilgiler elde edilmekte olup, ortamın özelliklerinin tanımlanmasında kullanılmaktadır. Jeofizik mühendisliğinde sismik aramalar, sismoloji, elektromanyetik gibi alanlarda soğrulma olayı incelenmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır.

Sismik çalışmalarda soğrulma kavramı, elastik dalga enerjisinin birim dalga boyu başına yitilmesi şeklinde tarif edilmektedir (Aki ve Richards, 1980). Yani elastik dalga yer içerisinde yayılırken ortamın fiziksel özellikleri ve çeşitli soğrulma mekanizmalarından dolayı enerjisinde bir kayıp meydana gelmektedir. Sismik soğrulma, saçılma ve inelastik soğrulma olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Saçılma kökenli soğrulma, sismik dalganın yer içerisinde 3 boyutlu heterojen ortamlarda

dalga enerjisinin kırılması ve saçılması sonucu enerjisindeki azalım olarak tarif edilmektedir. İnelastik kökenli soğrulma ise, sismik dalga enerjisinin yayıldığı ortam içerisindeki içsel sürtünmeden, sıvı akışkanlığı, termodinamik süreçler gibi çeşitli mekanizmalar sonucunda ısıya dönüşmesi olarak tarif edilmektedir. Bu tür soğrulma da frekans bağımlı olan ve olmayan (veya sabit Q) olarak kendi içinde ikiye ayrılabilir. Sismik çalışmalarda yaygın olarak kullanılan soğrulma ölçütleri; soğrulma katsayısı, iç sürtünme katsayısı, logaritmik azalım ve sismik kalite faktörü Q olup, bu çalışmada soğrulma ölçütü olarak sismik kalite faktörü kullanılmıştır.

Sismik çalışmaların temel amacı, yeraltı jeolojik yapısının incelenmesinin yanı sıra, katmanların hız, yoğunluk, porozite, sönüm gibi fiziksel özelliklerinin tespit edilmesidir. Bu amaca yönelik olarak sismik yansıma, sismik kırılma, aktif ve pasif yüzey dalgası yöntemlerine ilaveten soğrulma analizleri de kullanılmaktadır. Soğrulma, diğer sismik yöntemler ile bulunan hız bilgisine ek olarak litolojik yorum için kullanılabilen önemli bir parametredir. Sismik dalgaların soğrulması ortamın yoğunluğuna, gözenekliliğine, basınç, suya doygunluk ve yoğunluk gibi fiziksel özelliklere oldukça duyarlıdır. Bu nedenle soğrulma parametresi kullanılarak incelenen ortamın litolojisi ve fiziksel özellikleri hakkında bilgi edinilebilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, genlik azalım, spektral oran, Wiener süzgeç ve YSA yöntemlerini kullanarak, zemin içerisinde yayılan sismik dalgaların soğrulmasının kestirilmesi, kestirim yöntemlerinin karşılaştırılması ve kestirim sonuçlarıyla zemin özelliklerinin incelenmesidir. Bu amaca yönelik olarak, bahsi geçen yöntemleri kullanarak soğrulma parametresinin kestirimini sağlayacak MATLAB ortamında programlar yazılmıştır. Bu programları kullanarak yapay sismogram kayıtları üzerinde soğrulma parametresinin kestirimi yapılmış ve yöntemlerin performansları karşılaştırılmıştır. Q parametresinin kestiriminde kullanılan yöntemleri, İstanbul İli, Arnavutköy İlçesi, Yeniköy mahallesinde toplanmış yüksek ayrımlı sismik yansıma verilerine uygulayarak, zemine ait Q parametresi değerleri elde edilmiştir. Kestirilen Q değerleri ile zeminin litoloji ve özellikleri incelenmiştir.

Sismik yöntemler ile elde edilen en önemli ve en sık kullanılan parametre hız bilgisidir. Sismik hız değerlerinin düşük veya yüksek olması yeraltı modelinin

belirlenmesinde oldukça önemlidir. Bazı durumlarda birimler arasında sismik hızlarda ve yoğunluklarda ayırt edilebilir değişiklikler olmadığı halde soğrulma parametresinde fark edilebilir değişiklikler olabilmektedir (Toksöz ve Johnston, 1981). Yeraltı modellerinin oluşturulmasında soğrulma parametresi hız bilgisine nazaran daha az kullanılmaktadır. Bu bakımdan tez çalışmasında soğrulmanın litolojik kestiriminde kullanılması bilgi birikiminin artması bakımından oldukça önemlidir.

Bu çalışmada YSA yöntemi kullanılarak dalga formundan Q parametresinin kestirilmesi sismik uygulamalar alanında yapılan ilk çalışmalar arasında yer alacak olması tez çalışmasına ayrı bir önem katmaktadır.

Soğrulma olayı birçok araştırmacı tarafından gerek arazide gerekse laboratuvar ortamında çeşitli örnekler üzerinde farklı koşullar altında incelenmiştir. Kayaçların soğrulma özelliklerinin laboratuvar ortamında incelenmesiyle ilgili ilk çalışmalar 1900'lü yılların ilk yarısında başlamış ve bu çalışmalar günümüzde de devam etmektedir. İlk çalışmalara örnek olarak Birch ve Bancroft'un (1938) Quincy Granitleri üzerinde yaptıkları çalışma, Born'un (1941) çeşitli kayaçların suya doygunluğuna göre soğrulma özelliklerini incelemesi ve Bruckshaw ve Mahanta'nın (1954) kumtaşı, kireçtaşı, granit gibi kayaçlarda soğrulma özelliklerini incelemesi sayılabilir. Laboratuvar ortamında yapılan bu çalışmalara ilave olarak; Shumway, 1960; Hamilton, 1972; Toksöz ve Johnson, 1979; Johnson ve Toksöz vd., 1979; Winkler ve Plona, 1982; Klimentos ve McCann, 1990; Domnesteau vd., 2002; Stevenson vd., 2002; Shi ve Deng 2005; Best vd., 2007; Zhu vd., 2007 çalışmaları sayılabilir.

Yer içerisinden çeşitli yollar ile alınan kayaç örneklerinin laboratuvar ortamında soğrulma özelliklerinin belirlenmesi için genel olarak kullanılan 4 yöntem mevcuttur. Bunlar; resonant bar (Birch ve Bancroft, 1938; Born, 1941; Gardner vd., 1964), pulse iletimi (Kuster ve Toksöz, 1974; Tittmann vd., 1974), yansımaların genlik azalımı (Peselnick ve Zietz, 1959) ve slow stress strain cycling yöntemleridir (Jackson, 1969). Örnekler üzerinde yapılan laboratuvar testleri ile elde edilen soğrulma değerleri, deney tekniklerine bağlı olarak farklı sonuçlar verebilmektedir. Ayrıca

numunenin alındığı ortam şartlarının (basınç, sıcaklık) laboratuvar ortamında elde edilememesi, numune alımı esnasında malzemenin örselenmesi (ufalanması), fiziksel ve kimyasal özelliklerinin zamanla değişmesi (kuruması, oksidasyon, su veya gaz kaybetmesi vb.) gibi sebepler incelenen numunenin özelliklerinin doğru olarak tespit edilmesinde yanılgıya sebep olabilmektedir.

Laboratuvar ortamında numuneler üzerinde yapılan soğrulma araştırmaları ile kayaçların gözenekliliği, suya doygunluğu gibi fiziksel özellikleri hakkında önemli bilgiler elde edilmektedir. Soğrulma derecesi kayaç türlerinde farklılıklar gösterebilmektedir. Örneğin bazalt içerisinde ilerleyen sismik dalganın yüksek frekans bileşenlerinde kayıp az miktarda olurken, kum içerisinde aynı dalga yüksek frekans bileşenlerinin önemli bir kısmını kaybetmektedir. Laboratuvar deneyleri ile soğrulmanın genel olarak frekansa, basınca, sıcaklık ve rutubet derecesine bağımlı olduğu görülmektedir.

Soğrulma parametresi jeofizik mühendisliği alanında yeriçi katmanlarının yapısının incelenmesinde (Anderson ve Hart, 1978; Cao ve Romanowicz, 2009), kabuk araştırmalarında (Toksöz vd., 1988; Zor vd. 2007), sismik risk analizlerinde (Ghofrani ve Atkinson, 2011; Mohan ve Joshi, 2012), petrol ve gaz hidrat araştırmalarında (Klimentos, 1995; Walls vd., 2006; Huang vd., 2012;), fay hatlarının incelenmesinde (Worthington ve Hudson, 2000; Akıncı ve Eyidoğan, 2000; Ecevitoglu vd., 2009; Koulakov, 2010), sismik ters Q filtrelerinin oluşturulmasında (Saatçılar, 1996; Wang, 2008; Hongyong ve Yang, 2009; Tu ve Lu; 2009) kullanılmaktadır. Soğrulmanın bahsi geçen kullanım alanlarının yanı sıra ortamın porozitesi, sıvı veya gaz doygunluğu, gözenek basıncı, litolojisi gibi ortamın fiziksel özelliklerinin tanımlanmasında da kullanılmaktadır. Sismik verilerden litolojik kestirim genel olarak sismik yansıma ve kırılma hız bilgilerinin kullanılması, sismik yansıma dalgacığının genlik-uzaklık veya genlik-geliş açısı (AVO - AVA) analizleri ve bu çalışmanın konusu olan dalgacığın sönüm etkisinin kestirimi ile yapılabilmektedir.

Sismik verilerden kestirilen soğrulma parametresi, ortamın litolojisinin yorumlanmasında, bazı fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde sismik hız ve



yoğunluk bilgisine ek olarak kullanılabilir (Toksöz ve Johnston, 1981; Saatçılar ve Çoruh, 1995). Soğrulma parametresi ortamın fiziksel özellikleri ile litolojik tanımlamanın yapılmasında kullanılabilir. Örneğin pek çok araştırmacı akışkan ile doymuş gözenekli bir ortamda genellikle yüksek bir soğrulma gözlemişlerdir (Winkler ve Murphy, 1995; Toms vd., 2007). Ayrıca porozite, permeabilite, gözeneklerdeki akışkan tipi ve dağılımı gibi fiziksel parametrelerin soğrulmaya duyarlı olduğu belirlenmiştir (Klimentos ve McCann, 1990; Rubino, 2012).

Soğrulma parametresinin bahsedilen araştırma konularının yanı sıra geoteknik amaçlı sığ zemin incelemelerinde de kullanıldığı görülmektedir. Çeşitli araştırmacılar tarafından sığ zemin araştırmaları için araziden alınan çeşitli fiziksel özelliklere sahip zemin örneklerine ait soğrulma derecesi laboratuvar ortamında inceleyerek, soğrulma özelliklerini belirlemişlerdir (Brunson, 1984; Best, 2001; Prasad vd., 2004). Laboratuvar çalışmalarının yanı sıra arazide alınan sismik kayıtlar kullanılarak inceleme alanının zemini için soğrulma özellikleri belirlendiği birçok çalışma mevcuttur (Gibbs vd., 1994; Malagnini, 1996; El-Yadari vd., 2007; Pitilakis vd., 2008). Hu ve Su, (1999), Xia vd. (2002) ve Xia vd. (2012) yüzey dalgalarını kullanarak sığ zeminler için kalite faktörü hesaplamışlardır. Ülkemizde de Kurtuluş ve Sertçelik tarafından 2010 yılında Kocaeli bölgesinde sığ sismik kırılma çalışmasından yola çıkarak kalite faktörü kestirimi yapılmıştır. Çalışmada kestirim işlemi için pulse genişliği ve spektral oran yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada farklı bölgeler için elde edilen kalite faktörü değeri 8 ile 27 arasında değişmekte olup, incelenen zemine ait sismik hızlar, poisson oranı ve yoğunluk gibi değerler ile ilişkili olduğu görülmektedir. Litolojik birimler içinde ilerleyen P veya S dalgalarının soğrulma miktarları ortamın basınç ve saturasyonu (suya doygunluğu) ile de yakından ilişkilidir. Örneğin 50-150 MPa basınç altındaki Colorado petrolü şeyli için P dalgası kalite faktörü  $Q_p=25-27$  aralığında iken aynı basınç aralığında Berea kumtaşı için  $Q_p=50-60$  olarak ölçülmüştür. Basıncın azaldığı yani özellikle çok sığ derinliklerde 10MPa veya altındaki basınçlarda bu tür kumtaşı için  $Q_p$  değeri 10-20 aralığına kadar düşmektedir (Değişik litolojik birimlere ilişkin ölçülmüş  $Q_p$  veya  $Q_s$  değerlerine ilişkin ayrıntılı bilgi Bourbie vd., 1987, Bölüm 5.1.2'de verilmiştir).

Sismik kalite faktörü Q'nun kestiriminde kullanılan yöntemleri zaman ortamı ve frekans ortamı olmak üzere iki grupta incelenmek mümkündür (Tonn, 1991). Zaman ortamı yöntemleri olarak, genlik azalım (amplitude decay method) (Braile, 1977), analitik sinyal (analytical signal) (Engelhard, 1996), dalgacık modellemesi (wavelet modelling) (Jannsen vd., 1985), faz modellemesi (phase modelling) (Tonn, 1991), frekans modellemesi (frequency modelling) (Tonn, 1991), yükselme zamanı (risetime method) (Gladwin ve Stacey, 1974) ve pulse genliği metodu (pulse amplitude method) (Wright ve Hoy, 1981) sayılabilir. Frekans ortamı yöntemleri olarak ise, karşılaştırma tekniği (matching technique) (Raikes ve White, 1984), spektral modelleme (spectral modelling) (Tonn, 1991) ve spektral oran yöntemi (spectral ratio method) (Bath, 1974) sayılabilir. Tonn 1991 yılında bahsi geçen yöntemleri Düşey Sismik Profil (Vertical Seismic Profile, VSP) kayıtlarında uygulamış ve güvenilirliği doğrultusunda sonuçlar elde etmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yöntemlerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmamaktadır. İnceleme alanının jeolojisine, kayda ve gürültü durumlarına göre yöntemlerin başarısı değişkenlik göstermektedir. Wiener tarafından 1949 yılında geliştirilen Wiener süzgeçleriyle giriş sinyali, istenilen biçimli bir çıktıya çevrilmektedir. Süzgeç tasarımında istenen çıktı ile gerçek çıktı arasındaki hata enerjisi en küçük kareler duyarlılığında minimum olacak şekilde düzenlenmektedir (Wiener, 1949). Bu çalışmada dalgacığın özilişkisi ve sönüme uğramış dalgacık bilindiğinden dolayı Wiener yöntemi ile hesaplanan süzgeç katsayılarını kullanarak Q parametresini hesaplanmıştır.

Q parametresinin kestiriminde geleneksel yöntemlere bir alternatif olarak Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network - ANN) yöntemi kullanılmıştır. YSA yöntemi kestirim işlemlerinde kullanılmasının yanı sıra robotbilim, sınıflandırma, kontrol ve sistem tanıma, optimizasyon, otomasyon, görüntüleme gibi mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır (Hui, 2011). YSA, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir. YSA yöntemi özellikle son 20 yıl içerisinde sıkça jeofizik alanında uygulanmaya başlamış ve son yıllarda yöntem ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır (McCormack, 1991; Van Der Baan, 2000;

Poulton, 2001; Sandham ve Legget, 2003). YSA yöntemi jeofizik mühendisliği alanında uygulama alanlarına örnek olarak parametre kestirimi (Calderon-Macias, 2000), sismik verilerin ters çözümü (Röth ve Tarantola, 1994), sismik hız analizi (Calderon-Macias, 1998; Baronian vd., 2007), deprem ve patlatma verilerinin ayırt edilmesi (Yıldırım vd., 2011), kuyu log verileri (Aristodemou, 2005; Maiti vd., 2007), sismik dalgaların ilk geliş zamanlarının işaretlenmesi (Murat ve Rudman, 1992; Wang, 1997) gibi çalışmalar sayılabilir.

YSA yöntemi ile sismik soğrulma konusunun incelendiği az sayıda çalışma mevcut olup bu çalışmalara örnek olarak Boadu 1997, Essenreiter vd., 1998 ve Das ve Samui, 2008 gösterilebilir. Boadu 1997 yılında laboratuvar ortamında elde ettiği porozite, permeabilite, soğrulma, dane çapı ve kil miktarı (%) verilerini kullanarak YSA ve çoklu regresyon modelleri ile sismik soğrulma incelemiş ve bu iki yöntem arasında karşılaştırma yapılmıştır. YSA ve çoklu regresyon modellerinde girdi olarak porozite, permeabilite, kil miktarı (%), dane çapı, çıktı olarak ise soğrulma kullanılmıştır. Elde ettikleri tahmin sonuçları ile ölçülen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. YSA yöntemi ile yapılan tahminler daha küçük standart hatalar göstermiştir. Bu çalışmada ise zaman ortamındaki sismik dalga formu kullanılarak direkt soğrulma parametresinin kestirimi yapılmıştır.

Bu çalışmada, “İstanbul kara alanındaki olası diri fayların araştırılması ve öncelikli heyelanlı alanlarda çok disiplinli araştırmalar yapmak suretiyle heyelan tespit ve izleme yöntemlerinin geliştirilmesi” adlı TÜBİTAK projesinin (Proje No: 5097701) inceleme bölgelerinin bir kısmını oluşturan Arnavutköy ilçesi, Yeniköy araştırma alanından toplanmış 5 numaralı hatta ait yüksek ayrımlı sismik yansıma verileri kullanılmıştır (Ergintav vd., 2011). Yeniköy, İstanbul ilinin kuzeybatısında, Arnavutköy ilçesine bağlı Karaburun’un doğusunda olup Karadeniz sahilinde yer almaktadır. Bölgede Karaburun Formasyonuna ait Delta düzlüğü fasiyesinde oluşmuş olan linyitin üretimi yapılmakta olup birçok işletme bulunmaktadır (Doğan vd., 2006). Bölgede yüzeyleyen en yaşlı birim Üst Eosen yaşlı Soğucak formasyonu olup (Özgül vd., 2005; Ergintav vd., 2011), incelenen sismik hattın olduğu kısım Kuvaterner yaşlı pekişmemiş alüvyonal zeminden oluşmaktadır.

Bu çalışmada sabit Q yaklaşımı kullanılarak belirli miktarlarda Q içeren yapay sismogramlar oluşturulmuş ve kestirim için genlik azalım, spektral oran, Wiener süzgeç yaklaşımı ve YSA kullanılarak MATLAB ortamında programlar hazırlanmıştır. Q içeren yapay sismogramlara araziden toplanan verilerin özelliğine uygun şekilde gürültü ekleme işlemi yapılmıştır. Yapay veriye kestirim işlemleri uygulanarak yöntemlerin performansları incelenmiştir. Buna göre en iyi kestirim performansını YSA yöntemi göstermiş olup, bunu sırasıyla Wiener süzgeç yaklaşımı, spektral oran ve genlik azalım yöntemi izlemiştir. Gerçek veriler üzerinde kestirim yöntemleri uygulanmış YSA, Wiener süzgeç yaklaşımı ve spektral oran yöntemleri birbirlerine çok yakın Q parametre sonuçları vermiştir. Buna karşın genlik azalım yöntemi daha düşük sonuçlar vermiştir. Kullanılan sismik yansıma izleri sığ derinlikte bulunan tabakalara aittir. Bu kısımdaki zemin kuvaterner alüvyonal karaktere sahip olup, kestirilen Q değerlerinin düşük olmasına neden olmaktadır.

Tezin yapısı genel olarak özetlenecek olursa; Giriş bölümünde genel olarak soğrulma kavramından, sismik dalgaların soğrulma özelliğinden, soğrulmanın litolojik kestirimde kullanılmasından, sismik kalite faktörü ve kestirim yöntemlerinden bahsedilmiştir. Çalışmada kestirim için geleneksel yöntemlerden farklı olarak kullanılan YSA yönteminin genel özellikleri açıklanmıştır. Soğrulma ve kullanım alanları ile ilgili önceden yapılmış çalışmaların özeti sunulmuştur. YSA yönteminin jeofizik mühendisliği alanlarında yapılan çalışmalarından bahsedilmiştir. Tez çalışmasının konusu, amacı ve önemi ifade edilmiştir.

Bölüm 2’de soğrulma olayının teorik ayrıntıları verilmiştir. Sismik dalga enerjisini ve genliklerini etkileyen faktörler ve soğrulma mekanizmaları açıklanmıştır. Soğrulma ölçütlerinde bahsedilerek sismik kalite faktörünün teorisi sunulmuştur. Q parametresinin kestiriminde kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Ayrıca sabit Q paneli yöntemi ve tekrarlanmalı Q süzgeç yönteminden bahsedilmiştir.

Bölüm 3’de YSA yönteminin teorisi açıklanmıştır. YSA yönteminin tanımı ve tarihçesi hakkında bilgiler sunulmuştur. YSA’yı oluşturan bileşenlerin ve katmanların görevlerinden ve işleyiş biçimlerinden söz edilmiştir. YSA’nın sınıflandırılması, öğrenme kuralları ve algoritmaları açıklanmıştır. Bu çalışmada

kullanılan çok katmanlı algılayıcılardan ve çalışma sistemi verilmiştir. YSA yönteminin avantaj, dezavantaj hakkında bilgiler vererek uygulama alanları örnekleri verilmiştir.

Bölüm 4’de yapay veriler üzerinde yöntemlerin Q kestirim işlemleri incelenmiştir. Her bir yöntem için MATLAB ortamında programlar yazılmış ve programların sonuçları incelenmiştir. Soğrulma içeren yapay veriler gürültü içermeyen ve belirli oranlarda gürültü içerecek şekilde hazırlanmıştır. Yöntemlerin bu yapay verilerde Q kestirim sonuçları incelenmiş ve performansları karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu bölümde YSA ile Q kestirimin yapay verilerde uygulaması etraflı bir şekilde incelenerek en uygun YSA modeli araştırılmıştır. Q kestirimi için en uygun YSA yapısının belirlenmesi ile arazi verilerinde kullanılmak üzere YSA modeli oluşturulmuştur.

Bölüm 5’de İstanbul ili, Arnavutköy ilçesi, Yeniköy mahallesinde TÜBİTAK projesi (Ergintav, 2011) kapsamında toplanan yüksek ayrımlı sismik yansıma verileri (5 numaralı hat) kullanılarak alanın Q kestirimi anlatılmıştır. Bu bölümde ilk olarak çalışma alanının jeolojik, morfolojik özelliklerinden bahsedilmiştir. Sismik veri toplama aşaması, toplanan verilerin özellikleri irdelenmiştir. Daha sonraki aşamada ise kestirim yöntemleri gerçek veriye uygulanmış ve Q kestirim sonuçları elde edilmiştir. Kestirim sonuçlarına standart sapma ve güven aralığı analizleri yapılarak elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Çalışma alanında önceden yapılan çalışmalar sonucunda ortama ait fiziksel, jeolojik, yer altı su durumu gibi özellikler ile kestirilen Q değerleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Bölüm 6’da ise doktora çalışmasından elde edilen tüm sonuçlar özetlenmiştir. Tez çalışmasının konuya sağladığı faydalardan bahsedilmiştir. Elde edilen sonuçların konuya sağladığı faydalar sunularak önerilerde bulunulmuştur.

## **BÖLÜM 2. SOĞRULMA VE KESTİRİMİ**

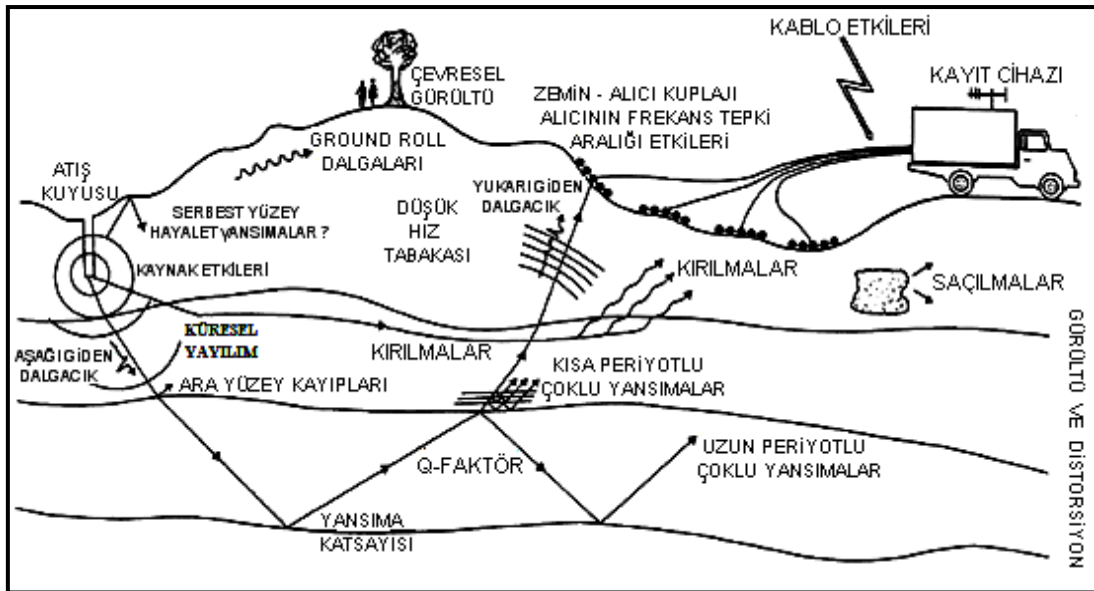
Bu bölümde çalışmanın temel konusunu oluşturan soğrulma olayının teorik ayrıntıları verilmiştir. Sismik dalganın enerjisi ilerlediği ortam içerisinde çeşitli faktörlerden ve soğrulma mekanizmalarından dolayı azalmaktadır. Soğrulma, saçılma ve inelastik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu bölümde, soğrulma mekanizmaları ve soğrulmanın kullanıldığı yerler hakkında bilgiler verilmiş ve soğrulma tanımı için kullanılan kalite faktörünün teorik ayrıntıları sunulmuştur. Ayrıca bu bölümde soğrulma kestiriminde kullanılan yöntemler açıklanmıştır.

### **2.1. Soğrulma ve Kalite Faktörü**

Sismik kaynaktan açığa çıkan elastik enerjinin oluşturduğu dalgalar kayıt edilene kadar çeşitli faktörlerden dolayı enerjilerinde kayıp olmakta ve genliklerinde ışın yolu boyunca azalmalar meydana gelmektedir. Şekil 2.1'de sismik dalgaların genliklerini etkileyen faktörler görünmektedir (Reynolds, 1998). Bunların başlıcaları; geometrik yayılım, dalgaların kırılması ve yansımaları, kısa ve uzun periyotlu tekrarlı yansımalar, dalga modlarının girişimi ve soğrulmadır. Sismik soğrulma, saçılma ve inelastik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İnelastik kökenli soğrulma, sismik dalga enerjisinin yayıldığı ortam içerisindeki içsel sürtünmeden, sıvı akışkanlığı ve termodinamik süreçler gibi çeşitli mekanizmalar sonucunda ısıya dönüşmesi olarak tarif edilmektedir. Saçılma kökenli soğrulma ise, sismik dalganın yer içerisinde 3 boyutlu heterojen ortamlarda dalga enerjisinin kırılması ve saçılması sonucu enerjisindeki azalım olarak tarif edilmektedir. Saçılma ve inelastik soğrulma mekanizmalarının her ikisinde de sismik dalga genliğinde azalma meydana gelmektedir.

Sismik dalgalar, yayıldığı ortamın litolojik ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak soğrilmaya uğramaktadırlar. Satürasyon, porozite, yoğunluk, basınç, gaz içerikleri

gibi fiziksel özellikler soğrulmanın derecesini etkileyen parametrelerdir. Örneğin suya veya gaza doygun, porozitesi yüksek bir zeminde soğrulma derecesinin yüksek, tam tersi durumunda ise düşük olması beklenmektedir. Sismik hızlar, ortamın elastik özelliklerini tanımlarken, ortamın inelastik özellikleri ise soğrulma parametresi ile tanımlanabilmektedir. Sismik çalışmalarda yeraltı modellerinin oluşturulmasında genellikle hız bilgileri kullanılmaktadır. Bazı durumlarda, birimler arasında sismik hız ve yoğunlukta ayırt edilebilir bir değişiklik olmadığı halde soğurma değerinde anlamlı değişiklikler gözlenebilmektedir (Toksöz ve Johnston, 1981). Soğurma derecesi zeminden zemine veya farklı kayaç türlerine göre değişebilmektedir.



Şekil 2.1. Sismik dalga genliklerini etkileyen faktörler (Reynolds, 1998)

Sismik kalite faktörü  $Q$ , sismik dalga enerjisinin veya genliğinin birim dalga boyu başına yitirdiği enerjinin bir ölçütü olarak tanımlanmaktadır. Denklem 2.1'de soğrulma ölçütlerinin arasındaki ilişki verilmektedir (Toksöz ve Johnston, 1981).

$$\frac{1}{Q} = \frac{M_I}{M_R} = \frac{\Delta f}{f} = \frac{\delta}{\pi} = \frac{\alpha V}{\pi f} = \frac{\alpha (dB/\lambda)}{8.686\pi} \quad (2.1)$$

$Q$ ; Kalite Faktörü

$\alpha$ ; Soğurulma Katsayısı

$\delta$ ; Logaritmik Azalım

$f$ ; Frekans

$V$ ; Hız

$\Delta f$ ; Frekans Aralığı

$M_R, M_I$ ; Kompleks modülün gerçel sanal bileşenleri

Homojen bir ortamda yayılan düzlem dalga için genlik ifadesi denklem 2.2 ile tanımlanabilmektedir.

$$A(x,t) = A_0 e^{i(kx - \omega t)} \quad (2.2)$$

Başlangıçtaki genliği  $A_0$  olan dalganın genliği  $x$  uzaklığında ve  $t$  zamanındaki genliği  $A(x,t)$  olarak tanımlanmaktadır. Burada  $\omega$ , açısal frekans,  $k$  ise dalga sayısıdır. Soğurulma, hem dalga sayısının hem de frekansın kompleks alınması ile tanımlanabilmektedir. Denklem 2.3 uzaklıkla değişen soğurulmayı, denklem 2.4 ise zamanla değişen soğurulmayı ifade etmektedir (Aki ve Richards, 1980).

$k = k_r + i\alpha$  dalga sayısının kompleks alınması ile uzaklıkla değişen soğurulma

$$A(x,t) = A_0 e^{-\alpha x} e^{i(k_r x - \omega t)} \quad (2.3)$$

$\omega = \omega_r + i\alpha$  frekansın kompleks alınması ile zamanla değişen soğurulma

$$A(x,t) = A_0 e^{-\alpha t} e^{i(kx - \omega_r t)} \quad (2.4)$$

İlgili denklemlerden yola çıkarak soğurulma katsayısı denklem 2.5 ile ifade edilebilir. Burada soğurulma birimi neper/birim'dir.

$$\alpha = \frac{1}{x_1 - x_2} \ln \left( \frac{A(x_1)}{A(x_2)} \right) \quad (2.5)$$



Soğrulma katsayısı birimi dB/birim olarak tanımlandığında denklem 2.6 elde edilmektedir. Burada  $x_1$  ve  $x_2$  kaynaktan iki farklı uzaklık olup ( $x_1 < x_2$ ), genlikleri  $A(x_1)$  ve  $A(x_2)$  'dir.

$$\alpha = \frac{1}{x_1 - x_2} 20 \log \left( \frac{A(x_1)}{A(x_2)} \right) \quad (2.6)$$

Denklem 2.5 ve 2.6'da tanımlanan soğrulma birimlerinin dönüşümü 2.7 verilmiştir.

$$\alpha(\text{dB} / \text{birim uzunluk}) = 8.686 \alpha(\text{neper} / \text{birim uzunluk}) \quad (2.7)$$

Soğrulmanın tanımlanmasında kullanılan diğer bir ölçüt ise logaritmik azalım olup bir harmonik hareketin, ardışık iki genliğinin oranının doğal logaritmasıdır. Denklem 2.8'de logaritmik azalımın ( $\delta$ ) matematiksel ifadesi ve soğrulma katsayısı ile ilişkisi tanımlanmaktadır.

$$\delta = \ln \left( \frac{A_1}{A_2} \right) = \alpha \lambda = \frac{\alpha v}{f} \quad (2.8)$$

$A_1$  ve  $A_2$ ; ardışık salınımların genliklerini,  $\lambda$ ; dalga boyunu,  $v$ ; hızı ve  $f$  frekansı ifade etmektedir. Uzaklıkla (spatial) değişimi esas alınan soğrulma için logaritmik azalım birimi  $\text{dB} / \lambda$ , zamanla (temporal) değişimi esas alınan soğrulma için logaritmik azalımın birimi  $\text{dB} / T$  olarak tanımlanmaktadır. Denklem 2.8'den yola çıkarak soğrulma katsayısı ile logaritmik azalım arasındaki ilişki denklem 2.9 ile tanımlanmaktadır.

$$\delta = \frac{\alpha(\text{dB} / \lambda)}{8.686} \quad (2.9)$$

Sismik kalite faktörü Q denklem 2.10 ile tanımlanabilir (Johnston ve Toksöz, 1981).

$$Q = \frac{wE}{-dE/dt} = \frac{2\pi W}{\Delta W} \quad (2.10)$$

$W$  ;Maksimum gerilme deformasyon şartlarında depolanan elastik enerji

$\Delta W$  ;bir devir harmonik hareketteki kayıp enerji miktarı

$E$  ;Sistemin anlık enerjisi

$\frac{dE}{dt}$  ;Enerji kayıp oranı

1965 yılında White yaklaşık elastik katılar için gerilme-deformasyon arasındaki ilişkiyi yararlanarak,  $Q$ 'nun farklı bir tanımını yapmıştır. Buna göre; gerilmenin bir devrinde meydana gelen enerji kaybı sinüzoidal olarak değişen deformasyon meydana getirmektedir. Bu durum gerilme deformasyon arasında bir faz gecikmesinin oluşmasına neden olmaktadır. Bu faz değeri ( $\phi$ ) malzemenin içsel sürtünmesinin bir ölçüsü olup bir devirde kaybedilen enerji ile ilişkilidir. Elastik modülün ( $M$ ) frekans ortamında tanımlanmasıyla gerçel ve sanal bileşenleri ( $M_R$  ve  $M_I$ ) bulunur.

$$M = M_R + iM_I \quad (2.11)$$

Buna göre kalite faktörü denklem 2.12'de elastik modüller cinsinden aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$\frac{1}{Q} = \frac{M_I}{M_R} = \tan\phi \sim \phi \quad (2.12)$$

Dinamik sistemlerde ise kalite faktörü

$$Q = \frac{f_r}{\Delta f} \quad (2.13)$$

denklemleriyle hesaplanmaktadır. Burada  $f_r$ , rezonans frekans ve  $\Delta f$  ise rezonans frekansın yarı güç değerindeki frekans genişliğidir.

## 2.2. Soğrulma Mekanizmaları

Soğrulma mekanizmaları genel olarak üç grup altında incelenebilir. Bunlar; dokusal inelastik ve sürtünme nedeniyle soğrulma, viskozite ve sıvı akışkanlar nedeniyle soğrulma ve diğer enerji kaybettirici kaynaklar nedeniyle soğrulmadır.

Minerallerin dokusal inelastisitesine bağlı soğrulma miktarı oldukça küçüktür. Laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlara göre minerallerin özgül Q değeri birkaç bin mertebesindedir. Soğrulma değerinin bu kadar yüksek olması nedeniyle dokusal inelastisite ihmal edilebilmektedir (Walsh, 1966). Kayaçlardaki taneler elemanlarının sınırlarında ve çatlak kısımlarında rölatif kayma hareketleri sonucunda sürtünme nedeniyle soğrulumalar meydana gelebilmektedir. Sürtünme nedeniyle oluşan soğrulma, çatlak ve taneler sınırlarındaki geometriye, basınca ve gerilme rejimlerine bağlıdır (Walsh, 1966). Sürtünme ile oluşan soğrulma mekanizması, çatlaklı kuru kayaçlar ve sıvılarla tamamen doygun olmayan kayaçlar için düşünülebilir.

Gözenekleri sıvı ile dolmuş olan kayaçlarda termodinamik soğrulma gözlenebilmektedir. Gözeneklerdeki sıvının kaynama sıcaklığında fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişimler, enerji kaybına yol açmaktadır. Benzer şekilde, yüksek sıcaklıkta gözeneklerde meydana gelen değişimler, soğrulma olayının gelişiminde etkili olmaktadır. Jeotermal sahalarda soğrulma olayı aktif bir şekilde gözlenebilmektedir.

Çatlaklı kayaçların bünyesindeki sıvıların akışları, bir sistemden diğer sisteme geçişleri, viskozitesi sismik enerjinin soğrulmasına neden olmaktadır. Kuru kayaçlarda soğrulma miktarı doygun kayaçlara göre oldukça küçüktür (Winkler ve Nur, 1979). Kayaç gözeneklerinde bulunan gaz ve boşluklar soğrulumaya neden olan diğer enerji kaybettirici kaynaklar olarak değerlendirilmektedir.

Laboratuvar ve arazide yapılan çalışmalar neticesinde soğrulma başlıca frekans, sıcaklık, akışkana doygunluk ve basınca bağımlılık göstermektedir.

### 2.3. Soğrulmanın Kullanıldığı Yerler

Sismik soğrulmanın kullanıldığı birçok alan bulunmaktadır. Başlıca kullanım alanları;

- Gaz hidratlı çökellerin belirlenmesinde
- Fay zonlarının belirlenmesinde
- Sismik risk analizlerinde
- Sismik çözünürlüğün artırılması için uygulanan ters Q filtrelerinin uygulanmasında
- Petrol rezervuarlarının tanımlanmasında
- Ortamın litolojisinin, basınç, sıcaklık, frekans, akışkan ve gaza doygunluk gibi fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Soğrulma parametresinin bahsedilen araştırma konularının yanı sıra geoteknik amaçlı sığ zemin incelemelerinde de kullanıldığı görülmektedir.

### 2.4. Q Parametresinin Kestiriminde Kullanılan Yöntemler

Q parametresinin kestiriminde kullanılan yöntemleri zaman ve frekans ortamı olmak üzere iki grupta incelemek mümkündür (Tonn, 1991).

Zaman Ortamı Yöntemleri;

- Genlik azalım yöntemi (Amplitude decay method)
- Analitik sinyal yöntemi (Analytical signal)
  1. Maksimum yöntemi
  2. Ortalama yöntemi
  3. Lineer yöntemi
- Dalgacık modellemesi (Wavelet modelling)
- Faz modellemesi (Phase modelling)

- Frekans modellemesi (Frequency modelling)
- Yükselme zamanı yöntemi (Risetime method)
- Pulse genliği yöntemi (Pulse Amplitude method)

Frekans Ortamı Yöntemleri;

- Karşılaştırma tekniği (Matching technique)
- Spektral modelleme (Spectral modelling)
- Spektral oran yöntemi (Spectral ratio method)

Ayrıca sabit Q paneli yöntemi, tekrarlanmalı Q filtresi yöntemi Q kestiriminde kullanılan önemli diğer yöntemlerdir (Çoruh vd., 1990; Saatçılar, 1992).

Bu çalışmada yukarıda isimleri geçen Q parametresi kestirim yöntemlerinden genlik azalım ve spektral oran yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca Q kestiriminde Wiener süzgeç yaklaşımı ve Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi uygulanmıştır. Kestirim yöntemlerinin teorik bilgileri Tonn (1991), Çoruh (1990), Saatçılar (1992) ve literatürdeki diğer kaynaklardan derlenerek açıklanmıştır. YSA yönteminin teorik ayrıntıları ise ayrı bir bölümde (Bölüm 3) ele alınmıştır.

#### **2.4.1. Zaman ortamı yöntemleri**

##### **2.4.1.1. Genlik azalım yöntemi**

Bu çalışmada Q kestiriminde kullanılan yöntemlerden birisidir. Dalganın ilerlediği ortam içerisindeki genlik azalım durumuna bağlı olarak Q'nun kestirilmesi ilkesine dayanır. Q'nun hesaplanmasında kullanılan en basit yöntemdir. 2.14 nolu denklem de verilen  $x_1$  (veya  $t_1 = x_1 / v$ ) ve  $x_2$  (veya  $t_2 = x_2 / v$ ) referans mesafelerindeki dalganın genlik değerleri kullanılarak Q kestirimi yapılmaktadır.

$$Q = \frac{\omega \Delta x}{2v} \left\{ \ln \left[ \frac{a(x_1)}{a(x_2)} \right] \right\}^{-1} \quad (2.14)$$

$Q$  ; Kalite Faktörü

$\Delta x$ ; İki referans uzaklığı arasındaki mesafe

$v$  ; Ortamın hızı

$x_1$  ; 1. referans uzaklığı  $x_2$  ; 2. referans uzaklığı

$\omega$  ;  $2\pi f$

Yöntem kayıtlardaki gürültüye oldukça duyarlıdır (Tonn, 1991).

#### 2.4.1.2. Analitik sinyal yöntemi

Bu yöntem karmaşık iz analizinden türetilmiştir. Bir sismik iz, anlık faz  $\phi(t)$  ve anlık genlik  $a(t)$  kullanılarak tanımlanabilir (Taner, Koehler ve Sheriff, 1979).

$$u(t) = a(t) \cos[\Phi(t)] \quad (2.15)$$

$$z(t) = a(t) e^{[i\Phi(t)]} = u(t) + iv(t) \quad (2.16)$$

Burada  $z(t)$ ,  $u(t)$  'nin analitik sinyali olup  $v(t)$ ,  $u(t)$  'ye ortogonal sinyaldir.  $u(t)$  ve  $v(t)$  ise Hilbert dönüşüm çiftleridir.  $u(t)$  ve  $v(t)$  değerlerinin bilinmesi ile anlık faz  $\phi(t)$ , anlık genlik  $a(t)$  ve anlık frekans  $f(t)$  hesaplanabilmektedir (Taner vd., 1979).

Engelhard vd. (1986) bu eşitlikleri kullanarak, sismik kalite faktörünü denklem 2.17 ile tanımlamıştır.

$$\frac{1}{Q} = -2 \frac{d}{d(\Delta x/v)} \left[ \ln \frac{a(\bar{T})}{G} \right] \frac{1}{2\pi f(t)} \quad (2.17)$$

Burada;

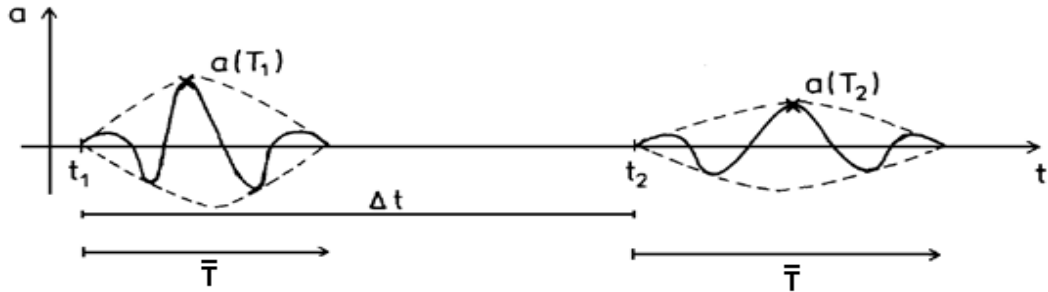
$\Delta x$ ; Seyahat mesafesi

$v$  ; Hız

$G$  ; Geometrik yayılma

$\bar{T}$  ; Dalgacık iç zamanıdır

Şekil 2.2’de denklem 2.17’de bahsi geçen dalgacık iç zamanı ( $\bar{T}$ ), seyahat zamanı farkı ( $\Delta t = \Delta x / v$ ) ve kayıt zamanı ( $t$ ) terimlerinin gösterimi mevcuttur.



Şekil 2.2. Dalgacık iç zamanı ( $\bar{T}$ ), seyahat zaman farkı ( $\Delta t$ ) ve kayıt zamanı ( $t$ ) (Tonn, 1991)

Sonlu tabakalar için;

$$\frac{1}{Q} = -\frac{2}{2\pi f(\bar{T})\Delta t} \Delta \left[ \ln \frac{a(\bar{T})}{G} \right] \quad (2.18)$$

veya

$$\ln \left[ \frac{a_2(\bar{T})}{a_1(\bar{T})} \right] = \ln \left[ \frac{G_2}{G_1} \right] - \frac{\pi\Delta t}{Q} \frac{f_1(\bar{T}) + f_2(\bar{T})}{2} \quad (2.19)$$

kullanılmaktadır. Denklem 2.19’un analizi için maksimum yöntemi, ortalama yöntemi ve lineer yaklaşımı kullanılmaktadır (Ayrıntılar için Tonn, 1991’e bakınız).

#### 2.4.1.3. Dalgacık modelleme yöntemi

Bu yöntem, 1985 yılında Janssen tarafından geliştirilmiştir. Yöntemde seyahat zaman farkı ve dispersiyon ilişkisi kullanılmaktadır. Buna göre  $x_1$  derinliğindeki referans sinyali  $x_2$  derinliğinde gözlenmiş sinyale optimum yaklaşım sağlanana kadar Q değerlerinin değiştirilmesiyle kestirim yapılmaktadır. Modellenen sinyal ve gerçek sinyal arasındaki karşılaştırma genliklerinin arasındaki fark ve karelerinin farkından yapılmaktadır.

#### 2.4.1.4. Faz modelleme yöntemi

Bu yöntemde yapılan hesaplamalar dalgacık modelleme yöntemine benzemektedir. Dalgacık modelleme yönteminden farklı olarak bu yöntemde anlık fazlar kullanılmaktadır. Referans sinyalinin anlık fazları gözlenen sinyal ile dalgacıkların genlikleri arasındaki fark optimum olacak şekilde Q değerleri üretilmektedir.

#### 2.4.1.5. Frekans modelleme yöntemi

Anlık frekanslar anlık fazların türevi olduğundan dolayı anlık frekansın modellemesi kolaylıkla yapılabilmektedir. Bu yaklaşımda, dalgacıkların genliklerinin ve karelerin farkı kullanılmaktadır. Yöntem yüksek frekanslara daha duyarlı olduğundan dolayı soğrulmaya da duyarlı olması beklenmektedir.

#### 2.4.1.6. Yükselme zamanı yöntemi

Bu yöntemin temeli ilerleyen bir dalganın dispersiyonuna bağlıdır. Gladwin ve Stacey (1974) yükselme zamanı ( $\tau$ ) ve soğrulma arasındaki ampirik ilişkiyi kullanarak denklem 2.20'yi tanımlamıştır.

$$\tau = \tau_0 + c \int Q^{-1} dt \quad (2.20)$$

sabit bir Q değeri için

$$\tau = \tau_0 + cQ\Delta t \quad (2.21)$$

Burada;

$\tau_0$ ; Kaynağın yükselme zamanı

$t$  ; Seyahat zamanı

$c$  ; Sabit



Kjartansson (1979)  $Q \geq 20$  olduğu durumlarda  $c'$  nin sabit olduğunu diğer durumlarda ise  $c$  değerinin  $Q$ 'nun bir fonksiyonu olduğunu göstermiştir.

#### 2.4.1.7. Pulse genliği yöntemi

Bu yöntem genlik azalım yöntemine oldukça yakın ilişkilidir ve gerçek genlik kayıtları gereklidir. Soğrulmanın kestiriminde yükselme zamanı ve ilk varışın maksimum genliği ( $\Lambda$ ) kullanılmaktadır (Kjartansson, 1979). Buna göre;

$$\tau \propto 1/\Lambda \propto \Delta t / Q \quad (2.22)$$

ve

$$1/\Lambda = c_1 \Delta t / Q \quad (2.23)$$

denklemleri ile  $Q$  hesaplanabilmektedir. Burada  $c_1$  sabittir.

#### 2.4.2. Frekans ortamı yöntemleri

##### 2.4.2.1. Karşılaştırma yöntemi

Karşılaştırma yönteminin temelini frekans ortamında hesaplanan transfer fonksiyonu oluşturmaktadır. Yöntemi Raikes ve White 1984 yılında geliştirmişlerdir. Bu yöntemde iki farklı derinlikteki sinyallerin güç spektrumları hesaplanmaktadır.

1; 1. derinlik    2; 2. derinlik olmak üzere;

$$H_{12}(f) = \frac{\text{Çapraz güç spektrumu (1,2)}}{\text{Güç spektrumu (1,1)}} \quad (2.24)$$

$$\ln \frac{H_{21}(\omega)}{H_{12}(\omega)} = (\text{sabit}) - m\omega \quad (2.25)$$

denklem 2.25'deki eğimden ( $m$ ) yola çıkarak soğrulma parametresi denklem 2.26'dan hesaplanmaktadır.

$$m = \frac{x_2 - x_1}{vQ} = \frac{\Delta t}{Q} \quad (2.26)$$

#### 2.4.2.2. Spektral modelleme yöntemi

Bu yöntem kısmen dalgacık modellemesine benzemektedir. Bu yöntemde  $Q$  kestirimi frekans ortamında yapılmaktadır. Farklı  $Q$  değerlerinde referans sinyallerinin spektrumları oluşturulmaktadır. Elde edilen spektrumlar ile  $Q$  kestiriminin yapılacağı sinyalin spektrumları karşılaştırılır. En uygun karşılaştırma kriterlerini sağlayan  $Q$  değeri ortamın  $Q$  değeri olarak alınır.

#### 2.4.2.3. Spektral oran yöntemi

Spektral oran yöntemi, bu çalışmada  $Q$  kestiriminde kullanılan yöntemler arasındadır. Bath (1974) ve Babel (1984) tarafından detaylı olarak tanımlanan Spektral oran yöntemi,  $Q$  hesaplaması için sıklıkla kullanılan ve iyi bilinen yöntemlerden birisidir. Spektral oran yönteminde,  $x_1$  mesafesindeki referans sinyalinin ve  $x_2$  mesafesindeki sinyalin genlik spektrumlarının oranı hesaplanmaktadır.

Genlik Spektrumu Aki ve Richards (1980) tarafından 2.27 nolu denklem 'deki gibi tanımlanmıştır. Buna göre;

$$A(\omega) = A_0(\omega) \exp[-\alpha(\omega)x] = A_0(\omega) \exp\left[-\frac{\omega(t-t_0)}{2Q}\right] \quad (2.27)$$

$A_0(\omega)$ ; Birinci dalganın genlik spektrumu

$A(\omega)$ ; İkinci dalganın genlik spektrumu

$x_2$  mesafesindeki  $A(\omega)$  genlik değeri,  $x_1$  mesafesindeki  $A_0(\omega)$  genlik değerinin exponansiyel olarak azalımıdır. Bu azalım spektral oran yöntemi (2.28 nolu denklem) ile hesaplanarak Q değeri bulunmaktadır.

$$\ln \left[ \frac{A(\omega)}{A_0(\omega)} \right] = -\frac{\omega(t-t_0)}{2Q} \quad (2.28)$$

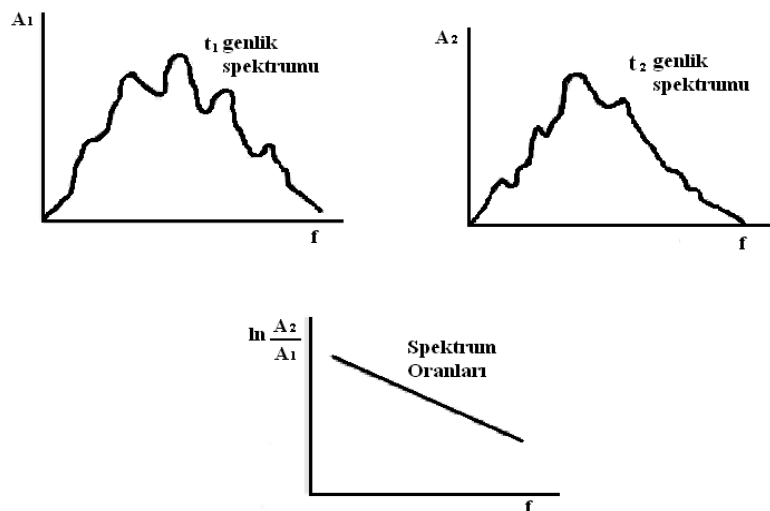
$t_0$  ve  $t$  sırasıyla dalganın  $x_1$  ve  $x_2$  mesafelerindeki varış zamanlarıdır. Spektral oranının eğimi ( $m$ ) 2.29 nolu denklem ile hesaplanır.

$$m = \frac{1}{\omega} \ln \left[ \frac{A(\omega)}{A_0(\omega)} \right] \quad (2.29)$$

2.29 nolu denklem ile bulunan eğim kullanılarak, ortama ait Q değeri 2.30 nolu denklem ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q = -\frac{\pi(t-t_0)}{m} \quad (2.30)$$

Şekil 2.3'te spektral oran yönteminin hesaplanmasının grafiksel gösterimi görülmektedir.



Şekil 2.3. Spektral oran yönteminin grafiksel gösterimi (Anstey, 1977)

### 2.4.3. Wiener süzgeç yaklaşımı

Wiener tarafından 1949 yılında geliştirilen Wiener süzgeçleriyle giriş sinyali, istenilen biçimli bir çıktıya çevrilmektedir. Süzgeç tasarımında gerçek çıktı ile istenen çıktı arasındaki hata enerjisi en küçük kareler yöntemine göre minimum olacak şekilde düzenlenmektedir. İşlem içerisinde giriş, gerçek çıkış ve istenen çıkış olmak üzere üç adet sinyal değerlendirilmektedir (Oruç, 2006).

Wiener süzgeç tekniğinde en küçük kareler duyarlılığında gerçek ve istenen çıkış arasındaki hata 2.31 nolu denklem ile bulunabilmektedir.

$$E = \sum_t (d_t - y_t)^2 \quad (2.31)$$

$d_t$ ; Gerçek çıkış  $y_t$ ; İstenen çıkış

İstenen çıkış, aranan  $f$  süzgeç katsayılarıyla, gözlenen  $S$  sinyalinin evrişiminden bulunmaktadır. Böylece istenen çıkış için 2.32 nolu denklem yazılabilmektedir.

$$y_t = f_t * s_t = \sum_r f_r s_{t-r} \quad (2.32)$$

2.32 nolu denklem 2.31 nolu denklemde yerine konursa;

$$E = \sum_t (d_t - \sum_r f_r s_{t-r})^2 \quad (2.33)$$

bulunmaktadır. Buradan

$$E = \sum_t d_t^2 - 2 \sum_t d_t \sum_r f_r s_{t-r} + \sum_r \left( \sum_r f_r s_{t-r} \right)^2 \quad (2.34)$$

elde edilmektedir. En küçük kareler tekniğini kullanarak  $E$  hatasını minimum yapan süzgeç katsayıları hesap edilmektedir. Buna göre denklem 2.34'ün süzgeç

katsayılarına göre türevleri alınarak sıfıra eşitlenmektedir. Gerekli düzeltme ve işlemler yapıldığında

$$\frac{\partial E}{\partial f_i} = -2 \sum_t d_t s_{t-i} + 2 \sum_t \left( \sum_{\tau} f_{\tau} s_{t-\tau} \right) s_{t-i} = 0, \quad i = 0, 1, 2, \dots \quad (2.35)$$

$$\sum_t f_t \sum_{\tau} s_{t-\tau} s_{t-i} = \sum_t d_t s_{t-i}, \quad i = 0, 1, 2, \dots \quad (2.36)$$

elde edilir. Buradaki denklemler

$$\sum_t s_{t-\tau} s_{t-i} = r_{i-\tau} \quad (2.37)$$

$$\sum_t d_t s_{t-i} = g_i \quad (2.38)$$

şeklinde yazılabilir. 2.37 ve 2.38 denklemlerini daha basitçe aşağıdaki 2.39 denkleminle ifade edebiliriz.

$$\sum_{\tau=0}^{n-1} f_{\tau} r_{i-\tau} = g_i, \quad i = 0, 1, 2, \dots \quad (2.39)$$

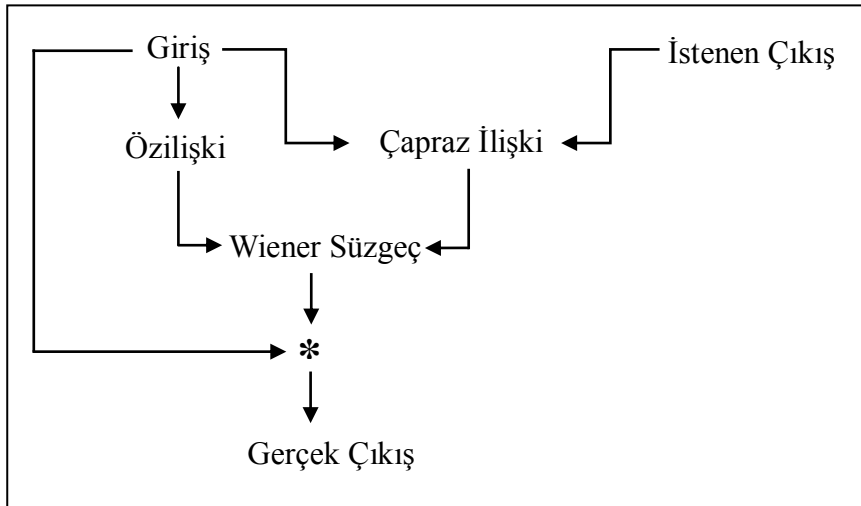
Bu bağıntı Wiener – Hopf bağıntısı olarak bilinmektedir. Burada  $g_i$  vektörü,  $d_i$  ile  $s_i$  arasındaki çapraz ilişkinin  $i$ . değerine karşılık gelmektedir.  $r_{i-\tau}$  ise  $s_i$ 'nin özilişkisinin  $i$ . terimidir. 2.39 nolu denklemin matris gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$\begin{pmatrix} r_0 & r_1 & r_2 & \cdots & r_{n-1} \\ r_1 & r_0 & r_1 & \cdots & r_{n-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n-1} & r_{n-2} & r_{n-3} & \cdots & r_0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} f_0 \\ f_1 \\ \vdots \\ f_{n-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g_0 \\ g_1 \\ \vdots \\ g_{n-1} \end{pmatrix} \quad (2.40)$$

Matris simgesel olarak,

$$Rf = g \quad (2.41)$$

eşitliği ile gösterilebilir. 2.41 nolu denklemde  $R$  özilişki,  $f$  bilinmeyen Wiener süzgeç katsayılarını ve  $g$  çapraz ilişki matrisini temsil eder.  $R$  matrisi *Toeplitz* matrisi olarak tanımlanmaktadır. Bu matrisin köşegenlerinde gözlenen sinyalin sıfır kaymalı özilişki değerlerinden oluşan simetrik bir matristir. Levinson (1947) tarafından bu tür matrislerin çözümü için özel bir algoritma geliştirilmiştir. Wiener süzgeç katsayıları, giriş ve istenen çıkışın çapraz ilişkisi ve girişin özilişkisi hesaplandıktan sonra denklem 2.41 kullanılarak hesaplanmaktadır (Şekil 2.4). Gerçek çıkış süzgeç katsayılarının girişle evrişiminden bulunmaktadır.

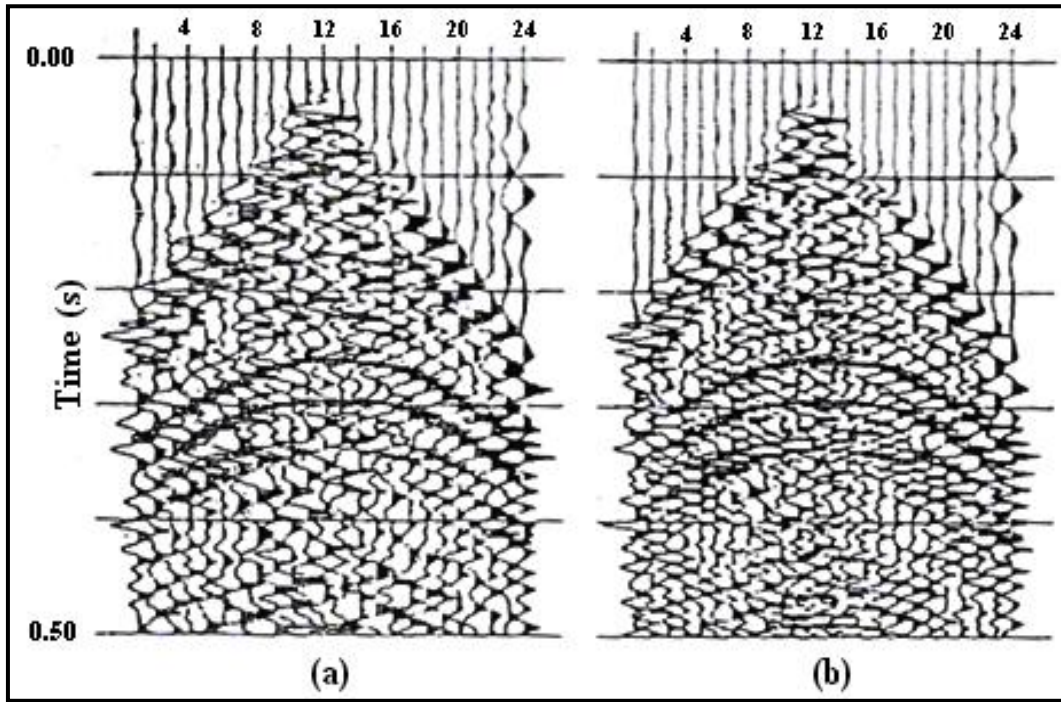


Şekil 2.4. Wiener süzgeç akış diyagramı (Yılmaz, 2001)

#### 2.4.4. Sabit Q panel yöntemi

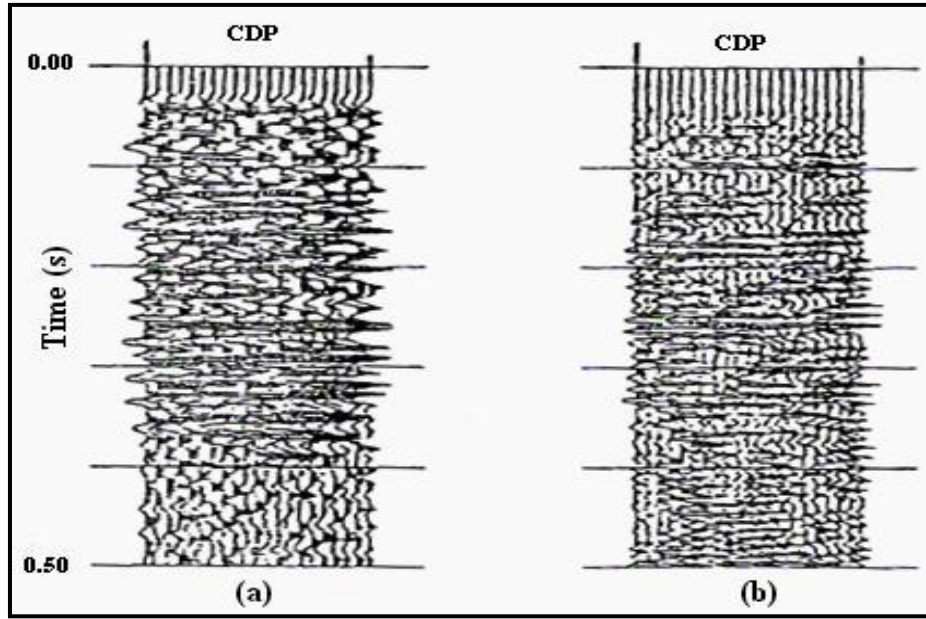
Bahsi geçen kestirim yöntemlerinden farklı olarak Cahit Çoruh, Ruhi Saatçılar, Emin Demirbağ ve John Costain, 1990 yılında yapay ve gerçek verileri kullanarak Q parametresinin kestiriminde “sabit Q paneli” yöntemini kullanmışlardır. İlk olarak yapay verilerde yöntemin uygulaması yapılmıştır. Bunun için belirli bir Q değeri içeren yapay bir atış kaydı üretilmiştir. Bu veriler girdi olarak kullanılarak Q değeri belli aralıklar ile artan (20’den 160’a 10’ar aralıkla artan) soğrulmaya uğramış

dalgacıklar elde edilerek sabit Q paneli oluşturulmuştur. Sabit Q panelinin incelenmesi ile genlik spektrumu ve dalgacık şekli simetrik olan Q değeri kestirilen Q değeri olarak atanmıştır. Diğer Q değerlerinin gerek dalgacığında gerekse genlik spektrumunda asimetri görülmüştür. Yapay veride oldukça iyi çalışan sabit Q paneli gerçek veriye uygulanmıştır. Şekil 2.5 (a)'da 10 sn'lik 20 – 120 Hz frekans aralığı kullanılarak kaydedilmiş vibroseis atış verisi görülmektedir. Bu veri setini girdi olarak kullanarak 20 – 80 aralığında 10 artışlı sabit Q panelleri oluşturulmuştur. Sabit Q paneli ve genlik spektrumunun incelenmesi neticesinde ortamın Q değeri 50 olarak kestirilmiştir. Q değeri 50 olarak yapılan düzeltme Şekil 2.5 (b)'de görülmektedir. Bu işlemler neticesinde sismik veride daha iyi rezolüsyon elde edilmiştir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. a) 10 s sweep ve 20 – 120 Hz vibroseis ile kaydedilmiş veri, b) Ham verinin sabit Q paneli ile kestirilen  $Q = 50$  ile düzeltilmiş hali (Çoruh vd., 1990)

Çoruh vd.,(1990) aynı veriyi kullanarak yığma öncesinde, sabit Q panel ile kestirilen Q değeri ( $Q=50$ ) ile düzeltme yapılmıştır. Yapılan düzeltme işlemiyle kesitin çözünürlüğünde dikkate değer bir artış elde edilmiştir ve düzeltme sonrasında sığ derinliklerdeki yansıma seviyeleri daha iyi gözlenmektedir (şekil 2.6).



Şekil 2.6. a) Şekil 2 a'daki verinin stack edilmiş bir kısmı, b) Q panelinden belirlenmiş  $Q = 50$  değeri kullanılarak yapılan Q düzelmesi (Çoruh vd., 1990)

#### 2.4.5. Tekrarlanmalı düz ve ters Q süzgeç (RQF) yöntemi

Saatçılar, Ergintav ve Canitez 1992 yılında soğrulma içeren yapay sismogramlar üretmek veya sismik veriden soğrulma etkisini gidermek amacıyla tekrarlanmalı bir Q süzgeç yöntemi (RQF) geliştirmişlerdir. Bu yöntem hem Fourier hem de Hartley ortamında uygulanabilmektedir.

Aki ve Richards (1980) tarafından frekans ortamında tanımlı frekans bağımlı Q filtresi bağıntısı Çoruh vd. tarafından 1990 yılında modifiye edilerek denklem 2.42'deki gibi tanımlanmıştır.

$$A(\omega, t) = \exp \left[ -\frac{\omega}{2Q} t + iH \left( -\frac{\omega}{2Q} \right) t \right] \quad (2.42)$$

Fang ve Muller (1991)

$$A(\omega, t) = \exp \left[ -\frac{\omega t}{2} (Q^{-1}(\omega) + iH [Q^{-1}(\omega)]) \right] \quad (2.43)$$



2.42 ve 2.43 nolu denklemler hem nedensellik hem de minimum faz koşulunu sağlamaktadır. Burada  $H$ ; Hilbert dönüşümü ve  $t$ ; seyahat zamanıdır.  $Q$  değeri biliniyorsa 2.42 ve 2.43 nolu denklemleri kullanarak  $Q$  etkisi içeren yapay sismogramları üretmek veya tersine sismik veriden  $Q$  etkisini gidermek için  $Q$  tahmini yapmak mümkündür.

Saatçılar vd., (1992) denklem 2.42 veya denklem 2.43'ü tekrarlanmalı formda yazmışlardır. Denklem 2.44 'den görüleceği üzere her  $\Delta t$  zaman kaymasında frekans ortamında  $n$  kez sismik ize uygulamışlardır.

$$A(\omega, \Delta t) = \exp\left[-\frac{\omega}{2Q} - iH\left(-\frac{\omega}{2Q}\right)\right] \Delta t \cdot \exp[i\omega\Delta t] \quad (2.44)$$

Filtreleme işlemi frekans ortamında yapıldığından dolayı filtre çıktıları bütün frekansların eklenmesiyle bulunmaktadır (denklem 2.45).

$$\hat{W}(n\Delta t) = \frac{1}{N} \sum_{\omega=0}^{\omega_1} W(\omega) \cdot \exp\left[\left(-\frac{\omega}{2Q} + iH\left(-\frac{\omega}{2Q}\right)\right) n\Delta t\right] \cdot \exp[i\omega n\Delta t] \quad (2.45)$$

2.45 nolu denklemde ilk terim sismogramın Fourier dönüşümü, ikinci terimi  $Q$  filtresi ve üçüncü terimi ise zaman kaymasıdır. 2.45 nolu denklemin olduğu gibi uygulanması ile  $Q$  filtresi ve kayma operatörü tekrarlanmalı bir şekilde hesaba katılacaktır. Buna kısaca RQF yöntemi adı verilmiştir. Buna göre RQF işlemi

$$W(\omega)_n = W(\omega)_{n-1} \cdot \exp\left[-\frac{\omega}{2Q} + iH\left(-\frac{\omega}{2Q}\right)\right] \Delta t \cdot \exp(i\omega\Delta t) \quad (2.46)$$

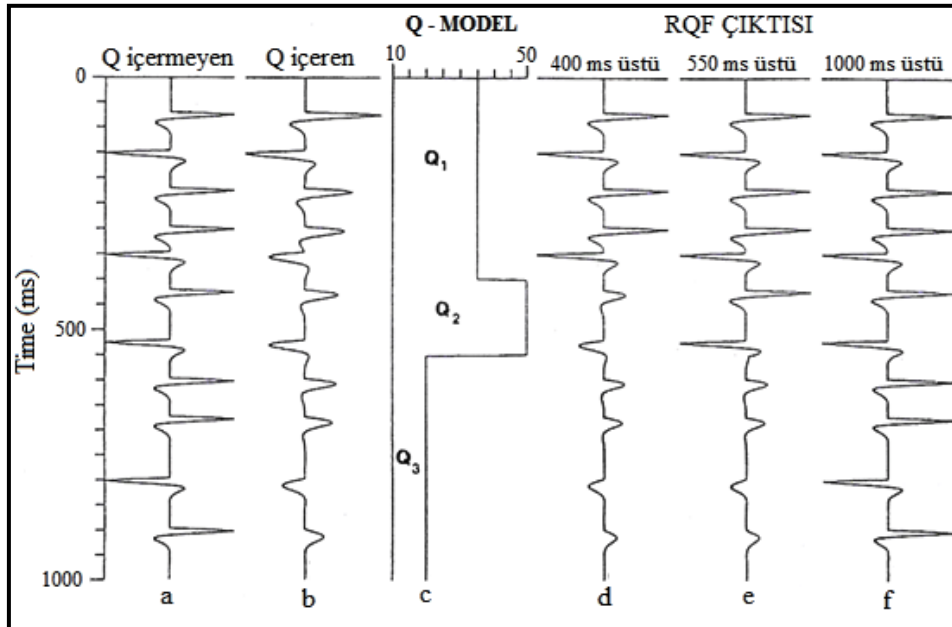
olarak ifade edilir.

RQF yönteminde  $Q$  filtresi ve kayma operatörü frekans ortamında sismik ize  $N$  defa uygulanır. RQF'de  $Q$  nun işareti (pozitif veya negatif) soğrulmaya karşılık gelir.

### Zaman Bağımlı Q için RQF Uygulamaları;

Derinlik veya zaman bağımlı olarak birden fazla Q filtresi tasarlanmalıdır. Örneğin şekil 2.7 (c)'de varsayılan  $Q(t)$  modeli için üç kez Q filtresi düzenlenmelidir. Q filtreleri,  $t \leq 400$  ms. için  $Q = Q_1$ ,  $550$  ms.  $\geq t \geq 400$  ms. için  $Q = 1/Q_2 - 1/Q_1$  ve  $1000$  ms.  $\geq t \geq 550$  ms. için  $Q = 1/Q_3 - 1/Q_2$  şeklinde düzenlenmiştir (Saatçılar vd., 1992).

Şekil 2.7'de minimum fazlı yapay sismogramlar ve RQF sonuçları görülmektedir. Şekil 2.7 (a)'daki yapay sismogramların oluşturulmasında eşit genlikli spike ile minimum fazlı Butterworth filtresinin evrişim işlemi kullanılmıştır. Şekil 2.7 (b)'de yapay sismogramlara Q modelinin (Şekil 2.7 (c)) uygulanmış durumu görülmektedir. Şekil 2.7 (c)'de uygulamada kullanılan Q modeli görülmektedir. Şekil 2.7 d, e ve f'de RQF yönteminin soğrulmaya uğramış sismograma uygulanması görülmektedir. Üç tane Q filtresi düzenlenmiş ve kademe kademe RQF yöntemi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre RQF yöntemi soğrulmaya uğramış sismogramlardan soğrulma etkisinin başarılı bir şekilde kaldırdığı görülmüştür (Saatçılar vd., 1992).



Şekil 2.7. Minimum fazlı dalgacık kullanan Q modeli için RQF uygulaması a) Minimum fazlı Butterworth dalgacıkları kullanılarak oluşturulmuş yapay sismogram (soğrulma yok), b) c'deki Q modeli kullanılarak oluşturulmuş yapay sismogram, c) Bu uygulamada kullanılan Q modeli, d) 400 ms üstü ters RQF çıktısı, e) 550 ms üstü ters RQF çıktısı, f) Sismogramın tümünün ters RQF çıktısı (Saatçılar vd., 1992)

## **BÖLÜM 3. YAPAY SİNİR AĞLARI**

Sismik kalite faktörü Q'nun kestiriminde alışlagelmiş yöntemlerden farklı olarak Yapay Zekanın (Artificial Intelligence - AI) bir yöntemi olan Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılmıştır. Bu bölümde YSA'nın tanımı yapılmış, tarihçesi ve teorik bilgilerine yer verilmiştir. Biyolojik sinir hücresi ve onun YSA'da karşılığı olan yapay sinir hücresi açıklanmıştır. YSA'nın yapısı, katmanları ve bileşenleri hakkında bilgiler sunulmuştur. YSA'nın yapılarına ve öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırmaları hakkında bilgiler verilmiştir. Çalışmada kullanılan, Çok Katmanlı Algılayıcıların (ÇKA) yapısı anlatılmıştır. Son olarak ise YSA yönteminin uygulama alanları, avantaj ve dezavantajları sunulmuştur.

### **3.1. Yapay Sinir Ağlarının (YSA) Tanımı**

Yapay zeka, insan zekasına özgü olan öğrenme, algılama, karar verme, fikir yürütme, düşünme, çıkarsama yapma, genelleme, sorun çözme gibi bilişsel fonksiyonları veya davranışları göstermesi beklenen yapay bir işletim sistemidir. Yapay zekada, insanın düşünme yöntemleri, beynin çalışma modeli veya doğanın biyolojik seçim metodu analiz edilerek, bunların benzeri yapay yönergeleri geliştirilmeye çalışılmaktadır. Yapay zeka yöntemlerinin başlıcaları; Yapay Sinir Ağları, Uzman Sistemler (Expert Systems), Bulanık Mantık (Fuzzy Logic), Genetik Algoritmalar (Genetic Algorithms), ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems) ve Veri Madenciliğidir (Data Mining).

Yapay Zeka'nın Başlıca Uygulama Alanları;

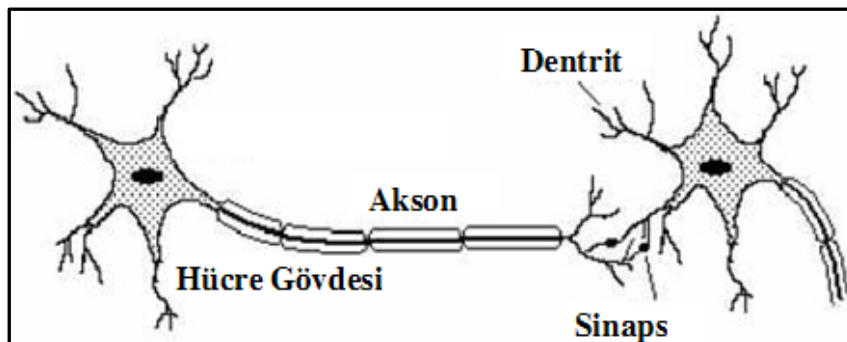
- Robotik
- Kestirim
- Bilgisayar görmesi ve görüntü işleme (Image Processing & Computer Vision)

- Ses Tanıma (Speech Recognition)
- Doğal dil anlama (Natural Language Understanding)
- Oyunlar (Game Playing)
- Yapay yaşam (Artificial Life)
- Kontrol sistemleri
- Sınıflandırma
- Optimizasyon
- Planlama

Bu çalışmada, yapay zekanın en fazla kullanılan, bilgi birikiminin oldukça fazla olduğu ve kestirim problemlerinde de sıkça uygulanan YSA yöntemi kullanılmıştır.

YSA, insan beyninin bilgi işleme yeteneğinden yola çıkılarak geliştirilen bir bilgi işleme yöntemidir. Bu yöntem, insan beyninin öğrenme yolu ile yeni bilgiler üretebilme ve keşfedebilme gibi özelliklerini taklit etmektedir. YSA'ya problemlerin çözümünde öğrenme, hatırlama, genelleme yapma gibi yeteneklerin kazandırılması amaçlanmaktadır (Haykin, 1994; Öztemel, 2003).

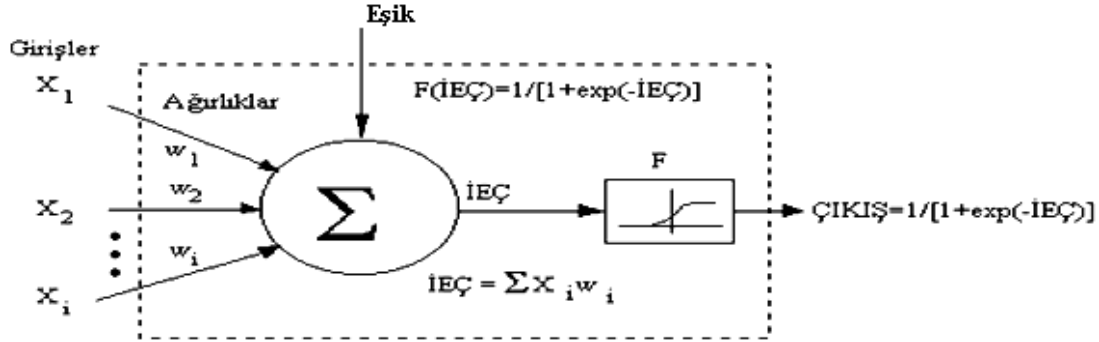
İnsan beyni, sinir hücreleri (nöron) ve bunlar arasındaki bağlantılardan oluşan karmaşık bir sistemdir. Bu yapısı itibarıyla insan beyni bir ağa benzetilmektedir. Biyolojik nöron genel olarak hücre gövdesi, akson, dentrit ve sinapstan oluşmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Biyolojik nöronun yapısı

Nöronlar, ağdaki bağlantılar sayesinde birbirleriyle iletişim kurmaktadır. YSA yöntemi, insan beyninin sinir sistemi mimarisinden esinlenerek geliştirilmiştir.

Günümüzde geliştirilen YSA modellerinde, biyolojik sinir sisteminin çalışma prensiplerinden ve mühendislik bilimlerinden faydalanılmıştır. Nöronlar, çıktının hesaplanmasında kullanılan YSA mimarisinin temel bileşenidir. Şekil 3.2’de en temel nöron yapısı görülmektedir.



Şekil 3.2. Bir nöronun YSA modeli (İEÇ; İşlem Elemanının Çıkışı)

Burada  $x_1, x_2, \dots, x_i$  nöron girişleridir. Her bir nöron girişi toplama işlemine girmeden önce  $w_1, w_2, \dots, w_i$  ağırlıkları ile çarpılmaktadır (denklem 3.1).

$$\text{İEÇ} = x_1 w_1 + x_2 w_2 + \dots + x_i w_i = \sum_{j=1}^i x_j w_j \quad (3.1)$$

Girişler ilgili ağırlıklar ile çarpılır ve elde edilen değerlerin toplanmasıyla İşlemci Eleman Çıkışı (İEÇ) hesaplanır. Hesaplanan İEÇ değeri, aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek çıkış değeri elde edilmektedir. Aktivasyon fonksiyonları, YSA’da nöronun çıkış genliğini, istenilen değerler arasında sınırlamaktadır.

### 3.2. Yapay Sinir Ağlarının Kısa Tarihçesi

İlk yapay nöron modeli, nörobiyolog McCulloch ve istatistikçi Pitts tarafından 1943 yılında geliştirilmiştir. Geliştirilen model ile mantıksal ifadeleri formülize etmenin mümkün olduğu gösterilmiştir. YSA’da ilk ve en basit öğrenme kuralı Hebb tarafından 1949 yılında geliştirilmiştir. Hebbian öğrenme kuralı olarak adlandırılan bu kural birçok öğrenme kuralının temelini oluşturmaktadır. Rosenblatt, (1958) YSA

tarihinde oldukça önemi olan perceptron modelini geliştirmiştir. Perceptron modeli, ÇKA'nın temelini oluşturmaktadır.

Widorw ve Hoff (1960) YSA'da en küçük ortalama karesel öğrenme algoritmasını geliştirerek, ADALINE (ADaptive LInear NEuron) modelini ortaya atmışlardır. 1970'li yıllarda geliştirilen MADALINE modelleri bu çalışmalardan esinlenerek yapılmıştır. Minsky ve Papert 1969 yılında perceptron modelinin lineer olmayan problemlerde çalışmadığını iddia ederek, perceptronun XOR problemine çözüm üretmediğini göstermişlerdir. YSA konusundaki çalışmalar XOR probleminin çözümüne kadar oldukça yavaş ilerlemiştir. Kohonen (1982) danışmansız, kendi kendine öğrenen özellik haritalarını (Self Organizing Map - SOM) geliştirmiştir. Rumelhart, Hilton ve Williams tarafından 1986 yılında ÇKA'nın geliştirilmesi, YSA'nın tarihsel gelişimine oldukça önemli bir katkı sağlamıştır. YSA, XOR probleminin çözümünün ÇKA tarafından yapılmasıyla kendini ispatlamıştır. Rumelhart ileri beslemeli modellerde geriye yayılım (Back propagation) algoritması geliştirmiştir.

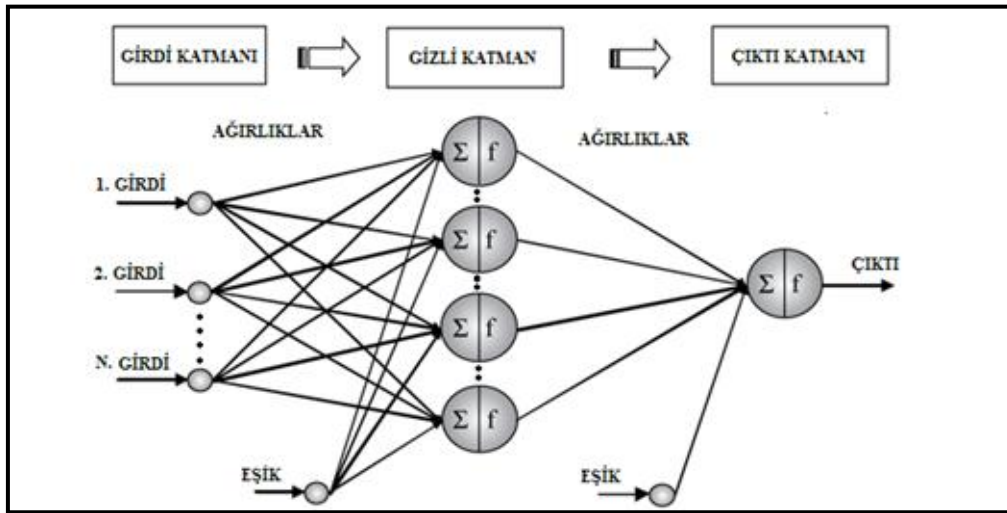
### 3.3. Yapay Sinir Ağlarının Bileşenleri

Nöronların bir grup halinde çalışarak işlem gördükleri yapı, ağ (network) olarak adlandırılır. Nöronların bağlantılar ile bir araya gelmeleri YSA'yı oluşturur. YSA katmanlı bir yapıya sahip olup tek ya da çok katmanlı olabilir. Bu katmanlar nöronların aynı doğrultu üzerinde bir araya gelmeleriyle oluşmaktadır.

Girdi Katmanı (Input layer); Dış dünyadan gelen bilgileri gizli katmana taşırlar. YSA'larda girdi katmanı bir tane olup, girdi sayısı kullanıcı tarafından probleme göre belirlenir.

Gizli Katman (Hidden layer); Girdi katmanından gelen bilgileri işlem elemanlarında (nöron) işleyerek, çıktı katmanına ileten katmandır. Gizli katman sayısına ve katmandaki nöron sayısına deneme yanılma yoluyla karar verilir. Bu çalışmada tek gizli katmanlı yapı kullanılmıştır. Bu katmandaki nöron sayısı ise 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 alınarak denemeler yapılmıştır.

Çıktı Katmanı (Output layer); Bu katmanda, gizli katmanlardan gelen çıktı değerleri işlenmektedir. Bu katmanın çıkışları ile gerçek çıktı değerleri arasındaki fark (hata) belirlenir. Bu hata miktarı iteratif olarak eğitim algoritması ile belirlenen değere kadar azaltılmaya çalışılır. Sonuç olarak, üretilen çıktı dış dünyaya gönderilmektedir. Şekil 3.3’de girdi, gizli ve çıktı katmanları ve nöronlar şematik olarak görülmektedir. Ayrıca şekilde YSA’nın bileşenleri de görülmektedir. Bunlar; girişler, ağırlıklar, eşik, toplam fonksiyonu ( $\Sigma$ ), aktivasyon fonksiyonu (f) ve çıktıdır.



Şekil 3.3. Çok katmanlı ağ yapısı

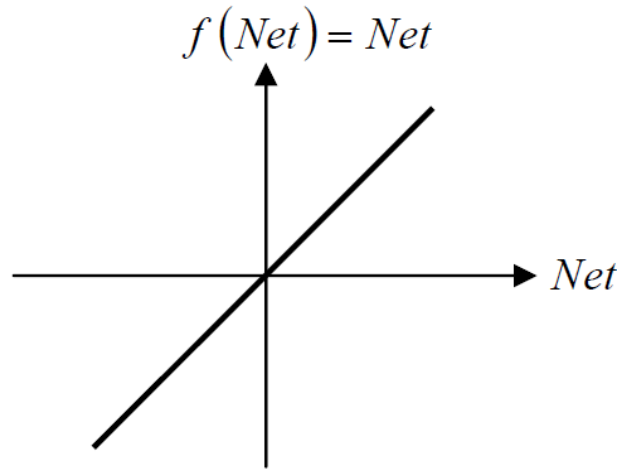
Eşik (Bias); Öğrenmeyi güçlendirmek için kullanılmaktadır. Bias’ın amacı, daha iyi öğrenmeyi sağlamak amacıyla fonksiyonun orijini dengeye getirmektir.

Birleştirme (Toplama) fonksiyonu; Hücreye gelen girdileri ağırlık değerleri ile çarparak ve bütün çarpımları toplayarak, o hücrenin net girdisinin hesaplanmasında kullanılır.

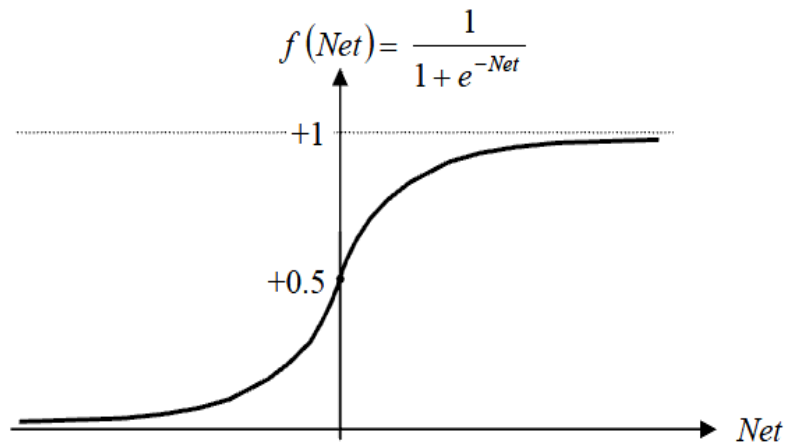
Ağırlıklar; Hücreler arasındaki bağlantıların sayısal değerlerini göstermektedir. Hücreye gelen bilginin değerini ve etkisini ifade eder. YSA’da her iterasyonda ağırlıklar değiştirilmekte ve optimum sonucu veren ağırlıklar tespit edilmeye çalışılmaktadır.

Çıktı; Çıkış katmanındaki aktivasyon fonksiyonları tarafından belirlenen değerler olup dış dünyaya gönderilirler. Problemin çözümünü veren son süreç elemanıdır.

Aktivasyon Fonksiyonu; Aktivasyon veya transfer fonksiyonları öğrenme eğrisi olarak isimlendirilmekte olup hücreye gelen net girdiye karşılık hücrenin üreteceği çıktıyı hesaplamaktadır. Aktivasyon fonksiyonları ile nöronun çıkış genliği istenilen değerler arasında sınırlanır (genellikle  $[0,1]$  veya  $[-1, 1]$ ). Aktivasyon fonksiyonlarının türevlerinin alınabilir olması ve süreklilik göstermesi gerekmektedir. Problemin çözümünde, en uygun aktivasyon fonksiyonu deneme yanılma yoluyla bulunmaktadır. Çalışmalarda en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonları; lineer aktivasyon fonksiyonu (Şekil 3.4), sigmoid aktivasyon fonksiyonu (Şekil 3.5) ve Tan-sigmoid aktivasyon fonksiyonudur (Şekil 3.6). Bu çalışmada sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır.

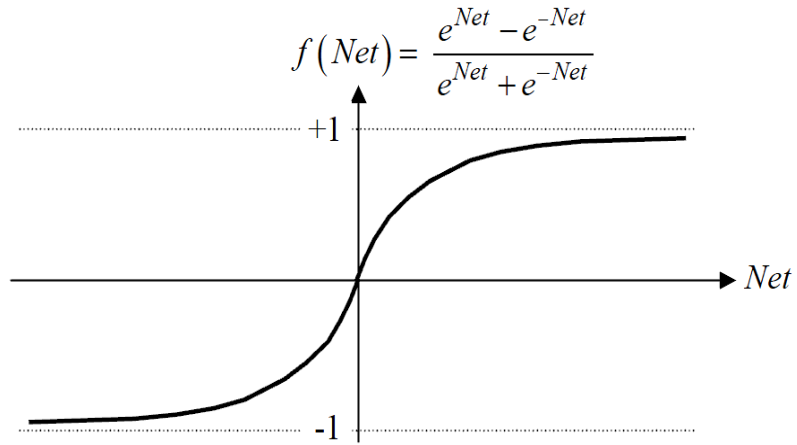


Şekil 3.4. Lineer aktivasyon fonksiyonu



Şekil 3.5. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu





Şekil 3.6. Tan-sigmoid aktivasyon fonksiyonu

### 3.4. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması

YSA genel olarak yapılarına ve öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırılmaktadır.

YSA'nın yapılarına göre sınıflandırılması

- İleri beslemeli ağlar
- Geri beslemeli ağlar

YSA'nın öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırılması

- Danışmanlı öğrenme
- Danışmansız öğrenme
- Takviyeli öğrenme

#### 3.4.1. Yapılarına göre sınıflandırma

Yapılarına göre yapılan sınıflandırmada bilgilerin akış yönüne bakılmaktadır. Genel olarak, ileri beslemeli ve geri beslemeli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

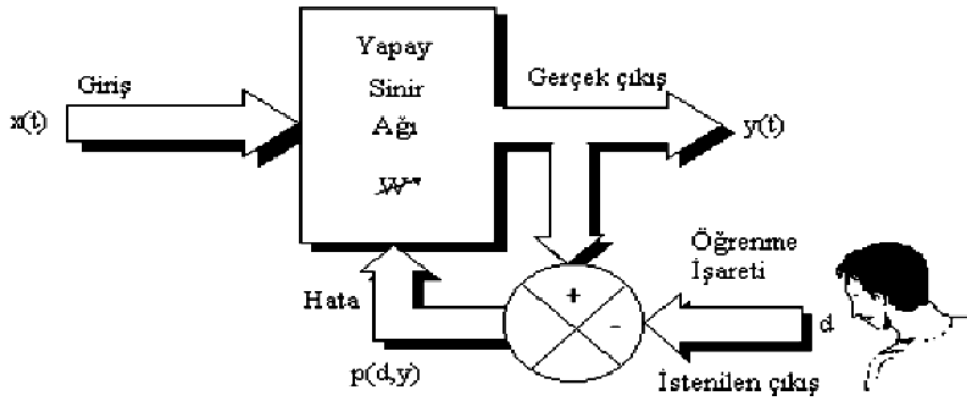
İleri Beslemeli Ağlar; Bilgi akışı giriş katmanından başlar ve çıkış katmanına doğru gerçekleşir. Bilgi işleme tek yönlüdür. Çıkış değerleri, istenen çıkış değerleri ile karşılaştırılır ve hata miktarına göre ağ ağırlıkları güncellenir. Bu tip ağlara örnek olarak LVQ (Learning Vector Quantization) ve çok katmanlı perceptron (Multi Layer Perceptron, MLP) gösterilebilir (Hagan, 1995).

Geri Beslemeli Ağlar; Bu yapıda, hem girişten çıkışa hem de çıkıştan önceki katmanlara doğru bilgi akışı olmaktadır. Bu tip ağlara örnek olarak Elman, Jordan ve Hopfield ağları gösterilebilir.

### 3.4.2. Öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırma

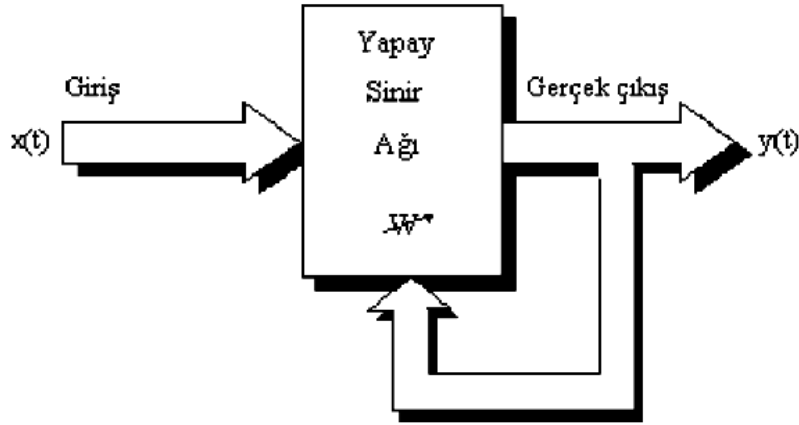
YSA yönteminde, giriş ve çıkış verileri kullanılarak, modellenecek sistem için en küçük hata miktarı ile çıkış elde edilmesi amacıyla, ağırlıkların tespit edilmesi sürecine öğrenme diyebiliriz. Öğrenme stratejilerine göre YSA yöntemini genel olarak üçe ayırabiliriz.

Danışmanlı öğrenme (Supervised Learning); Bu öğrenme algoritmasında ağa hem giriş değerleri hem de bu girişe karşılık üretmesi gereken çıkış değerleri verilmektedir. İstenen çıkış ile gerçek değer arasındaki hata miktarına göre ağırlıklar en uygun çıktı değerlerini elde etmek için bir öğrenme algoritmasıyla düzenlenir. Şekil 3.7'de danışmanlı öğrenme akış şeması görülmektedir.



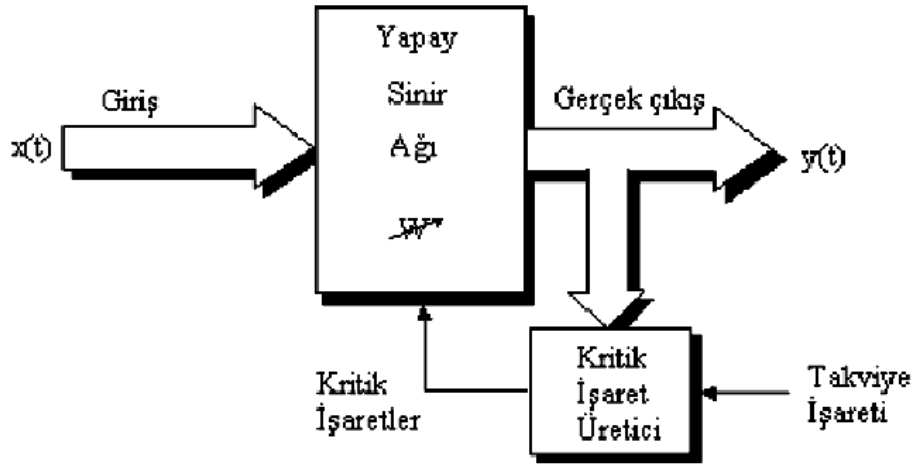
Şekil 3.7. Danışmanlı öğrenme yapısı (Kulluk, 2009)

Danışmansız öğrenme (Unsupervised Learning); Bu öğrenme algoritmasında ağa sadece giriş değerleri verilmekte ve beklenen çıkış değerleri olmadan çıktılar genellikle istatistiksel olarak hesaplanmaktadır. Danışmansız öğrenme algoritmasında istenilen çıkış değerlerinin verilmesine gerek yoktur. Şekil 3.8'de danışmansız öğrenme akış şeması görülmektedir.



Şekil 3.8. Danışmansız öğrenme yapısı (Kulluk, 2009)

Takviyeli öğrenme (Reinforcement Learning); Bu öğrenme algoritmasında, ağa verilen girişe karşılık ağın ürettiği çıkış değerleri ile gerçek çıkış arasındaki hata miktarı hesaplanarak, önceden belirlenen bir kriter ile değerlendirilmekte ve değerlendirme sonucuna göre ağırlıklar güncellenmektedir. Şekil 3.9’da takviyeli öğrenme akış şeması görülmektedir.



Şekil 3.9. Takviyeli öğrenme yapısı (Kulluk, 2009)

### 3.5. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Kuralları

YSA öğrenme kurallarına göre genel olarak, Hebb, Hopfield, Delta ve Kohonen olmak üzere dört kısımda incelenebilir.

Hebb kuralı; 1949 yılında Hebb tarafından geliştirilmiştir. Diğer öğrenme kurallarının temelini oluşturan ve bilinen en eski öğrenme kuralıdır. Bu kurala göre eğer bir nöron diğer bir nörondan giriş alıyorsa ve her iki nöron da aktif ise (matematiksel olarak aynı işarete sahipse), nöronlar arasındaki ağırlıklar kuvvetlendirilmelidir düşüncesi vardır (Öztemel, 2003).

Hopfield kuralı; Kuvvetlendirme ve zayıflatma dışında Hebb kuralına benzemektedir. Kuralda, ağ bağlantılarının kuvvetlendirme veya zayıflatma derecesinin ne kadar olacağı belirlenmektedir.

Kohonen kuralı; 1990 yılında Kohonen tarafından geliştirilen bu kuralda, nöronlar öğrenmek için yarışır ve kazanan nöronun ağırlıkları güncellenir. En büyük çıkış değerine sahip nöron kazanmaktadır ve çevresindeki nöronlara karşı daha kuvvetli hale gelmektedir. Bu öğrenme kuralında hedef çıkışa ihtiyaç yoktur ve danışmansız bir öğrenme metodudur.

Delta Kuralı; En çok kullanılan öğrenme algoritmalarından biri olup Hebb kuralının gelişmiş halidir. Gerçek çıkış ile istenilen çıkış değerlerinin arasındaki farkı azaltmak için yapay sinir ağının elemanlarının bağlantılarına yönelik ağırlık değerlerinin sürekli güncellenmesi ilkesine dayanmaktadır. Bu kuralda ağ tarafından üretilen çıktı ile istenen çıktı arasındaki hatanın karelerinin ortalamasını minimize etmek amaçlanmaktadır. Hata miktarı bir katmandan önceki katmana geri yayılarak azaltılmaktadır. Bu işlem çıkış katmanından giriş katmanına kadar devam etmektedir. Bu kural geri yayılım olarak adlandırılır.

### **3.6. Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA)**

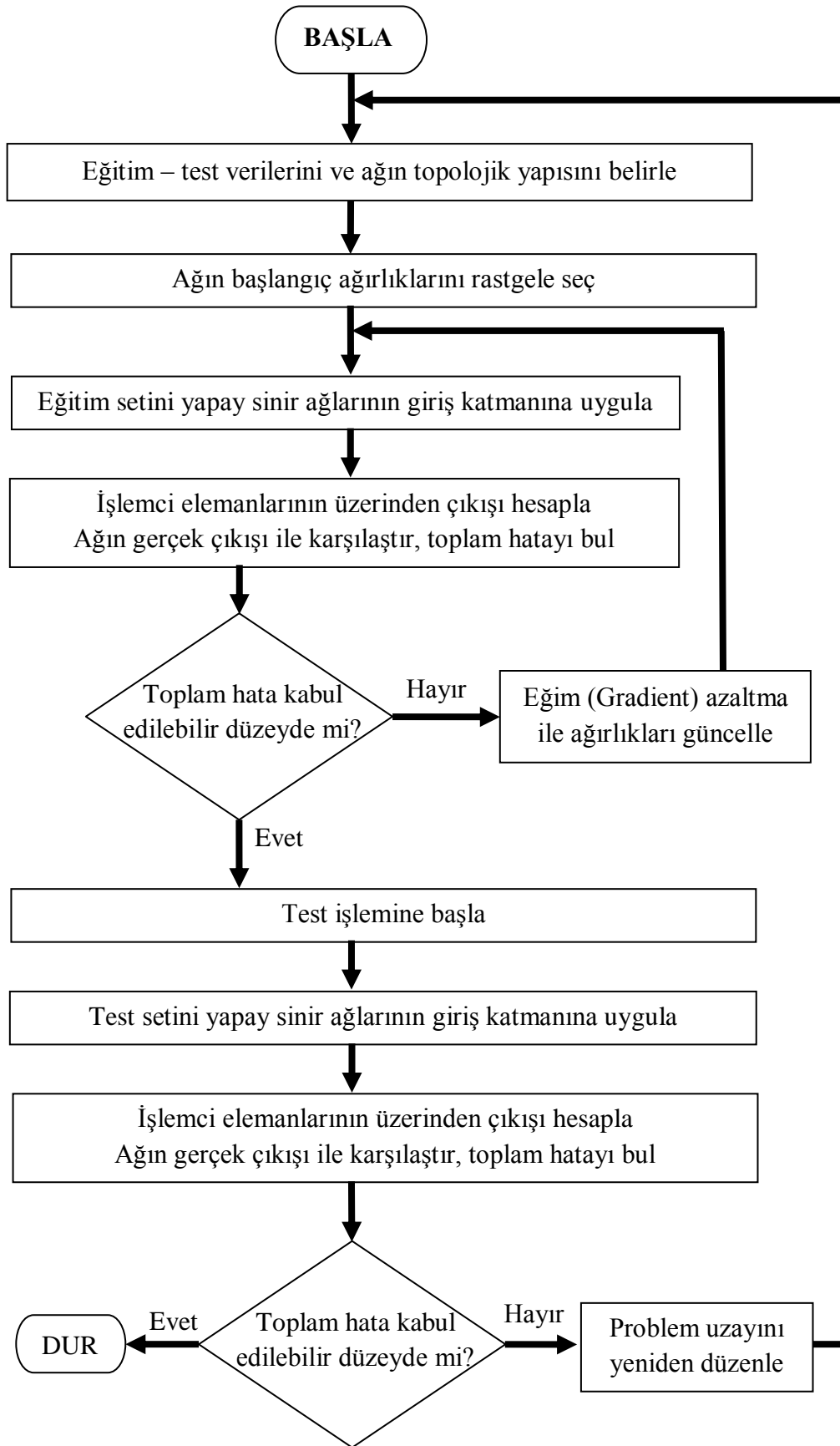
Çok katmanlı algılayıcılar, mühendislik uygulamalarında en fazla kullanılan sinir ağı modellerinden birisidir. ÇKA giriş, çıkış ve en az bir gizli katmandan oluşmaktadır. Gerçek hayatta birçok problem doğrusal olmayan bir yapıya sahiptir. Doğrusal olmayan bu problemlerin çözümünde ÇKA modeli en sık kullanılan YSA modelidir.

ÇKA'da girdi katmanında herhangi bir bilgi işleme olmamaktadır. Girdi katmanında bulunan her bir işlem elemanı bir sonraki gizli katmanda yer alan işlem elemanlarıyla bağlantılı durumdadır. Gizli katmanda, girdi katmanından gelen bilgiler işlenmekte ve işlenen bilgiler çıkış katmanına gönderilmektedir. Birden fazla gizli katman kullanılabilir. ÇKA'ya eğitim sırasında girdi değerleri ve girdi değerlerine karşılık üretilmesi gereken çıktı değerleri gösterilmektedir. Bu yapısı sebebiyle ÇKA, danışmanlı öğrenme prensibine göre çalışmaktadır. ÇKA'da öğrenme kuralı, en küçük kareler yöntemine dayalı delta öğrenme kuralının genelleştirilmiş şeklidir. Genelleştirilmiş delta kuralı da denilen bu öğrenme kuralında işlemler iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama, ağın çıktısının hesaplandığı ileriye doğru hesaplama adımı, ikinci aşama ise ağırlıkların değiştirildiği geriye doğru hesaplama adımıdır. Çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağları için geri yayılım akışı şematik olarak Şekil 3.10'de görülmektedir.

ÇKA ağlarının çalışma adımları aşağıdaki gibidir (Öztemel, 2003);

- Örneklerin toplanması
- Ağın topolojik yapısının belirlenmesi
- Öğrenme parametrelerinin belirlenmesi
- Ağırlıkların başlangıç değerlerinin atanması
- Öğrenme setinden örneklerin seçilmesi ve ağa gösterilmesi
- Öğrenme sırasında ileri hesaplamaların yapılması
- Gerçekleşen çıktının beklenen çıktı ile karşılaştırılması
- Ağırlıkların değiştirilmesi

Yukarıdaki adımlarla gerçekleşen çıktılar ile istenen çıktılar arasındaki hatalar kabul edilir düzeye gelinceye kadar yani ağı öğrenmesi tamamlanıncaya kadar devam edilmektedir. Ağı öğrenme işleminin tamamlanması için bir durdurma kriterinin olması gerekir. Durdurma kriteri genellikle hatanın belirlenen bir düzeyin altına düşmesi olarak tanımlanmaktadır (Öztemel, 2003).



Şekil 3.10. Geri yayımlı çok katmanlı algılayıcılarda çalışma prosedürü

### 3.7. Levenberg-Marquardt Algoritması

Levenberg-Marquardt algoritması temel olarak maksimum komşuluk fikrine dayalı olup, bir en küçük kareler hesaplama algoritmasıdır. Gauss-Newton ve Steepest-Descent (Geri Yayılım) algoritmalarının en iyi özelliklerinden oluşmakta ve kısıtlamalarını ortadan kaldırmaktadır (Gülbağ, 2006). Bu algoritmada, bağlantı ağırlıklarının hesaplanmasında Hessian matrisi kullanılmaktadır (denklem 3.2)

$$H(W) = J^T(W) \cdot J(W) + \mu I \quad (3.2)$$

Burada  $H(W)$  Hessian matrisi,  $J(W)$  Jacobian matrisi,  $I$  birim matrisi ve  $\mu$  ise küçük bir sabit sayıyı göstermektedir. Gauss-Newton metodunda Hessian matrisinin tersinin hesaplanmasında karşılaşılan problem Levenberg-Marquardt algoritmasında Hessian matrisine  $\mu$  sabitinin eklenmesiyle çözülmüştür. Ağırlıkların güncellenmesi Gauss-Newton metodundaki ufak bir değişiklik ile denklem 3.3 ile hesaplanabilmektedir.

$$\Delta W = -\varepsilon^T(W) \cdot j(W) \cdot (j^T(W) \cdot j(W) + \mu I)^{-1} \quad (3.3)$$

Bu algoritmanın çalışması aşağıdaki gibi özetlenebilir (Gülbağ, 2006);

- (1) Performans fonksiyonu hesaplanır
- (2) Küçük bir  $\mu$  değeriyle başlanır ( $\mu = 0,001$ )
- (3)  $\Delta W$  hesaplanarak, performans fonksiyonunun bir sonraki değeri hesaplanır
- (4) Performans fonksiyonunun bir sonraki değeri, şimdiki değerinden büyükse  $\mu$  artırılır
- (5) Performans fonksiyonunun bir sonraki değeri, şimdiki değerinden küçükse  $\mu$  azaltılır
- (6) Ağırlıklar güncellenir ve (3) adıma gidilir.

İlk olarak ağırlıklara başlangıç değerleri atanmaktadır. İstenen çıktı ile gerçek çıktı arasındaki farkın kareleri toplanmaktadır. Ağırlık vektörü için (1)'den (5)'e kadar Levenberg-Marquardt metodu adımları uygulanır (Sağıroğlu, 2003).

### 3.8. Yapay Sinir Ağlarının Avantaj ve Dezavantajları

YSA yönteminin avantaj ve dezavantajları Elmas (2003) ve Öztemel (2006)'e dayanarak aşağıdaki gibi özetlenebilir.

YSA'nın Avantajları;

- Bir veritabanı kullanılmaz ve bilgileri hem geleneksel programlardan hem de yapay zeka teknolojilerinden farklı ve hızlı bir şekilde işleyerek ağı üzerinde saklar.
- Doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılabilirler.
- Matematiksel modellenmesi yapılamayan karmaşık problemleri çözebilirler.
- Bilgiyi paralel olarak işleyebilmekte ve yeni durumlara, ortamlara uyum sağlayabilmektedirler.
- Daha önce görülmemiş örnekler hakkında bilgi üretebilirler.
- Kendi kendine öğrenebilme ve organize etme yetenekleri vardır.
- Algılamaya yönelik olaylarda kullanılabilirler.
- Örüntü sınıflandırma ve ilişkilendirme yapabilirler.
- Bir problem için farklı türde ağ yapıları uygulanabilir.
- Belirsiz ve tam olmayan bilgileri işleyebilir.

YSA'nın Dezavantajları;

- Donanım bağımlıdır.
- Uygun ağ yapısının ve parametrelerinin belirlenmesinde belli bir kural yoktur genellikle deneme yanılma yoluyla yapılır.
- Ağı davranışları açıklanamamaktadır. Ağı ağırlıklarında saklanan bilgi kara kutu olarak düşünülebilir, direkt ağırlıklara bakıp inceleme yapılarak



anlamsal sonuç çıkarma imkanını bizlere sunmaz, fakat sonucu eğitim setindeki verilere uygun olacak şekilde hesaplar.

- Öğrenilecek problemin ağa sayısal gösterimi önemli bir problemidir.
- Ağ, eğitim setine iyi sonuç vermesine rağmen, test setine de iyi bir sonuç vereceğini garanti etmez.
- YSA'da eğitim işleminin gerçekleştirilmesi uzun zamanlar alabilmektedir.

### 3.9. Yapay Sinir Ağlarının Uygulama Alanları

YSA yöntemi birçok alanda uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. YSA yöntemiyle ilgili çalışmaların teknolojiye adapte edilebilmesi, yöntemi günlük hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline getirmiştir. Evimizdeki aletlerde, sağlık alanlarında, fabrikalarda YSA uygulamalarını görmek mümkündür. YSA'nın, finans sektöründe, sağlık alanlarında, imalat sürecinde, askeri alanlarda, uzay teknolojilerinde ve çeşitli mühendislik alanlarında birçok uygulaması mevcuttur. Bu uygulamalardan dikkat çeken bazı örnekler, aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Otomatik pilot uygulamalarında
- Parmak izi, imza ve plaka tanımada
- Kanseri erken teşhisinde
- EEG ve ECG analizinde
- Finans sektöründe (Döviz kuru tahminleri, makro ekonomik tahminlerde)
- Askeri uçaklarda uçuş yönlerinin belirlenmesinde
- Silahların doğru yönlendirilmesinde
- Mayın arama aletlerinde
- Hava tahminlerinde
- Yüz ve görüntü eşleştirmede
- Ses tanımada
- Radar izlemede
- Hedef tanıma ve takip sistemlerinde
- Bomba dedektörü ve uyuşturucu koklayıcılarında
- Deprem ve patlatma olaylarının ayırt edilmesinde

## **BÖLÜM 4. Q KESTİRİM YÖNTEMLERİNİN YAPAY VERİLERE UYGULANMASI**

Bu bölümde Q kestirim yöntemlerinin yapay verilerdeki performansları değerlendirilmiştir. Yapay veriler oluşturulurken sıfır fazlı Ricker dalgacı ve Kjartansson (1979) tarafından geliştirilen sabit Q yaklaşımı kullanılmıştır. Kestirim yöntemleri gürültü içeren ve içermeyen soğrulma özelliği taşıyan yapay verilere uygulanmıştır. Genlik azalım, spektral oran ve Wiener süzgeç yöntemleri için bölüm 2'de ayrıntıları verilen denklem ve işlemler kullanılarak yapay verilerde Q parametresinin kestirimi yapılmıştır. Buna karşın YSA yöntemi için birçok ağ yapısında, öğrenme algoritması ve nöron sayılarına göre modeller oluşturulmuş, modellerin test sonuçlarına göre Q parametresinin kestirimi için en uygun model tespit edilmiştir. Q kestirimi için kullanılacak YSA yapısı gerçek sismik yansıma verilerindeki gürültü özelliklerine göre dizayn edilmiş ve arazideki verilerin Q kestirimine hazır hale getirilmiştir. Çalışmada kullanılan kestirim yöntemlerinin yapay veriler üzerindeki Q kestirim performanslarının karşılaştırılması yapılmıştır.

### **4.1. Yapay Veri**

Bu çalışmada yapay veriler Q parametresinin kestiriminde kullanılan yöntemlerin uygulanmasında kriterlerin çıkarılması ve sonuçlarının kontrol edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Çalışmada kullanılmak üzere üretilen yapay sismogramlar yapma bir sismik yansıma kaydı özelliğini taşımaktadır. Yapay veriler belli bir dalga biçiminin varsayılan model içerisinde yayıldığı düşünülerek oluşturulmuştur. Model içerisinde ardışık ara yüzelerde yansımanın büyüklüğü ve işareti iğnecikler (spike'lar) ile gösterilmektedir. Dalga biçimi olarak bazen varsayılan bir dalgacık (Gauss, Ricker dalgacı gibi) bazen de gerçek sismik verilerin analizi ile elde edilen dalgacık kullanılmaktadır. Yapay sismogram, gerçek sismogramla karşılaştırmak, olayları tanımlamak ve model parametrelerindeki değişikliklerin sismik kesitteki etkilerini

görmek için kullanılmasının yanı sıra, bu çalışmada olduğu gibi yöntemlerin etkililiğinin test edilmesi amacıyla da kullanılmaktadır. Yapay sismogram yapımı doğrudan modellemeye bir örnektir. Genel olarak soğrulma içeren yapay sismogramların zaman ortamında oluşturulmasında denklem 4.1, frekans ortamında oluşturulmasında ise denklem 4.2'deki matematiksel ifadeler kullanılmaktadır.

$$S_t = w_t * r_t * Q_t + n_t \quad (4.1)$$

$$S_w = w_w . r_w . Q_w + n_w \quad (4.2)$$

$w$ ; Dalgacık

$r$  ;Yansıma Katsayısı

$Q$ ; Sismik Kalite Faktörü

$n$ ; Gürültü

Denklem 4.1 ve 4.2'de görüleceği üzere yapay sismogramların oluşturulmasında zaman ortamında evrişim, frekans ortamında ise çarpma işlemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada yapay sismogramlar Kjartansson (1979) tarafından geliştirilen sabit Q modeli kullanılarak elde edilen Q operatörünün zaman ortamındaki tepki yanıtı ile sıfır fazlı Ricker dalgacığının evrişim işlemi ile elde edilmiştir.

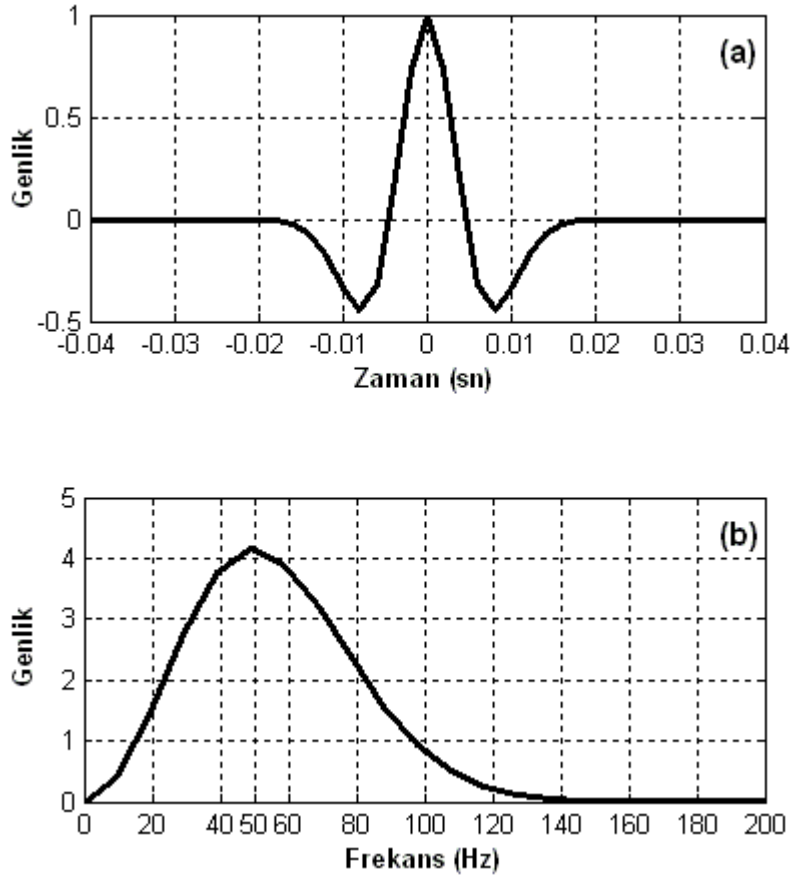
Ricker dalgacığı, Ricker tarafından tanımlanmış ve sismik çalışmalarda sıkça kullanılan bir dalgacık şeklidir. Dalgacığının matematiksel denklemi 4.3'te görülmektedir. Şekil 4.1'de 50 Hz merkez frekanslı Ricker dalgacığının zaman ve frekans ortamındaki şekli görülmektedir.

$$R(t) = (1 - 2\pi^2 f_p^2 t^2) e^{(-\pi^2 f_p^2 t^2)} \quad (4.3)$$

Sabit Q modeli 1979 yılında Kjartansson tarafından geliştirilmiştir. Kjartansson frekanstan bağımsız olarak Q parametresinin kullanılmasıyla dalgaların soğrulduğu lineer bir model oluşturmuştur. Bu modelde dalga yayılımı belli bir referans frekansındaki ( $\omega_0$ ) faz hızı ( $c_0$ ) ve Q parametresi kullanarak tanımlanmıştır.

Denklem 4.4'te görüldüğü üzere frekansın bir fonksiyonu olarak faz hızı tanımlanmıştır.

$$\frac{c}{c_0} = \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^\gamma \quad (4.4)$$



Şekil 4.1. Sıfır fazlı Ricker dalgacı (f<sub>dom</sub> = 50 Hz). a) Zaman ortamı, b) Frekans ortamı

Denklem 4.4'teki  $\gamma$ 'in matematiksel ifadesi denklem 4.5'te verilmiştir. Denklem 4.5 ve 4.6'da tanımlanan Q frekanstan bağımsızdır.

$$\gamma = \frac{1}{\pi} \tan^{-1} \left( \frac{1}{Q} \right) \approx \frac{1}{\pi Q} \quad (4.5)$$

$$\frac{1}{Q} = \tan(\pi\gamma) \quad (4.6)$$

Bir boyutlu dalga denkleminde yola çıkarak hesaplanan Fourier dönüşümü denklem 4.7'de verilmiştir.

$$B(\omega) = e^{-\alpha x} e^{-i\omega x/c} \quad (4.7)$$

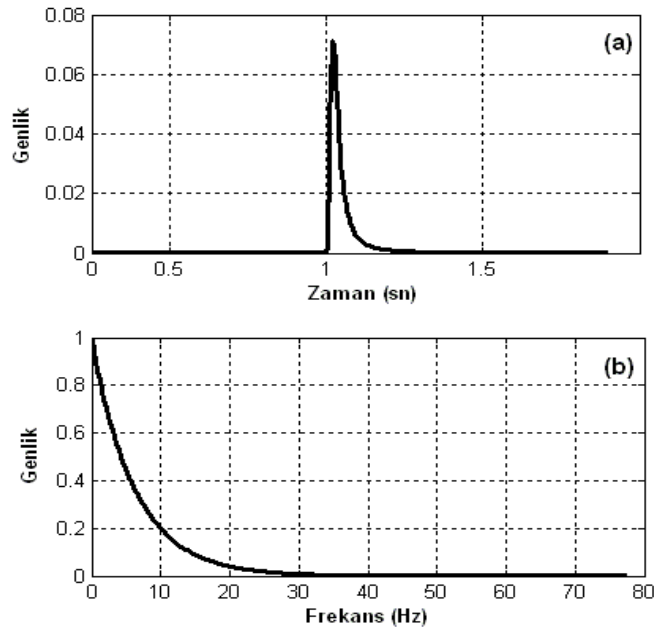
Denklem 4.7'nin açık şekli denklem 4.8'de görülmektedir. Bu denklemin kullanılmasıyla Q operatörü hesaplanmaktadır.

$$B(\omega) = \exp \left\{ -\frac{x\omega_0}{c_0} \left| \frac{\omega}{\omega_0} \right|^{1-\gamma} \left[ \tan \left( \frac{\pi\gamma}{2} \right) + i \operatorname{sgn}(\omega) \right] \right\} \quad (4.8)$$

4.8 denklemindeki  $\operatorname{sgn}(\omega)$  signum fonksiyonu olup, açık şekli denklem 4.9 ile verilmiştir.

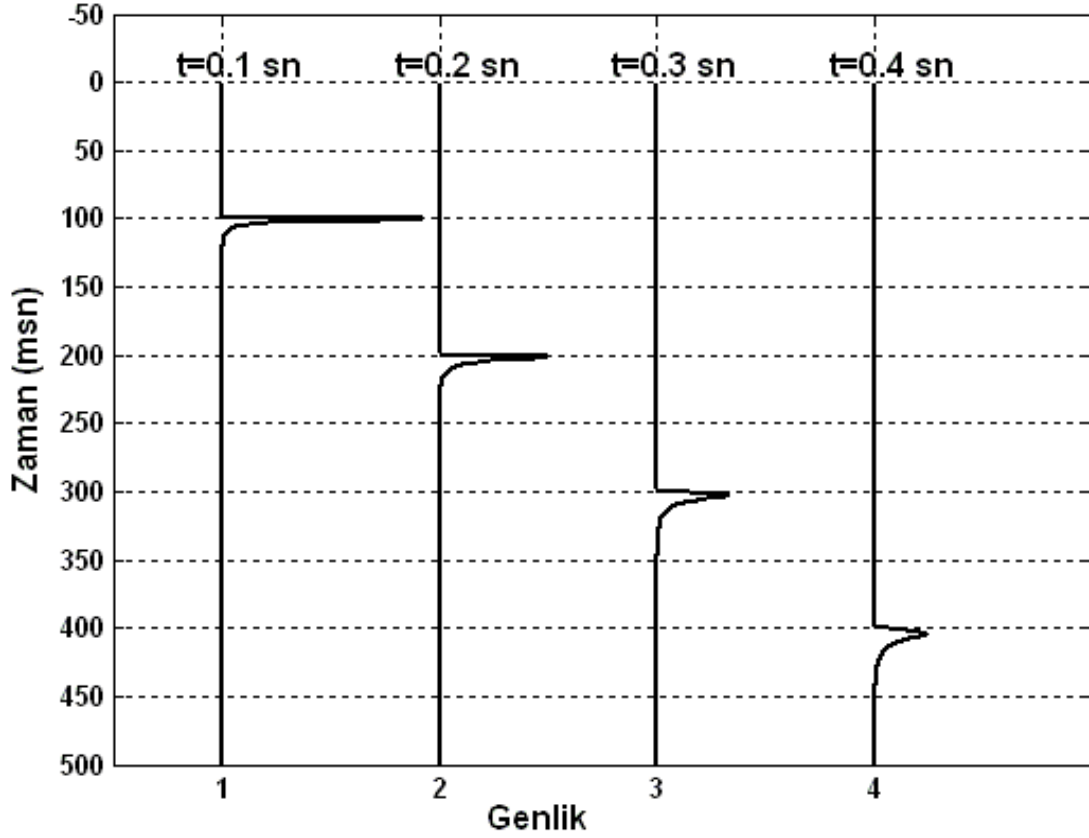
$$\begin{aligned} \operatorname{sgn}(\omega) &= 1 & \omega > 0 \\ \operatorname{sgn}(\omega) &= -1 & \omega < 0 \end{aligned} \quad (4.9)$$

Şekil 4.2'de Q operatörünün 1,0 sn ve Q=50 değerleri ile üretilmiş zaman ve genlik spektrumu görülmektedir.



Şekil 4.2. Sabit Q operatörünün  $t = 1.0$  ve  $Q = 50$  için üretilmiş a) Zaman ortamı b) Genlik spektrumu

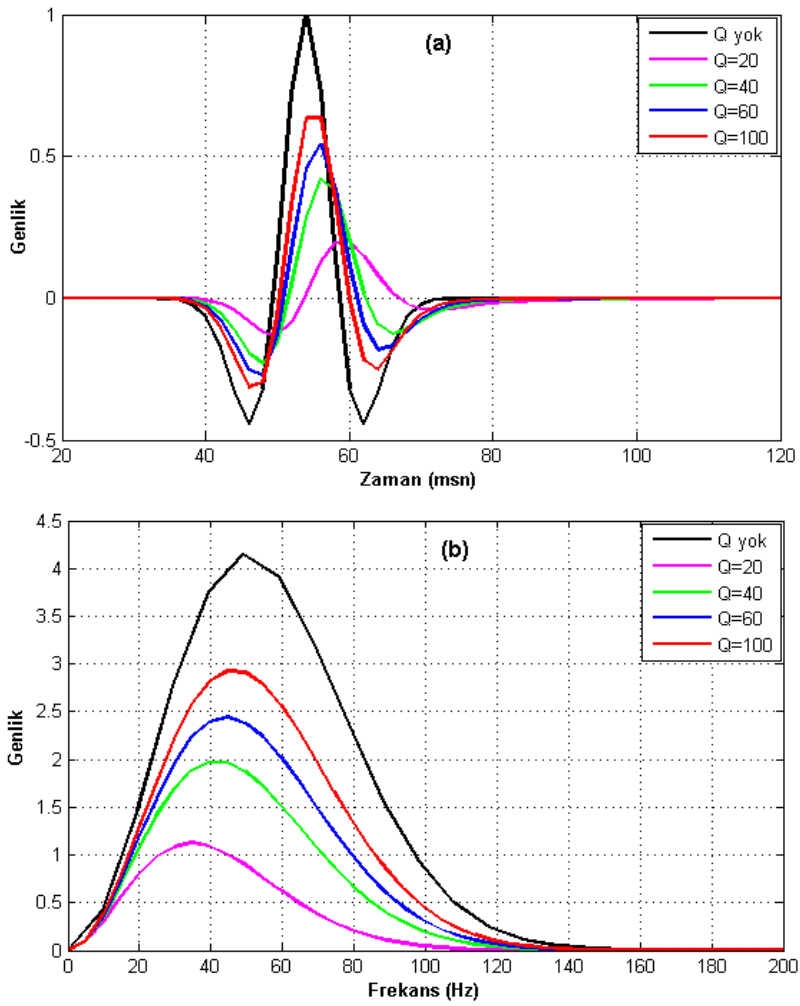
Şekil 4.3’de farklı seyhat zamanlarında Q operatörünün genlik değişimi görülmektedir. Buna göre yolculuk süresi arttıkça genlikte azalma genişlikte ise bir artma meydana gelmektedir.



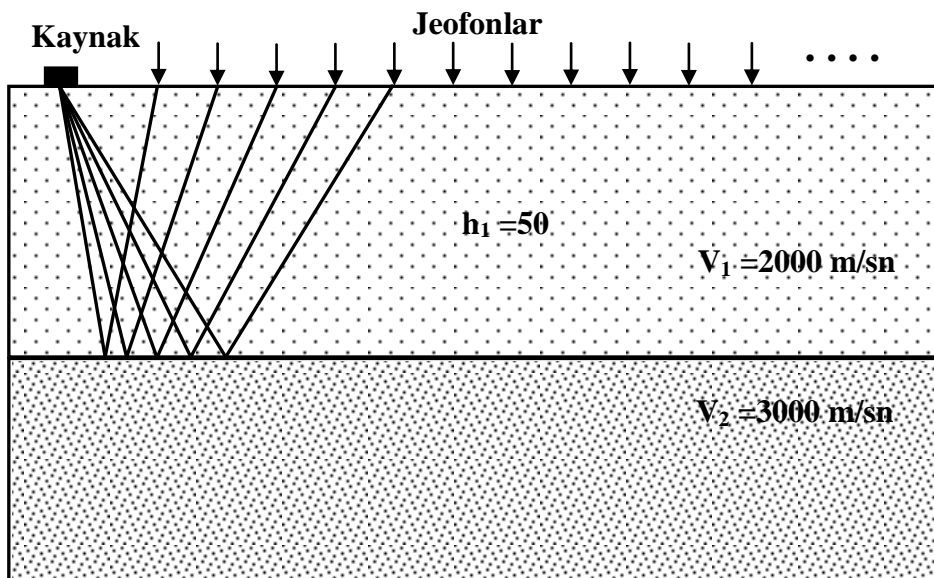
Şekil 4.3. Q = 60 ve t = 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4 zamanlarındaki sabit Q operatörünün görüntüsü

Şekil 4.4’de Q parametresinin 0, 20, 40, 60 ve 100 olduğu durumlar için sıfır fazlı Ricker dalgacığının (50 Hz merkez frekanslı) zaman ve frekans ortamında durumları görülmektedir. Zaman ortamında (Şekil 4.4 (a)), dalgacığın genliğinde azalma, bant genişliğinde ise artma vardır. Q değerinin azalması ile soğrulma şiddeti artmaktadır. Frekans ortamında (Şekil 4.4 (b)), düşük Q değerlerinde enerji yitiminin daha fazla olduğu görülmektedir.

Şekil 4.5’de örnek bir yeraltı modeli görülmektedir. Bu modelde offset ve jeofonların aralıkları 5 metre olup model iki tabakalıdır. Birinci tabaka kalınlığı 50 metre ve hızı 2000 m/sn, ikinci tabaka hızı ise 3000 m/sn olarak alınmıştır.

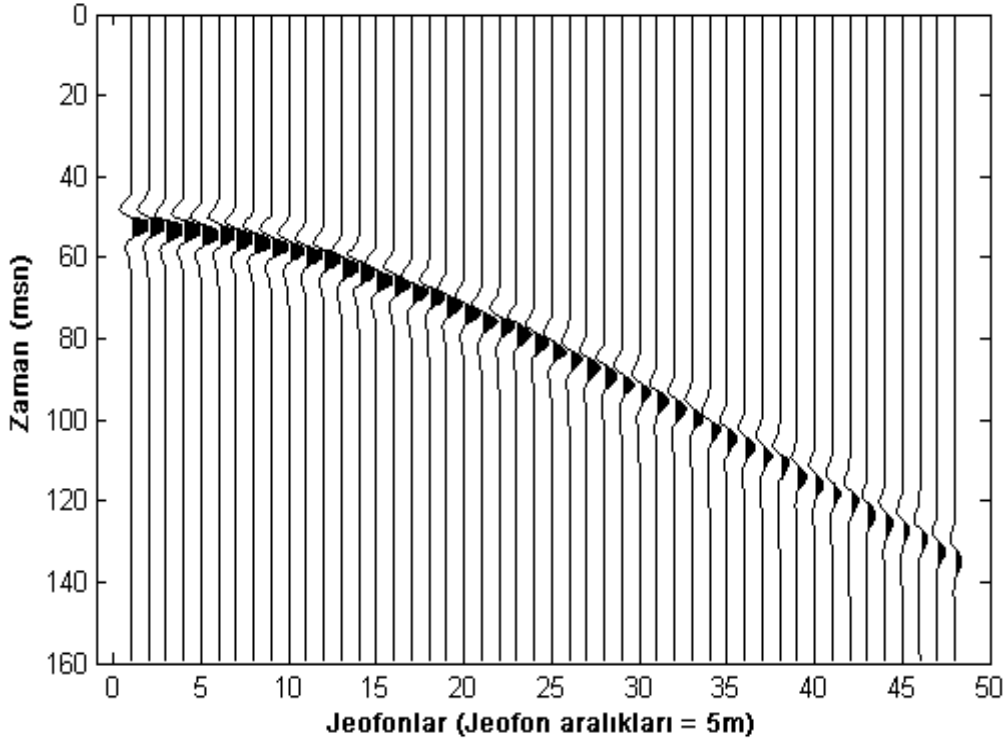


Şekil 4.4. Merkez frekansı 50 Hz Ricker dalgacığının  $Q = 0, 20, 40, 60$  ve  $100$  değerlerinde soğurmaya uğramış hali a) Zaman ortamında, b) Frekans ortamında



Şekil 4.5. Örnek yeraltı modeli ( $h_1$ ; Tabaka kalınlığı  $V_1$ ; Birinci tabaka hızı  $V_2$ ; İkinci tabaka hızı)

Şekil 4.6’da ise örnek olarak verilen yeraltı modelinin 48 kanallı yapay yansıma kaydı görülmektedir. Yapay kaydın oluşturulmasında sıfır fazlı merkez frekansı 50 Hz olan Ricker dalgası kullanılmıştır. Modeldeki Q parametresi 10 olarak alınmıştır. Yapay kayıta geometrik yayılımdan kaynaklanan enerji yitimi hesaba katılmamıştır.



Şekil 4.6. Örnek olarak verilen yeraltı modelinin  $Q = 10$  için yapay sismogram kaydı

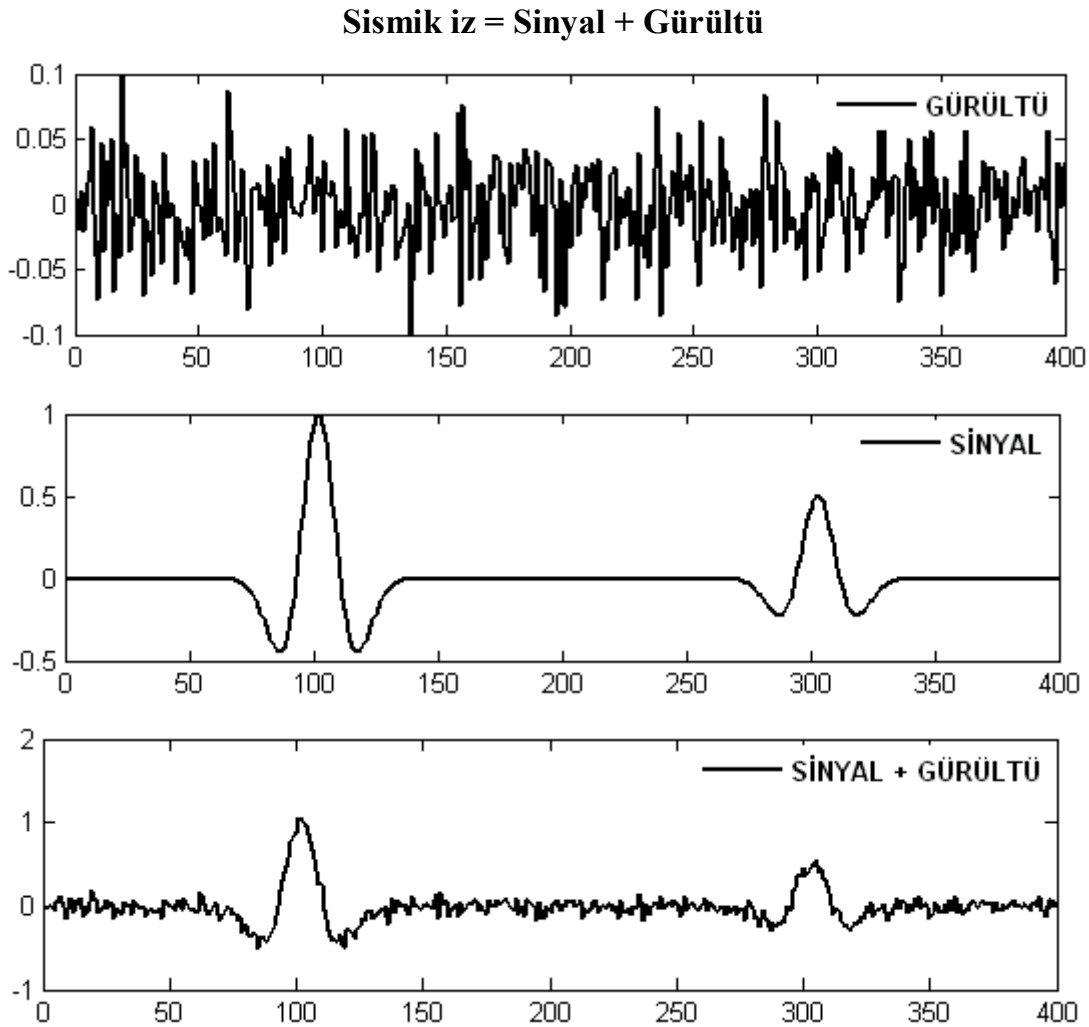
Şekil 4.3, 4.4 (a) ve 4.6’daki dalgacıkların soğurucu ortam içerisinde ilerlemesi sonucunda zaman ortamında genişlediği, enerjisinin azaldığı ve genliğinin düştüğü görülmektedir.

Sabit  $Q$  yaklaşımının kullanılmasıyla soğrulma içeren dalgacıklar ve yapay sismogram kayıtları MATLAB ortamında programlar yazılarak elde edilmiştir. Soğrulma içeren bu kayıtlardan  $Q$  parametresinin kestirimi için genlik azalım, spektral oran, Wiener süzgeç ve YSA yöntemleri kullanılmıştır. Kestirim yöntemleri gürültü içermeyen ve gürültü içeren verilere uygulanmış ve başarı yüzdeleri tespit edilmiştir.



## 4.2. Gürültü

Sismik çalışmalarda kaydedilen izler, sinyal ve gürültünün (noise) toplamından oluşmaktadır (Şekil 4.7). Yorum güvenirliliği kayıtlardaki sinyalin gürültüye oranının (S/G) derecesine bağlıdır. Sismik verilerin belirli bir kısmındaki sinyal enerjisinin aynı kısımdaki toplam gürültüye oranı sinyalin gürültüye oranı (S/G) olarak tanımlanır. S/G oranının büyüklüğü ve küçüklüğü sismik kaydımızın niteliğini göstermektedir. S/G oranının büyük değerlerden küçük değerlere doğru azalması sinyal etkisinin gürültüye nazaran giderek azalması anlamına gelmektedir. S/G oranını arttırıcı faktörler olarak; jeofonun özelliği, bir gruptaki jeofon sayısı ve jeofonların dizilim biçimleri sayılabilir.



Şekil 4.7. Gürültü (üstte), Sinyal (ortada) ve Sinyal + Gürültü (altta)

Sismik verideki gürültü, izden iz takip edilebilen ve sistematik olarak birden çok iz üzerinde kendini gösteren “düzenli (ilişkili, coherent)” veya izden iz herhangi bir sistematik sürekliliği olmayan “düzensiz (gelişigüzel, random)” gürültü olarak sınıflandırılmaktadır (Bekler, 2011).

#### **4.2.1. Düzensiz gürültüler**

Bu tür gürültüler genlikleri ve fazları bakımından gelişigüzel kompleks girişimler olup herhangi bir düzene bağlı değildirler. Atmosfer olayları, endüstriyel işlemler, alıcı sistemlere yakın insanların fiziksel hareketleri ve trafik akışı gibi durumlar düzensiz gürültüye örnek olarak gösterilebilir. Sismik kayıtlarda, düzensiz gürültülerin fazları birbirinden farklı olacağından birçoğu birbirini yok etmektedir. Her grupta çok sayıda jeofon kullanarak veya izleri yığarak S/G oranının yükselmesi sağlanmaktadır.

#### **4.2.2. Düzenli gürültüler**

Bu tür gürültüler komşu izler arasında sistematik faz uyumluluğu göstermektedirler. Kaynak oluşturma sırasında meydana gelmekte ve sismik kayıt üzerindeki birkaç izde mutlaka takip edilebilmektedirler. Bu tip gürültülere örnek olan yüzey dalgalarının azaltılması için derinlerde atış yapılabilir. Sığ atıştan oluşan yüzey dalgaları derin atışta oluşan yüzey dalgalarından fazladır. Bu gürültülere örnek olarak; yüzey dalgaları, kırılma dalgaları, tekrarlayan yansımalar, direk dalgalar gösterilebilir.

#### **4.3. YSA Yönteminin Yapay Veride Q Kestiriminde Kullanılması**

Bu çalışmada Q parametresinin kestirim işleminde kullanılan geleneksel yöntemlere ilave olarak YSA yöntemini kullanılmıştır. YSA yöntemi çeşitli bilim dallarında kestirim problemlerinde sıkça ve başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Patterson, 1998). Yöntemin uygulanmasında belirlenmesi gereken temel esaslar;

- Probleme uygun girdi sayısı ve özellikleri
- Çıktı (Q parametresi)
- YSA'nın topolojisi
- Öğrenme algoritması
- İterasyon sayısı
- Aktivasyon fonksiyonudur

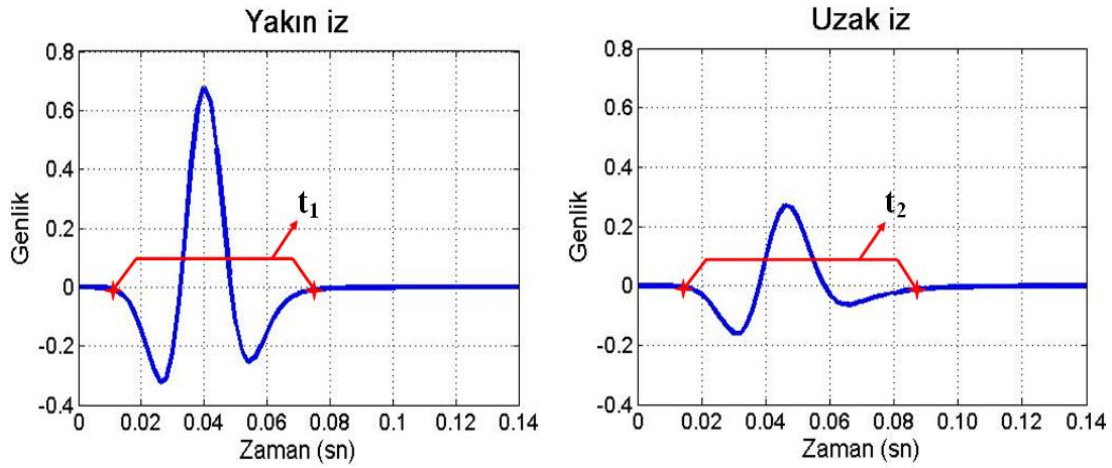
Bu çalışmada Q parametresinin kestiriminde yukarıda bahsi geçen özellikler ayrıntılı bir şekilde birçok ağ yapısı oluşturularak denemeler yapılmıştır. Oluşturulan bütün YSA modellerinde çıktı parametresi olarak sismik kalite faktörü (Q parametresi) alınmıştır. Yine YSA topoloji 3 katmanlı seçilmiştir. Bu katmanlar; girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı şeklindedir. Aktivasyon fonksiyonu sigmoid olarak belirlenmiştir.

YSA çalışmalarında en çok dikkat edilmesi gereken kısımlardan biriside girdi sayısının ve özelliklerinin belirlenmesidir. Uygun girdiler belirlenmesi problemin çözümünde etkili olabilmektedir. Bu çalışmada doğru girdi parametrelerinin belirlenmesi için birçok denemeler yapılmıştır. Bu denemeler sonunda 3 girdi ve 1 çıktıdan oluşan YSA modeli belirlenmiştir. Geleneksel yöntemlerde olduğu gibi YSA yönteminde de yakın iz uzak iz ilişkisi kurularak modeller oluşturulmuştur.

YSA modellerinde yakın iz ve uzak ize ait;

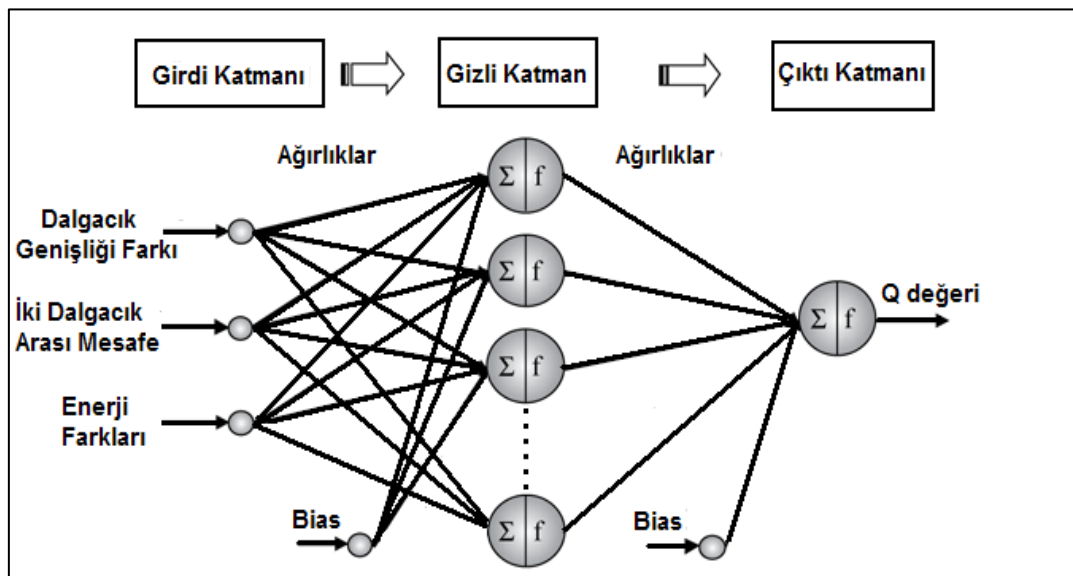
1. Dalga genişliğinin farkı
2. Enerji farkları
3. İki dalgacık arasındaki mesafe

girdi olarak kullanılmıştır ve çıktı olarak Q değeri alınmıştır. Şekil 4.8'de örnek bir yakın ve uzak ize ait dalga genişliği görülmektedir.



Şekil 4.8. Soğrulmaya uğramış dalgacığın yakın (sol) ve uzak mesafelerdeki (sağ) görünümü.  $t_1$  ve  $t_2$  sırasıyla yakın ve uzak ize ait dalga genişliğidir

Şekil 4.9'da çalışmada kullanılan YSA mimarisi görülmektedir. YSA yönteminde Q parametresinin kestirimde kullanılmak üzere yapay veriler üretilmiştir. YSA'da yapılan işlemleri genel olarak iki aşamaya ayırabiliriz. Bunlardan birincisi eğitim ve test işlemi ikincisi ise eğitilmiş ağın problem için kullanılmasıdır. Ağın performansının belirlenmesi için veriler eğitim ve test veri seti olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. YSA yönteminde uygulanmak üzere üretilen soğrulmaya uğramış yapay verilerin %80'i eğitim verisi olarak, %20'si ise test verisi olarak kullanılmıştır. Eğitim ve test aşaması tamamlandıktan sonra test veri setinin verdiği sonuçlara göre modelin performansı belirlenmiştir.



Şekil 4.9. Çalışmada kullanılan YSA yapısı 3 girdi 1 çıktıdan oluşmaktadır

Öğrenme algoritmasının seçiminde, Levenberg-Marquardt (LM), Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno Quasi-Newton (BFG), Conjugate Gradient with Fletcher-Reeves (CGF), One Step Secant (OSS), Scale Conjugate Gradient (SCG) algoritmaları kullanılmıştır. Öğrenme algoritmalarının performansları ve uygun iterasyon sayıları için her modelde testler yapılmıştır.

Q kestirimi için uygun YSA kriterlerinin belirlenmesi sonucunda, gürültü içermeyen yapay verilerdeki performansı belirlemek için bir, gürültü içeren yapay verideki performansı belirlemek için altı ve arazi verilerde uygulamak üzere bir YSA modeli belirlenmiştir.

#### 4.4. Yapay Verilerde Q Parametresinin Kestirimi

Gürültü içeriklerine göre yapay veriler hazırlanmış ve kestirim yöntemleri verilere ayrı ayrı uygulanmıştır. Kestirim sonuçlarına göre yöntemlerin performansları karşılaştırılmıştır. Kestirim yöntemlerinin performanslarının karşılaştırmaları ile gerçek sismik yansıma verisi için yöntemlerin uygulanabilirliği konusunda kuvvetli bir şekilde fikir edinilmesi düşünülmüştür.

Q kestiriminde hata miktarının hesaplanmasında 4.10 nolu denklemden faydalanılmıştır. 4.11 nolu denklem ile hata miktarının yüzdesi, 4.12 nolu denklem ile de kestirimin başarı yüzdesi hesaplanmıştır.

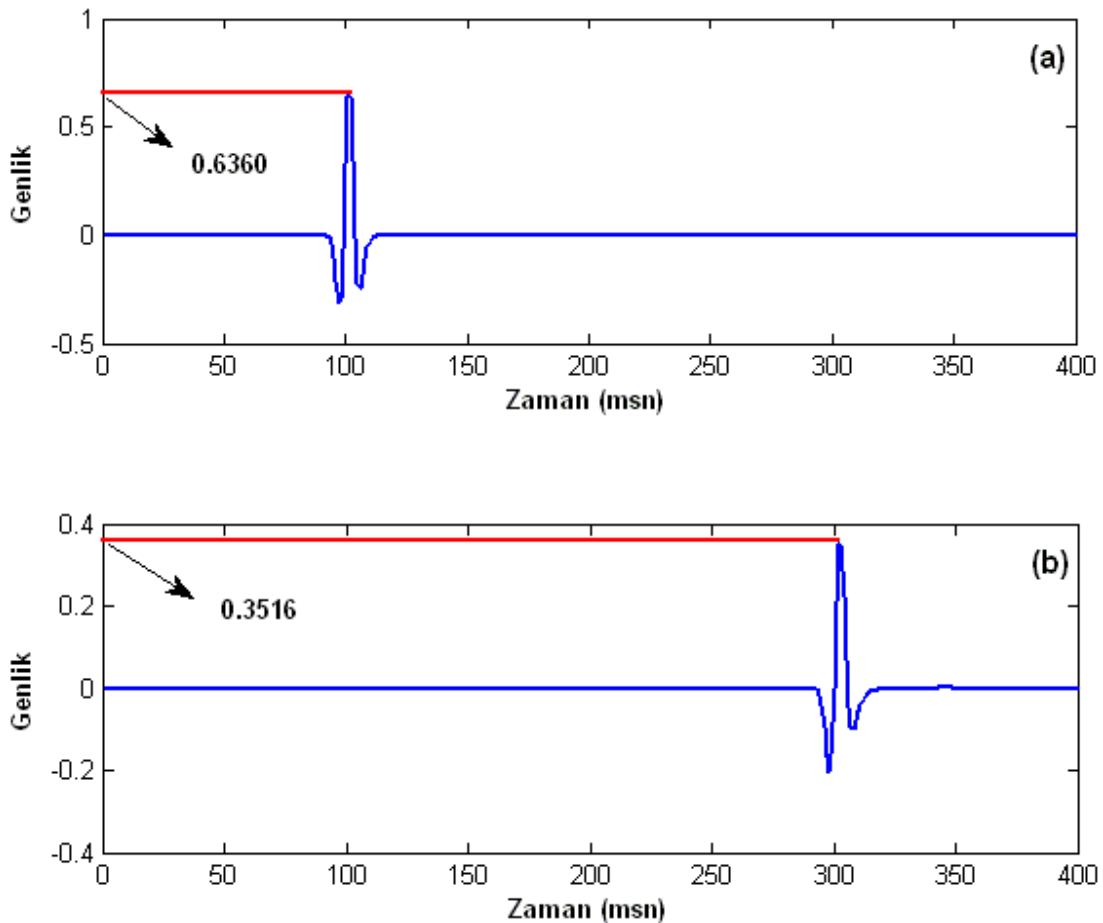
$$Hata\ Miktarı = |Gerçek\ değer - Kestirilen\ değer| \quad (4.10)$$

$$Hata\ Miktarı(\%) = \frac{100 \times Hata\ Miktarı}{Gerçek\ Değer} \quad (4.11)$$

$$Başarı(\%) = 100 - Hata\ Miktarı(\%) \quad (4.12)$$

#### 4.4.1. Gürültü içermeyen yapay veriler üzerinde Q kestirimi

Merkez frekansı 50 Hz olan sıfır fazlı Ricker dalgacı ile Q operatörünün evrişiminden oluşan gürültü içermeyen soğrulmaya uğramış yapay veriler üzerinde kestirim yöntemlerinin performansı incelenmiştir. Şekil 4.10'da  $Q=50$  için soğrulmaya uğramış dalgacıkların zaman ortamındaki durumları görülmektedir. Şekil 4.10 (a)'da 100 metrede soğrulmaya uğramış dalgacık, (b)'de ise 300 metrede soğrulmaya uğramış dalgacık görülmektedir. Seyahat mesafesi arttıkça dalganın genliğinde azalma meydana gelmektedir. 100 metredeki dalgacığın genliği yaklaşık 0,6360 ve 300 metredeki dalgacığın genliği yaklaşık 0,3516 olarak hesaplanmıştır. Bölüm 2'de verilen denklem 2.14'ü kullanarak genlik azalım yöntemiyle Q parametresinin kestirimi yapılmıştır.



Şekil 4.10.  $Q=50$  için soğrulmaya uğramış dalgacık. a) 100 metrede soğrulmaya uğramış dalgacık, b) 300 metrede soğrulmaya uğramış dalgacık

Buna göre;

$$Q = \frac{\omega \Delta x}{2c} \left[ \ln \left( \frac{a(x_1)}{a(x_2)} \right) \right]^{-1}$$

$$\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot 50$$

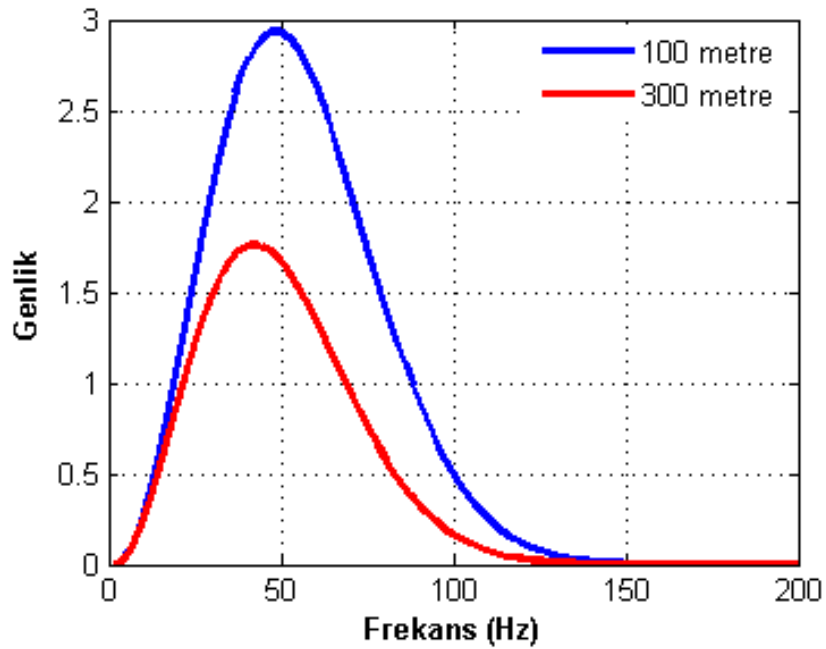
$$\Delta x = 200m$$

$$c = 1000m/sn$$

$$Q = \frac{\omega \Delta x}{2c} \left[ \ln \left( \frac{0,6360}{0,3516} \right) \right]^{-1} = 53$$

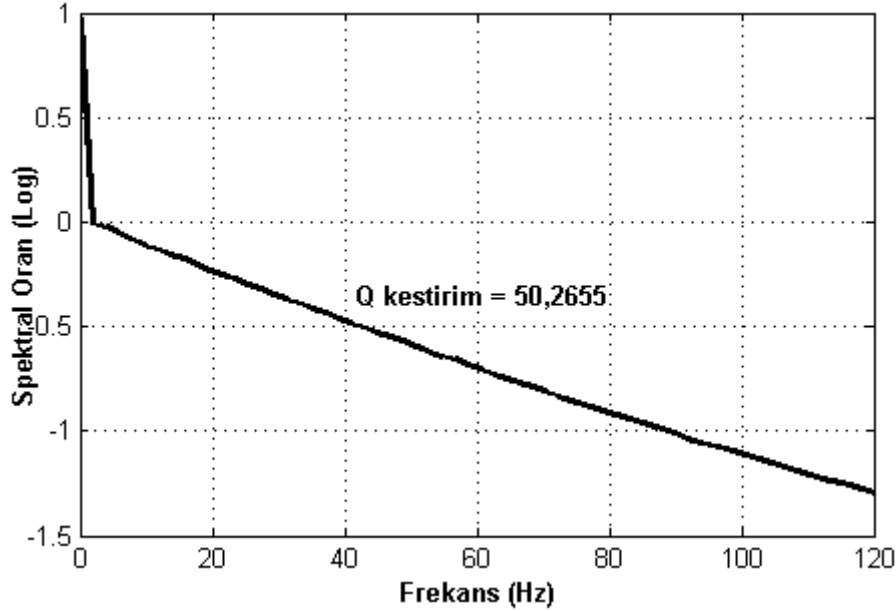
Yapay veriler oluşturulurken  $Q = 50$  değeri kullanılmasına karşın genlik azalım yöntemi ile  $Q$  kestirim sonucu 53 olarak bulunmuştur.

Şekil 4.11'de genlik azalım yönteminde kullanılan 100 ve 300 metredeki soğrulmaya uğramış dalgacıkların genlik spektrumu görülmektedir. Mesafe arttıkça yüksek frekanslar soğrulmakta ve frekans ortamında daralma meydana gelmektedir.



Şekil 4.11. Şekil 4.10'da görülen dalgacıkların genlik spektrumu

Şekil 4.12’de 100 ve 300 metredeki dalgacıkların genliklerinin oranından elde edilmiş eğri görülmektedir.

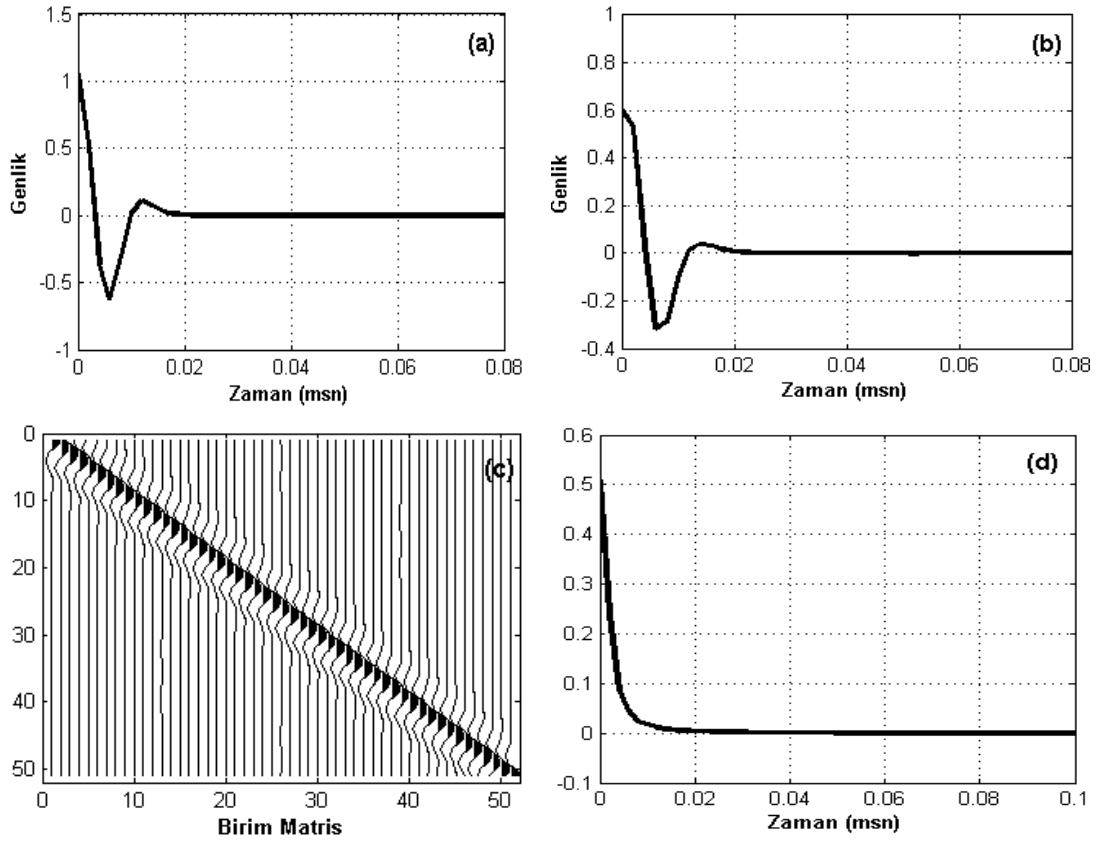


Şekil 4.12. Spektral oran yöntemi ile Q parametresinin hesaplanması

Spektral oran yönteminde elde edilen eğrinin eğiminin kullanılmasıyla Q kestirimi yapılmaktadır. Bölüm 2’de 2.30 nolu verilen denklem kullanılarak spektral oran yöntemiyle kestirilen Q değeri 50, 2655 olarak bulunmuştur. Modelde Q değeri 50 olarak alınmıştır.

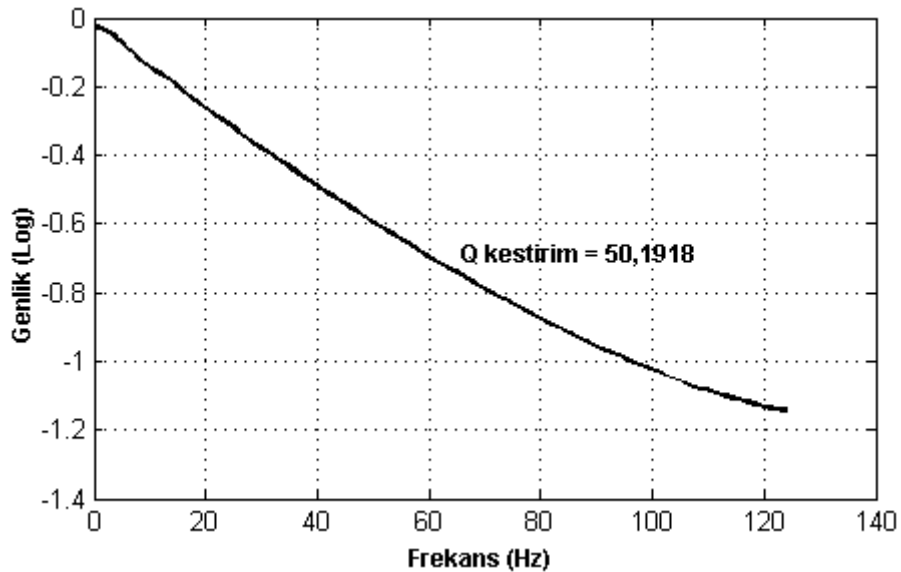
Şekil 4.13’de Wiener süzgeç yaklaşımı ile Q kestiriminin işlem adımları görülmektedir. Yine bu yöntemde de spektral oran ve genlik azalım yöntemindeki Q kestirimindeki dalgacıklar kullanılmıştır. Benzer şekilde modelin Q değeri 50 olarak alınmıştır. İlk olarak birinci dalgacığın özilişkisi (Şekil 4.13-a) ve birinci dalgacık ile ikinci dalgacığın çapraz ilişkisi (Şekil 4.13-b) elde edilmiştir. Elde edilen özilişki fonksiyonuna ait Toeplitz matrisi (Şekil 4.13-c) oluşturulmuştur. İşlemin açık ve sembolik ifadesi bölüm 2’de 2.41 nolu denklemde görülmektedir. Normal denklemler denilen bu denklemlerin çözümü Wiener süzgeç operatör katsayılarını verir (Şekil 4.13-d). Wiener süzgeç operatörünün genlik spektrumu hesaplanarak Q parametresinin kestirim işlemine geçilmiştir.





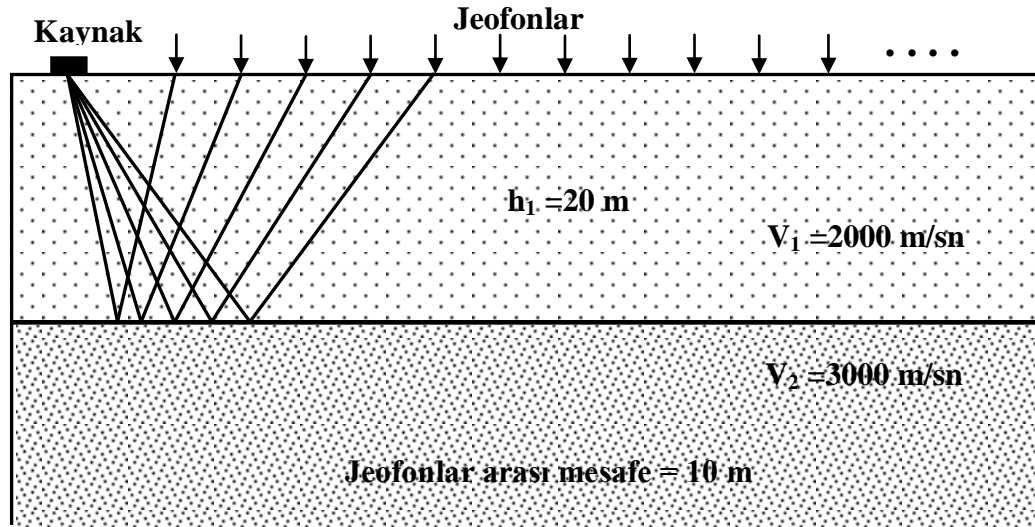
Şekil 4.13. Wiener süzgeç yaklaşımı. a) Yakın dalgacığın özilişkisi b) Yakın ve uzak dalgacıkların çapraz ilişkisi c) Özilişki fonksiyonunun Toeplitz matrisi d) Wiener süzgeç katsayıları

Şekil 4.13-d'de görülen Wiener süzgeç katsayılarına ait genlik spektrumu Şekil 4.14'de görülmektedir. İlgili genlik spektrumu kullanılarak yapay veriye ait Q değeri hesaplanmıştır. Şekil 4.14'deki eğimden yola çıkarak Q değeri 50,1918 olarak kestirilmiştir.



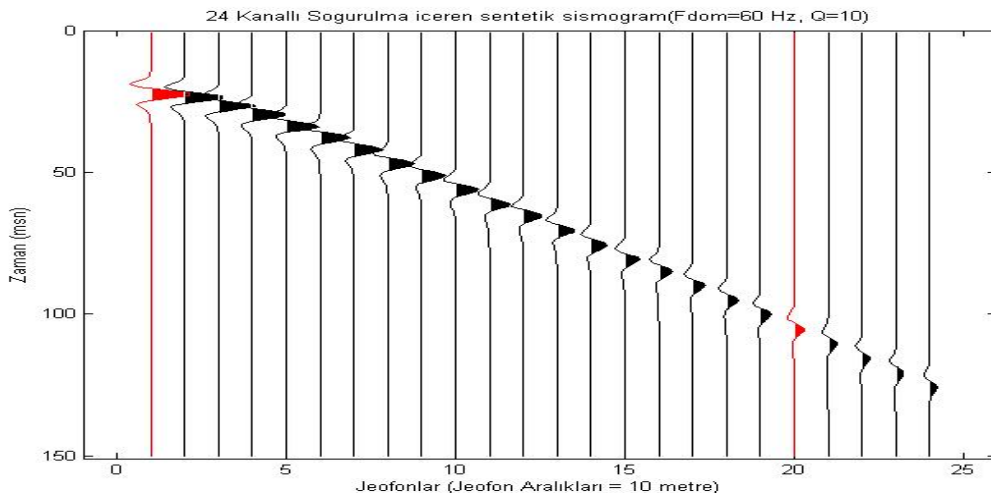
Şekil 4.14. Wiener süzgeç operatörü genlik (log) spektrumu (Gerçek Q değeri 50)

YSA yöntemi ile Q kestiriminde Şekil 4.15’de görülen yeraltı modeli kullanılarak yapay sismogramlar üretilmiştir. Baskın frekans 50 Hz ve jeofon sayısı 24 olarak alınmıştır. Q değeri 10 ile 110 arasında birer arttırmak suretiyle 101 tane farklı Q değeri ile yapay sismik yansıma kaydı üretilmiştir. Toplamda 2323 yapay sismik iz elde edilmiştir.



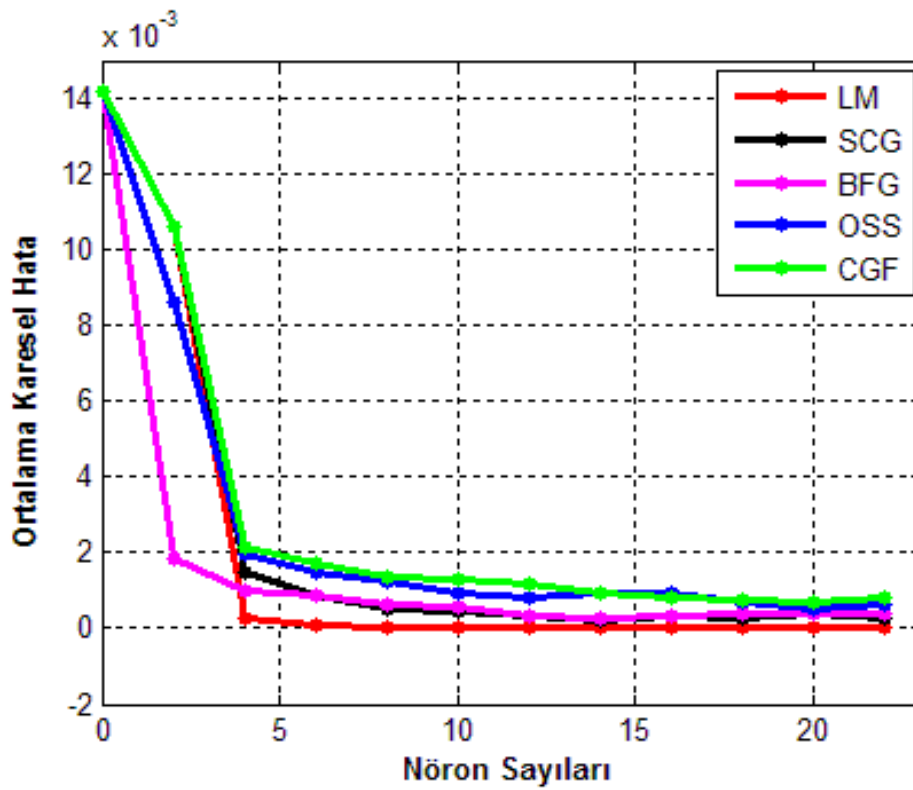
Şekil 4.15. YSA yöntemi için yapay sismogram üretmede kullanılan yeraltı modeli ( $h_1$ ; Tabaka kalınlığı  $V_1$ ; Birinci tabaka hızı  $V_2$ ; İkinci tabaka hızı)

Şekil 4.16’da  $Q = 10$  değeri için üretilen yapay sismik yansıma atış verisi görülmektedir. Şekilde 1. ve 20. jeofonlar (kırmızı) YSA yönteminin performans analizinde kullanılmıştır.



Şekil 4.16.  $Q=10$  için üretilen yapay shot gather, kırmızı olarak görünen 1. ve 20. dalgacıklar YSA yönteminin test işleminde kullanılmıştır

2323 yapay izin %80'i eğitim verisi olarak %20'si ise test verisi olarak kullanılmıştır. LM, BFG, CGF, OSS ve SCG öğrenme algoritmaları eğitim ve test veri setinde en iyi performansı elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Her bir öğrenme algoritması için 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 ve 22 nöronlu modeller oluşturulmuş ve performansları incelenmiştir. Şekil 4.17'de gürültü içermeyen yapay veriler için öğrenme algoritmalarındaki nöron sayılarının ortalama karesel hatası görülmektedir. Nöron sayısı 0 ve 2 için hata miktarları yüksek iken 4 ve üstü nöron sayılarında hata miktarı azalmaktadır.



Şekil 4.17. Gürültü içermeyen yapay verilerin YSA öğrenme algoritmalarına ait performans grafikleri, Modellerin nöron sayılarına karşılık göstermiş oldukları ortalama karesel hata miktarları

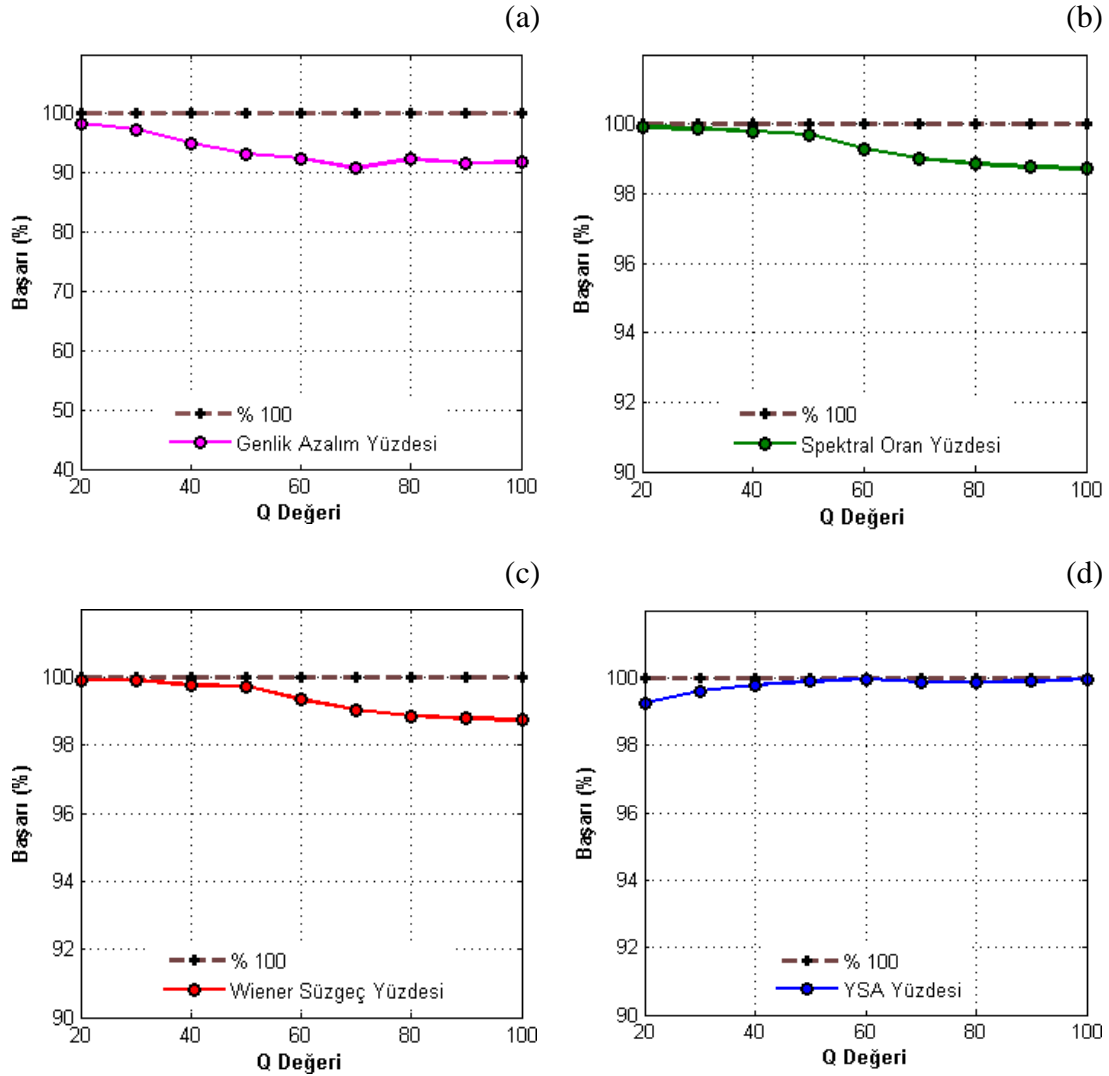
Tablo 4.1'de öğrenme algoritmalarına karşılık gelen nöron sayılarının eğitim ve test işlemlerinde elde edilen en düşük ortalama karesel hata değerleri görülmektedir. Toplamda 60 YSA modeli oluşturulmuştur. Şekil 4.17 ve Tablo 4.1'den görüleceği üzere en doğru Q değerinin kestirim sonuçlarını Levenberg-Marquart öğrenme algoritmasına sahip 18 nöronlu YSA modeli göstermektedir.

Tablo 4.1. Gürültü içermeyen yapay veriler için öğrenme algoritmasına karşılık gelen nöron sayılarının eğitim ve test verilerindeki ortalama karesel hata. Gri renkli zeminler öğrenme algoritmasındaki en iyi sonucu göstermektedir. ‘\*’ işareti ise en iyi performanslı modeli göstermektedir

Algoritma YSA yapısı		CGF	SCG	OSS	BFG	LM
Eğitim (Hata)	0 nöronlu	0,0144490	0,014472	0,014486	0,014482	0,014669
	2 nöronlu	0,010619	0,010078	0,008018	0,001278	0,010942
	4 nöronlu	0,002132	0,001432	0,001930	0,000950	0,000252
	6 nöronlu	0,001698	0,000899	0,001449	0,000889	0,000082
	8 nöronlu	0,001330	0,000522	0,001223	0,000648	0,000018
	10 nöronlu	0,001301	0,000439	0,000931	0,000598	0,000003
	12 nöronlu	0,001181	0,000310	0,000811	0,000458	0,000003
	14 nöronlu	0,000959	0,000199	0,000910	0,000409	0,000005
	16 nöronlu	0,000708	0,000299	0,000913	0,000338	0,000002
	18 nöronlu	0,000723	0,000189	0,000710	0,000409	0,000001*
	20 nöronlu	0,000734	0,000379	0,000509	0,000369	0,000001
	22 nöronlu	0,000809	0,000279	0,000610	0,000389	0,000001
Test (Hata)	0 nöronlu	0,014195	0,014191	0,014201	0,014199	0,014189
	2 nöronlu	0,010644	0,010644	0,008644	0,001844	0,010644
	4 nöronlu	0,002134	0,001455	0,001955	0,000972	0,000240
	6 nöronlu	0,001702	0,000900	0,001451	0,000891	0,000081
	8 nöronlu	0,001330	0,000526	0,001227	0,000652	0,000016
	10 nöronlu	0,001305	0,000439	0,000931	0,000598	0,000003
	12 nöronlu	0,001185	0,000314	0,000815	0,000322	0,000003
	14 nöronlu	0,000962	0,000201	0,000914	0,000241	0,000005
	16 nöronlu	0,000830	0,000301	0,000916	0,000340	0,000002
	18 nöronlu	0,000725	0,000290	0,000712	0,000410	0,000001*
	20 nöronlu	0,000715	0,000380	0,000511	0,000370	0,000001
	22 nöronlu	0,000819	0,000280	0,000611	0,000390	0,000001

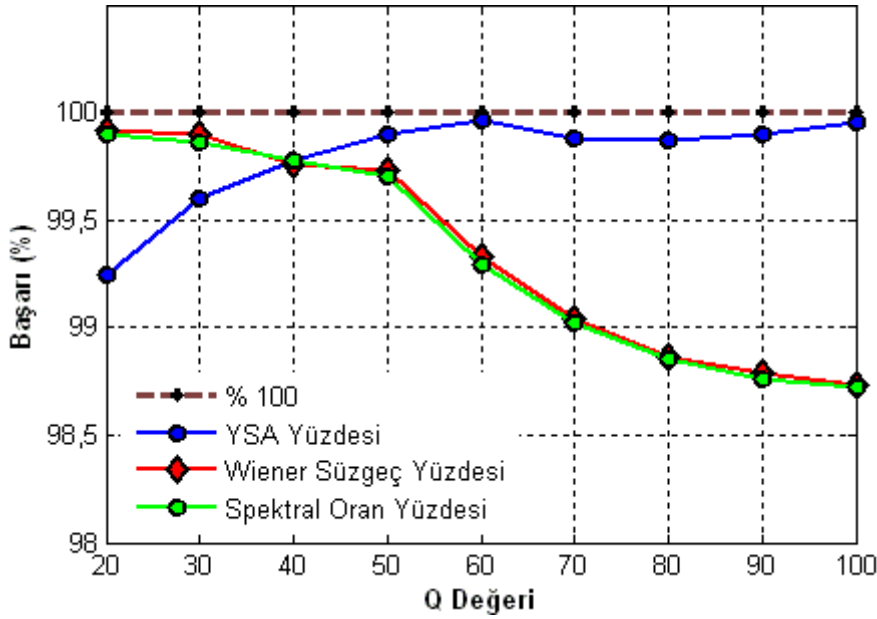
Şekil 4.18’de Q kestirimi için kullanılan yöntemlerin gürültüsüz yapay verilerdeki performansı görülmektedir. Şekil üzerindeki kesikli kahverengi çizgi %100 başarı

çizgisini göstermektedir. Şekil 4.18 (a)'da görülen genlik azalım yöntemi diğer yöntemlere göre daha düşük başarı yüzdelere sahiptir. En iyi kestirim sonuçlarını YSA yöntemi göstermiştir (Şekil 4.18 (d)). YSA yöntemini sırasıyla Wiener süzgeç ve spektral oran yöntemi takip etmektedir.



Şekil 4.18. Gürültü içermeyen yapay verilerdeki Q kestirim yöntemlerinin başarı grafikleri. Kesikli kahverengi çizgi % 100 başarı çizgisidir. a) Genlik azalım b) Spektral oran c) Wiener süzgeç d) YSA yöntemi

Şekil 4.19'da gürültüsüz ortam için spektral oran, Wiener süzgeç ve YSA yöntemlerinin daha ayrıntılı ölçekte başarı yüzdeleri görülmektedir. Wiener süzgeç yöntemi ile spektral oran yöntemi oldukça birbirine yakın sonuçlar göstermesine rağmen Wiener süzgeç yöntemi spektral oran yöntemine nazaran biraz daha yüksek başarı oranı göstermektedir.



Şekil 4.19. Gürültüsüz yapay verideki spektral oran, Wiener süzgeç ve YSA yöntemlerinin başarı durumlarını daha geniş spektrumdaki ortak görüntüsü

Tablo 4.2’de yöntemlerin başarı yüzdelerinin sayısal değerleri görülmektedir. Tabloda modelde kullanılan Q değerlerine karşılık yöntemlerin kestirdiği Q değerleri verilmiştir. Sırasıyla denklem 4.10, 4.11 ve 4.12 kullanılarak başarı yüzdeleri hesaplanmıştır. Tablo 4.2 şekil 4.18’deki grafiklerin sayısal değerlerini göstermektedir.

Tablo 4.2. Kestirim yöntemlerinin gürültüsüz yapay verideki kestirim sonuçları ve başarı yüzdeleri

Modelde Kullanılan Q Değeri	Genlik Azalışım	Başarı (%)	Spektral Oran	Başarı (%)	Wiener Süzgeç	Başarı (%)	YSA	Başarı (%)
20	20.319	98.40	19.979	99.90	19.9841	99.92	19.849	99.25
30	29.185	97.28	29.958	99.86	29.969	99.90	30.121	99.60
40	38.029	95.07	40.089	99.78	40.096	99.76	40.086	99.78
50	46.614	93.23	49.850	99.70	49.867	99.73	50.051	99.90
60	55.442	92.40	59.575	99.29	59.600	99.33	60.026	99.96
70	63.538	90.77	69.312	99.02	69.330	99.04	70.081	99.88
80	73.836	92.30	79.079	98.85	79.091	98.86	79.892	99.87
90	82.484	91.65	88.883	98.76	88.907	98.79	89.913	99.90
100	91.808	91.81	98.723	98.72	98.729	98.73	100.052	99.95

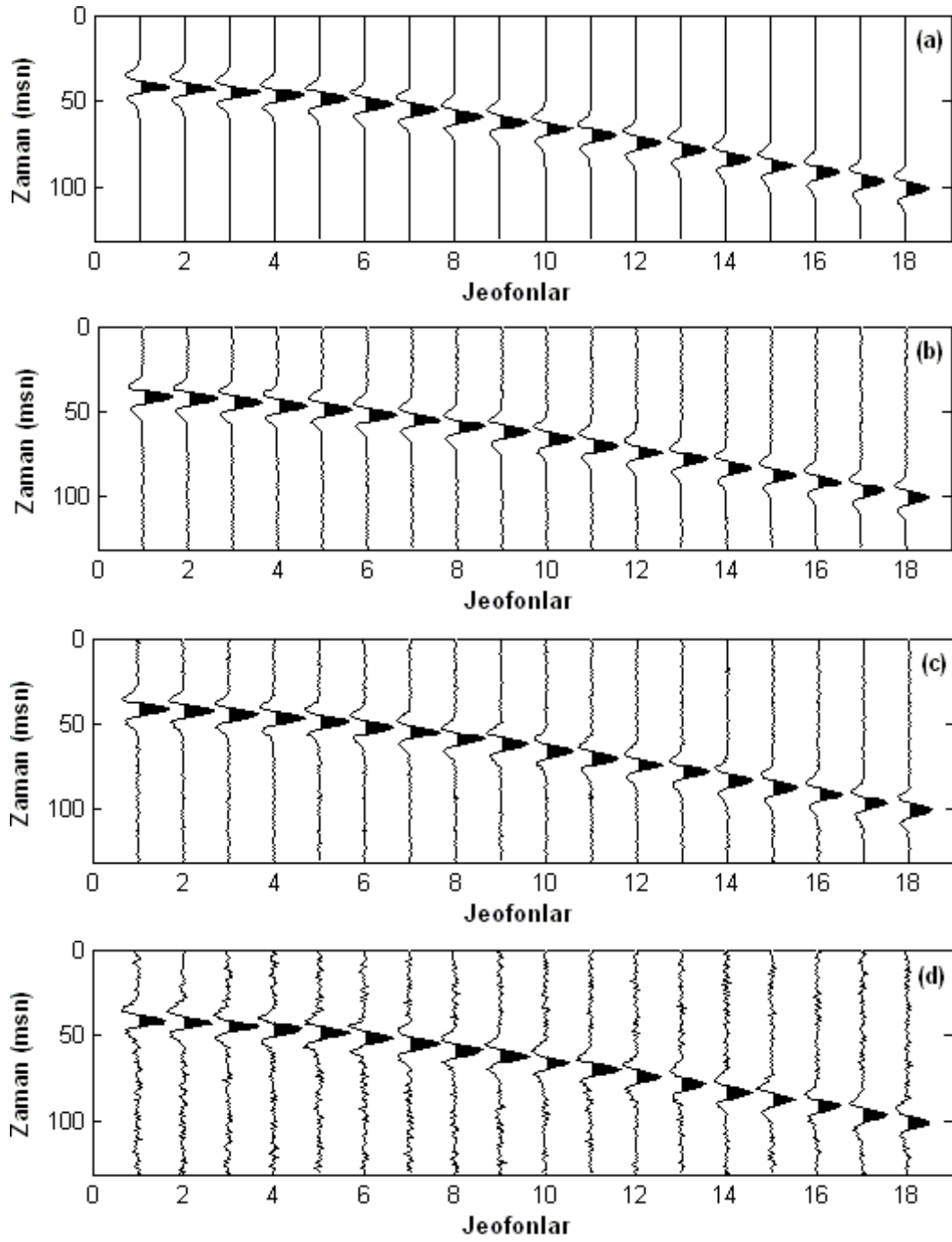
#### 4.4.2. Gürültü içeren yapay veriler üzerinde Q kestirimi

Q parametresinin kestiriminde kullanılan yöntemlerin etkinliği gürültü içeren yapay sismogramlarda da araştırılmıştır. Bu amaçla belirli oranlarda gürültü içeren yapay sismogramlar oluşturulmuştur. Gürültü içeren yapay sismogramların üretilmesinde 4.1 ve 4.2 nolu denklemler kullanılmıştır. Denklemlerden görüleceği üzere gürültü sinyale toplam olarak eklenmektedir. Bu çalışmada gürültü olarak normal dağılımlı (Gaussian) gürültüler kullanılmıştır. Denklem 4.13 normal dağılımlı rastgele veri üretmek için kullanılan matematiksel ifadeyi göstermektedir.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (4.13)$$

Denklemden  $f(x)$  normal dağılımı,  $x$ 'de normal dağılmış rastgele değişkeni ifade etmektedir. Dağılımın ortalaması  $\mu$  ve varyansı  $\sigma^2$ 'dir (Trees, 2001). Normal dağılımlı rastgele gürültü üretme ve ekleme işlemi MATLAB ortamında yapılmıştır. Kestirim yöntemlerinin performanslarının değerlendirilmesi amacıyla %1, 5, 10, 20, 40, 50 gürültü seviyelerinde yapay veriler hazırlanmıştır. Yöntemlerinin bu gürültü seviyelerindeki Q kestirim sonuçları karşılaştırılmıştır. Şekil 4.20'de gürültü içermeyen ve %1, 20, 50 gürültü içeren yapay sismogramlar görülmektedir. Yapay sismogramlar oluşturulurken Q değeri 20 olarak alınmıştır. Gürültü yüzdesi arttıkça sismogramdaki dalgacık izlerinde bozulma görülmektedir. Çok yüksek gürültü yüzdelerinde ise sismogramda dalgacık ayırt edilememekte ve gürültü hakim olmaktadır.

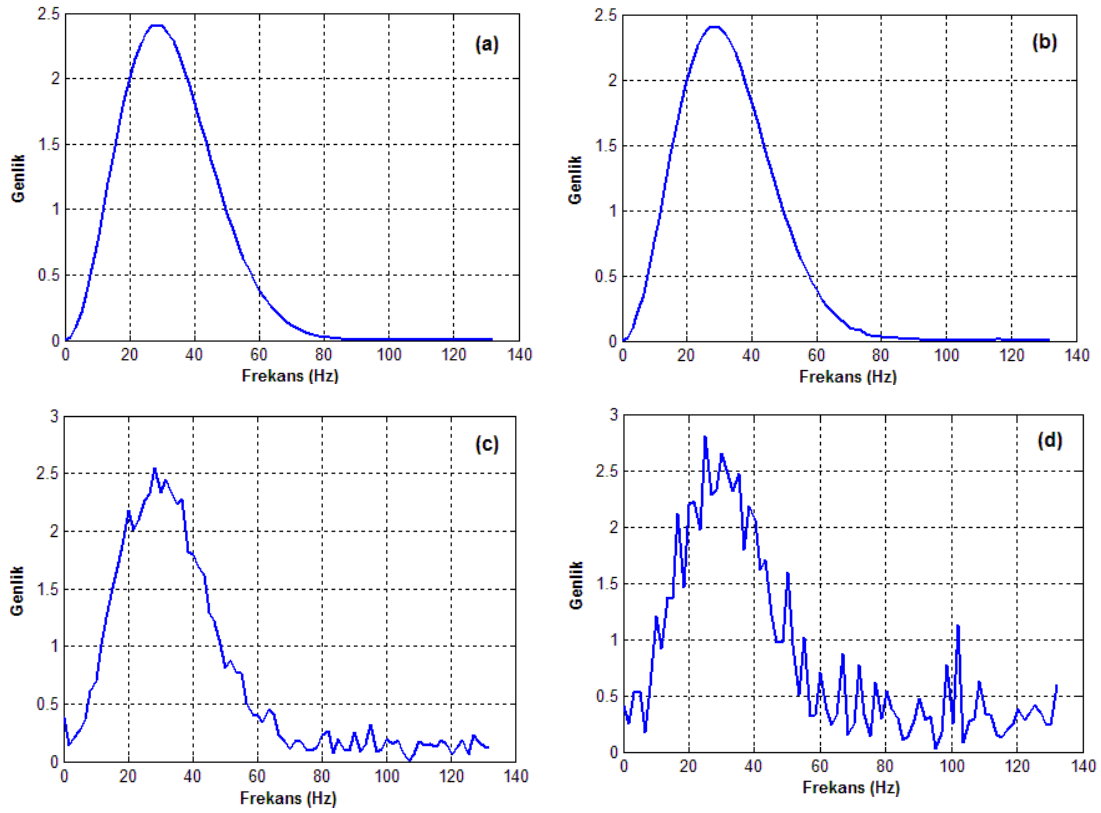
Şekil 4.21'de ise Şekil 4.20'de verilen yapay sismogramların genlik spektrumları görülmektedir. Gürültü miktarının artması ile genlik spektrumlarında bozulmalar artmaktadır.



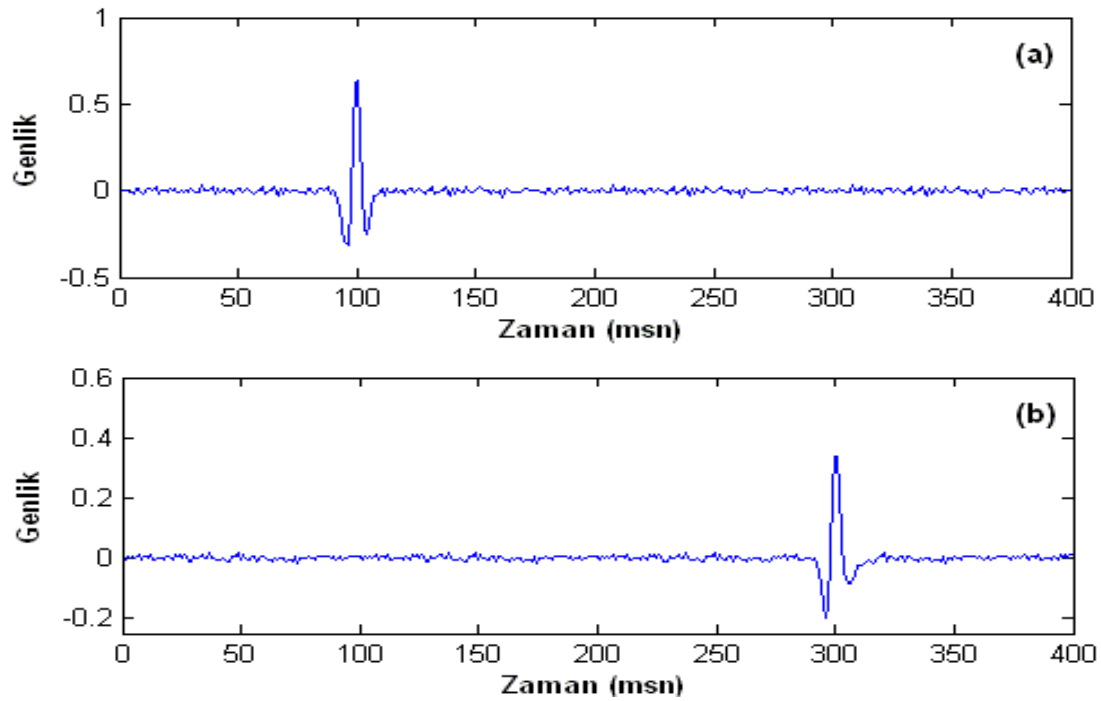
Şekil 4.20. Belirli oranlarda gürültü içeren 18 kanallı yapay sismogramlar. a) Gürültü yok b) %1 gürültü c) %20 gürültü d) %50 gürültü eklenmiş sismogram

Şekil 4.22'de  $Q = 50$  ve gürültü yüzdesi 10 olan 100 ve 300 metredeki soğrulmaya uğramış dalgacıklar görülmektedir.



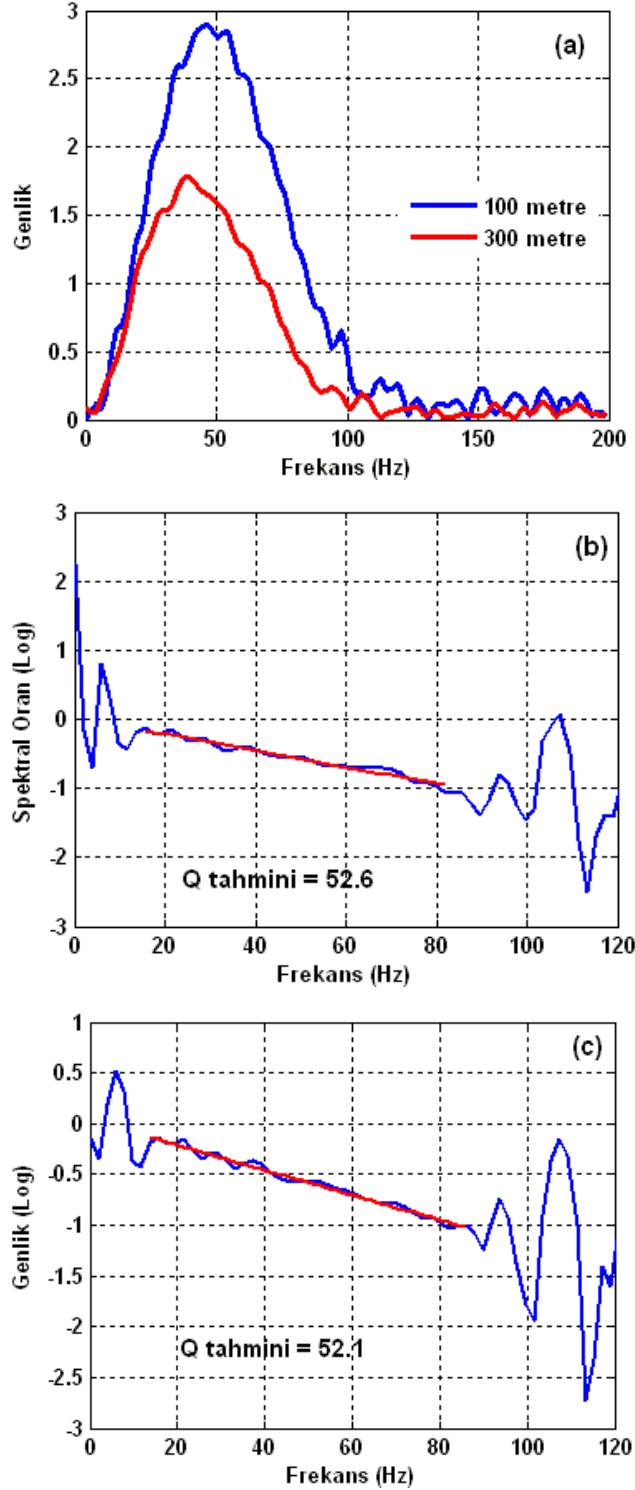


Şekil 4.21. Belirli oranlarda gürültü içeren yapay sismogramlara ait genlik spektrumları. a) Gürültü yok b) %1 gürültü c) %20 gürültü d) %50 gürültü içeren spektrum



Şekil 4.22.  $Q=50$  ve %10 Gürültü yüzdesi için soğrulmaya uğramış dalgacık. a) 100 metrede soğrulmaya uğramış dalgacık b) 300 metrede soğrulmaya uğramış dalgacık

Şekil 4.23'de Şekil 4.22'de verilen soğrulmaya uğramış dalgacıkların genlik spektrumları, spektral oranları ile Q kestirimi ve Wiener süzgeç yöntemi ile Q kestirimi görülmektedir. Gürültü seviyesi, sinyalin genlik spektrumunu ve Q kestirim sonuçlarını etkilemektedir.

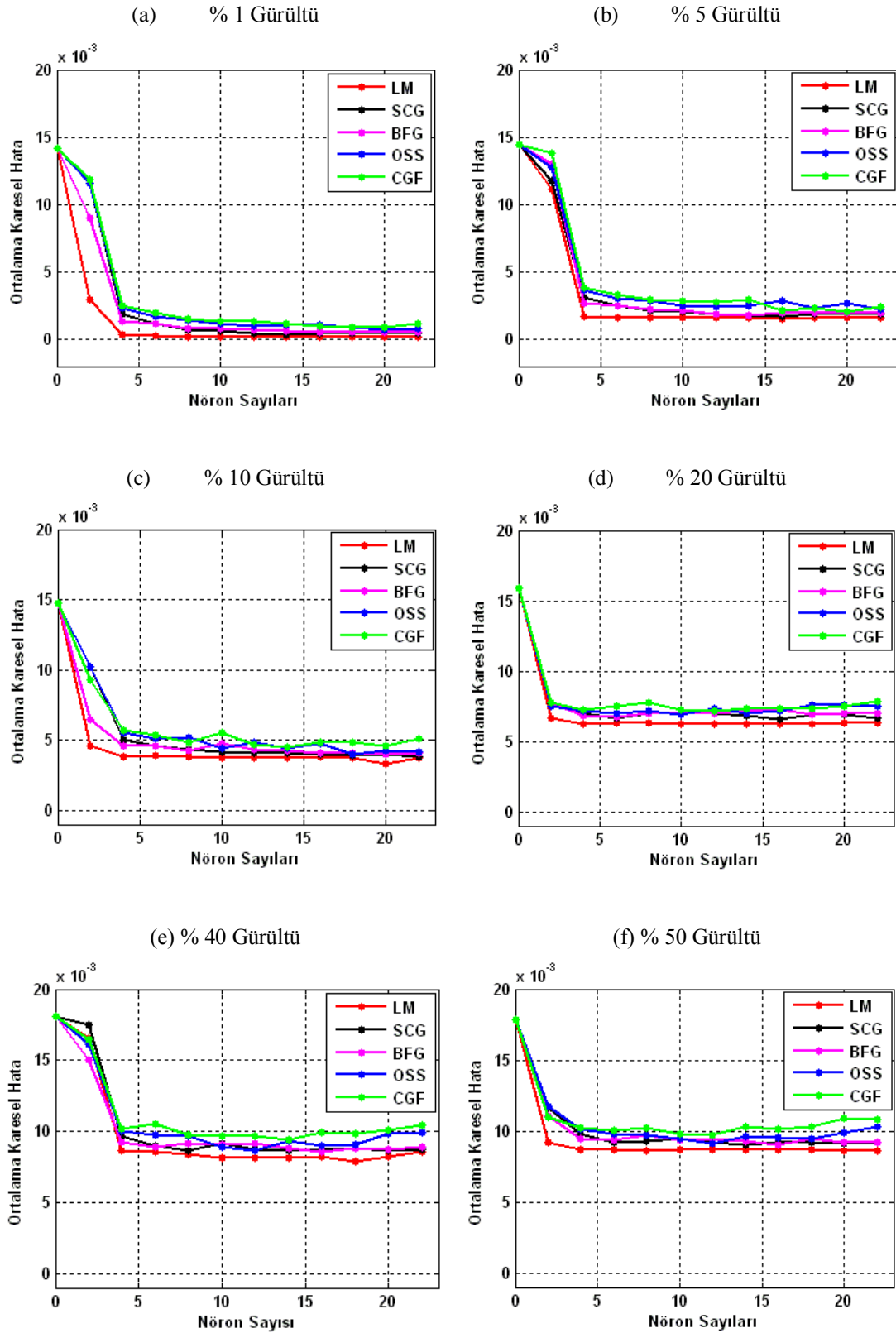


Şekil 4.23. %10 gürültü içeren soğrulmaya uğramış yapay dalgacıkların (100 ve 300 metredeki). a) Genlik spektrumları b) Spektral oranları ve Q kestirimi c) Wiener süzgeç yöntemi Q kestirimi

YSA yöntemi ile gürültü içeren yapay verilerin Q kestiriminde Şekil 4.15’de görülen yeraltı modeli kullanılmıştır. Gürültü seviyesi %1, 5, 10, 20, 40 ve 50 olmak üzere yapay veriler üretilmiştir. Yapay veri üretiminde baskın frekansı 50 Hz olan sıfır fazlı Ricker dalgacığı kullanılmıştır. Gürültü içermeyen yapay verilerin üretiminde olduğu gibi Q değeri 10 ile 110 arasında birer arttırmak üzere ve 24 kanallı jeofon hesap edilerek toplam 2323 gürültü içeren yapay sismogram elde edilmiştir. Yapay verinin %80’i eğitim verisi %20 si ise test verisi olarak kullanılmıştır. Şekil 4.24’de gürültü seviyelerine göre YSA modellerinin performansları görülmektedir.

Şekil 4.24’de öğrenme algoritmalarının (LM, BFG, CGF, OSS ve SCG) nöron sayılarına göre Ortalama Hata Karesi miktarları verilmiştir. Toplamda 360 YSA modeli oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre gürültü içermeyen yapay veride olduğu gibi en iyi performansı Levenberg-Marquart öğrenme algoritması vermiştir. Gürültü seviyesi arttıkça YSA modellerinin ortalama karesel hata miktarlarında artma meydana gelmektedir. Nöron sayısı 4 ve üstü modeller daha iyi sonuçlar vermektedir.

Tablo 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8’de gürültü içeren yapay verilerin öğrenme algoritmaları ve nöron sayıları ile oluşturulmuş YSA modellerinin eğitim ve test veri setindeki sayısal performans sonuçları görülmektedir. İlgili tablolarda gri renkli zeminler öğrenme algoritmasındaki en iyi sonucu göstermektedir. ‘\*’ işareti ise en iyi performanslı modelleri göstermektedir.



Şekil 4.24. Gürültü içeriklerine göre YSA yönteminin öğrenme algoritmalarına ait performans grafikleri ve modellerin nöron sayılarına karşılık göstermiş oldukları ortalama karesel hata miktarları. Gürültü içeriklerine göre; a) %1, b) %5, c) %10, d) %20, e)%40 ve f) %50

Tablo 4.3. % 1 gürültü içeren yapay veriler için öğrenme algoritmasına karşılık gelen nöron sayılarının eğitim ve test verilerindeki ortalama karesel hata. Gri renkli zeminler öğrenme algoritmasındaki en iyi sonucu göstermektedir. ‘\*’ işareti ise en iyi performanslı modeli göstermektedir

YSA yapısı		Algoritma				
		CGF	SCG	OSS	BFG	LM
Eğitim (Hata)	0 nöronlu	0,014480	0,014480	0,014480	0,014480	0,014480
	2 nöronlu	0,010859	0,011608	0,011058	0,008859	0,002940
	4 nöronlu	0,002175	0,001810	0,002096	0,001113	0,000324
	6 nöronlu	0,001736	0,001034	0,001585	0,001025	0,000195
	8 nöronlu	0,001263	0,000659	0,001260	0,000765	0,000122
	10 nöronlu	0,001147	0,000581	0,001073	0,000740	0,000125
	12 nöronlu	0,001172	0,000421	0,000812	0,000509	0,000110
	14 nöronlu	0,000855	0,000294	0,000907	0,000534	0,000107
	16 nöronlu	0,000722	0,000393	0,000908	0,000422	0,000106
	18 nöronlu	0,000765	0,000300	0,000710	0,000460	0,000113
	20 nöronlu	0,000692	0,000497	0,000528	0,000487	0,000106
	22 nöronlu	0,001008	0,000369	0,000600	0,000429	0,000103*
Test (Hata)	0 nöronlu	0,014207	0,014207	0,014207	0,014207	0,014207
	2 nöronlu	0,011808	0,011610	0,011608	0,009008	0,002964
	4 nöronlu	0,002528	0,0001850	0,002349	0,001366	0,000394
	6 nöronlu	0,001974	0,001170	0,001723	0,001169	0,000272
	8 nöronlu	0,001520	0,000720	0,001417	0,000842	0,000190
	10 nöronlu	0,001300	0,000630	0,001126	0,000793	0,000195
	12 nöronlu	0,001352	0,000480	0,000982	0,000689	0,000167
	14 nöronlu	0,001129	0,000370	0,001081	0,000608	0,000167
	16 nöronlu	0,000996	0,000470	0,001082	0,000506	0,000166
	18 nöronlu	0,000895	0,000460	0,000882	0,000580	0,000170
	20 nöronlu	0,000889	0,000550	0,000685	0,000544	0,000174
	22 nöronlu	0,001182	0,000440	0,000774	0,000553	0,000163*

Tablo 4.4. % 5 gürültü içeren yapay veriler için öğrenme algoritmasına karşılık gelen nöron sayılarının eğitim ve test verilerindeki ortalama karesel hata. Gri renkli zeminler öğrenme algoritmasındaki en iyi sonucu göstermektedir. '\*' işareti ise en iyi performanslı modeli göstermektedir

YSA yapısı		Algoritma				
		CGF	SCG	OSS	BFG	LM
Eğitim (Hata)	0 nöronlu	0,014058	0,014057	0,014057	0,014057	0,014603
	2 nöronlu	0,013603	0,011003	0,012603	0,012803	0,011210
	4 nöronlu	0,003627	0,003048	0,003608	0,002265	0,001705
	6 nöronlu	0,003154	0,002152	0,002903	0,002143	0,001544
	8 nöronlu	0,002767	0,002063	0,002764	0,002089	0,001465
	10 nöronlu	0,002699	0,001833	0,002225	0,002092	0,001481
	12 nöronlu	0,002550	0,001579	0,002180	0,001787	0,001556
	14 nöronlu	0,002632	0,001571	0,002184	0,001761	0,001485
	16 nöronlu	0,001713	0,001472	0,002570	0,001793	0,001305*
	18 nöronlu	0,001907	0,001473	0,002174	0,001882	0,001515
	20 nöronlu	0,001886	0,001851	0,001879	0,001811	0,001528
	22 nöronlu	0,002162	0,001703	0,001772	0,001853	0,001510
Test (Hata)	0 nöronlu	0,014427	0,014427	0,014427	0,014427	0,014427
	2 nöronlu	0,013773	0,011770	0,012773	0,012973	0,011129
	4 nöronlu	0,003835	0,003160	0,003656	0,002673	0,001701
	6 nöronlu	0,003313	0,002510	0,003062	0,002502	0,001611
	8 nöronlu	0,002915	0,002110	0,002812	0,002237	0,001585
	10 nöronlu	0,002887	0,002020	0,002513	0,002180	0,001582
	12 nöronlu	0,002776	0,001910	0,002406	0,001913	0,001591
	14 nöronlu	0,002939	0,001780	0,002491	0,001818	0,001577
	16 nöronlu	0,002131	0,001730	0,002832	0,001926	0,001523*
	18 nöronlu	0,002294	0,001860	0,002281	0,001979	0,001569
	20 nöronlu	0,002089	0,001950	0,002685	0,001944	0,001574
	22 nöronlu	0,002404	0,001870	0,002196	0,001975	0,001585

Tablo 4.5. % 10 gürültü içeren yapay veriler için öğrenme algoritmasına karşılık gelen nöron sayılarının eğitim ve test verilerindeki ortalama karesel hata. Gri renkli zeminler öğrenme algoritmasındaki en iyi sonucu göstermektedir. '\*' işareti ise en iyi performanslı modeli göstermektedir

YSA yapısı		Algoritma				
		CGF	SCG	OSS	BFG	LM
Eğitim (Hata)	0 nöronlu	0,014282	0,014282	0,014282	0,014282	0,014933
	2 nöronlu	0,008862	0,009862	0,009862	0,006062	0,004801
	4 nöronlu	0,005297	0,004652	0,005127	0,004193	0,004023
	6 nöronlu	0,004902	0,004140	0,004664	0,004132	0,004113
	8 nöronlu	0,004592	0,004028	0,004894	0,003948	0,003911
	10 nöronlu	0,005105	0,003782	0,004050	0,004333	0,003958
	12 nöronlu	0,004408	0,003831	0,004557	0,004038	0,003895
	14 nöronlu	0,004011	0,003588	0,003966	0,003726	0,004002
	16 nöronlu	0,004654	0,003752	0,004536	0,003889	0,003896
	18 nöronlu	0,004538	0,003625	0,003726	0,003739	0,003886
	20 nöronlu	0,004095	0,003392	0,004107	0,003388	0,003082*
	22 nöronlu	0,004957	0,003445	0,004060	0,003750	0,003433
Test (Hata)	0 nöronlu	0,014723	0,014723	0,014723	0,014723	0,014723
	2 nöronlu	0,009257	0,010257	0,010257	0,006457	0,004613
	4 nöronlu	0,005677	0,005032	0,005507	0,004573	0,003842
	6 nöronlu	0,005330	0,004569	0,005092	0,004560	0,003909
	8 nöronlu	0,004858	0,004295	0,004160	0,004214	0,003784
	10 nöronlu	0,005515	0,004192	0,004459	0,004743	0,003663
	12 nöronlu	0,004696	0,004118	0,004844	0,004326	0,003758
	14 nöronlu	0,004496	0,004073	0,004451	0,004211	0,003771
	16 nöronlu	0,004885	0,003983	0,004767	0,004120	0,003786
	18 nöronlu	0,004843	0,003929	0,004030	0,004043	0,003741
	20 nöronlu	0,004563	0,003960	0,004274	0,003955	0,003288*
	22 nöronlu	0,005125	0,003813	0,004128	0,004118	0,003734

Tablo 4.6. % 20 gürültü içeren yapay veriler için öğrenme algoritmasına karşılık gelen nöron sayılarının eğitim ve test verilerindeki ortalama karesel hata. Gri renkli zeminler öğrenme algoritmasındaki en iyi sonucu göstermektedir. '\*' işareti ise en iyi performanslı modeli göstermektedir

YSA yapısı \ Algoritma		CGF	SCG	OSS	BFG	LM
Eğitim (Hata)	0 nöronlu	0,016067	0,016067	0,016067	0,016067	0,015769
	2 nöronlu	0,007054	0,006830	0,006854	0,006930	0,006072
	4 nöronlu	0,006781	0,006689	0,006710	0,006230	0,005531
	6 nöronlu	0,007127	0,006514	0,006588	0,006206	0,005565
	8 nöronlu	0,007524	0,006501	0,006826	0,006520	0,005486
	10 nöronlu	0,006942	0,006560	0,006587	0,006611	0,005457
	12 nöronlu	0,006816	0,006480	0,006964	0,006488	0,005468
	14 nöronlu	0,006678	0,006935	0,006933	0,006973	0,005172*
	16 nöronlu	0,006949	0,006085	0,006831	0,006822	0,005456
	18 nöronlu	0,007198	0,006244	0,006886	0,005258	0,005573
	20 nöronlu	0,007163	0,006400	0,007274	0,006495	0,005517
	22 nöronlu	0,007600	0,006386	0,007485	0,006791	0,005399
Test (Hata)	0 nöronlu	0,015865	0,015865	0,015865	0,015865	0,015865
	2 nöronlu	0,007750	0,007650	0,007550	0,007750	0,006693
	4 nöronlu	0,007241	0,006996	0,007171	0,006837	0,006264
	6 nöronlu	0,007547	0,006686	0,007009	0,006777	0,006317
	8 nöronlu	0,007744	0,006981	0,007146	0,007000	0,006286
	10 nöronlu	0,007269	0,007046	0,006913	0,007097	0,006254*
	12 nöronlu	0,007155	0,006977	0,007303	0,006985	0,006259
	14 nöronlu	0,007368	0,006845	0,007023	0,007183	0,006272
	16 nöronlu	0,007350	0,006548	0,007132	0,007285	0,006265
	18 nöronlu	0,007320	0,006906	0,007607	0,006920	0,006277
	20 nöronlu	0,007481	0,006878	0,007592	0,006973	0,006318
	22 nöronlu	0,007864	0,006634	0,007549	0,007039	0,006321



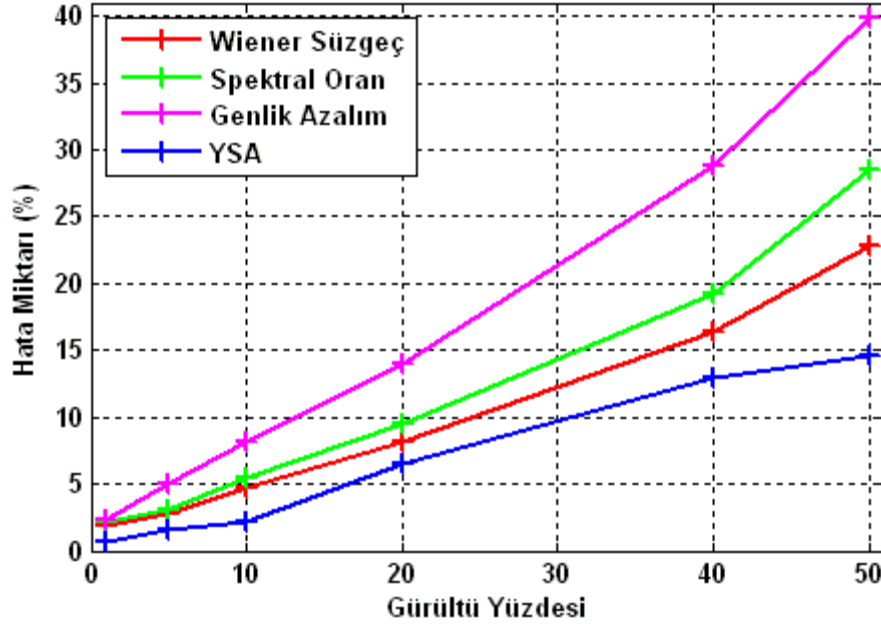
Tablo 4.7. % 40 gürültü içeren yapay veriler için öğrenme algoritmasına karşılık gelen nöron sayılarının eğitim ve test verilerindeki ortalama karesel hata. Gri renkli zeminler öğrenme algoritmasındaki en iyi sonucu göstermektedir. '\*' işareti ise en iyi performanslı modeli göstermektedir

YSA yapısı		Algoritma				
		CGF	SCG	OSS	BFG	LM
Eğitim (Hata)	0 nöronlu	0,017243	0,017322	0,017243	0,017322	0,018467
	2 nöronlu	0,014621	0,016705	0,015221	0,014205	0,016955
	4 nöronlu	0,008906	0,007906	0,008854	0,008204	0,008499
	6 nöronlu	0,009084	0,007940	0,008211	0,008161	0,008430
	8 nöronlu	0,008839	0,007900	0,008112	0,008024	0,008142
	10 nöronlu	0,008300	0,007932	0,007931	0,007710	0,008014
	12 nöronlu	0,008347	0,007887	0,007756	0,007845	0,008028
	14 nöronlu	0,008402	0,007702	0,007819	0,007765	0,008084
	16 nöronlu	0,008453	0,007717	0,007861	0,007829	0,007964
	18 nöronlu	0,008499	0,007795	0,007712	0,007836	0,007741
	20 nöronlu	0,008695	0,007743	0,007977	0,007712	0,007632*
	22 nöronlu	0,008636	0,007770	0,007957	0,007770	0,007683
Test (Hata)	0 nöronlu	0,018072	0,018072	0,018072	0,018072	0,018072
	2 nöronlu	0,016511	0,017511	0,016111	0,015011	0,016531
	4 nöronlu	0,010197	0,009627	0,010046	0,009225	0,008646
	6 nöronlu	0,010504	0,008987	0,009732	0,008909	0,008563
	8 nöronlu	0,009766	0,008672	0,009639	0,009197	0,008367
	10 nöronlu	0,009653	0,009119	0,008884	0,009097	0,008179
	12 nöronlu	0,009703	0,008767	0,008613	0,009125	0,008144
	14 nöronlu	0,009417	0,008635	0,009334	0,008798	0,008172
	16 nöronlu	0,009907	0,008723	0,009015	0,008535	0,008224
	18 nöronlu	0,009826	0,008857	0,009038	0,008797	0,007919*
	20 nöronlu	0,010081	0,008645	0,009864	0,008714	0,008210
	22 nöronlu	0,010470	0,008713	0,009932	0,008944	0,008529

Tablo 4.8. % 50 gürültü içeren yapay veriler için öğrenme algoritmasına karşılık gelen nöron sayılarının eğitim ve test verilerindeki ortalama karesel hata. Gri renkli zeminler öğrenme algoritmasındaki en iyi sonucu göstermektedir. '\*' işareti ise en iyi performanslı modeli göstermektedir

YSA yapısı		Algoritma				
		CGF	SCG	OSS	BFG	LM
Eğitim (Hata)	0 nöronlu	0,017925	0,017919	0,017925	0,017919	0,017844
	2 nöronlu	0,010175	0,010571	0,010975	0,010071	0,008710
	4 nöronlu	0,009333	0,009094	0,009009	0,009173	0,008279
	6 nöronlu	0,009203	0,008444	0,009008	0,008686	0,008060
	8 nöronlu	0,009537	0,008278	0,008986	0,008750	0,008239
	10 nöronlu	0,009220	0,008471	0,008655	0,008676	0,008162
	12 nöronlu	0,009213	0,008236	0,008102	0,008544	0,007918
	14 nöronlu	0,009604	0,008377	0,008407	0,008366	0,008268
	16 nöronlu	0,008938	0,007878	0,008572	0,008266	0,008236
	18 nöronlu	0,009203	0,007806	0,007940	0,008273	0,007868
	20 nöronlu	0,009310	0,007990	0,008564	0,008232	0,007888
	22 nöronlu	0,009491	0,008013	0,008530	0,008270	0,007646*
Test (Hata)	0 nöronlu	0,017870	0,017870	0,017870	0,017870	0,017870
	2 nöronlu	0,011012	0,011656	0,011715	0,011077	0,009233
	4 nöronlu	0,010221	0,009759	0,010096	0,009438	0,008666
	6 nöronlu	0,010072	0,009240	0,009777	0,009381	0,008694
	8 nöronlu	0,010245	0,009261	0,009695	0,009734	0,008616*
	10 nöronlu	0,009828	0,009483	0,009463	0,009388	0,008682
	12 nöronlu	0,009710	0,009186	0,009100	0,009494	0,008681
	14 nöronlu	0,010312	0,009070	0,009615	0,009259	0,008693
	16 nöronlu	0,010165	0,009179	0,009578	0,009067	0,008709
	18 nöronlu	0,010288	0,009164	0,009426	0,009431	0,008732
	20 nöronlu	0,010920	0,009151	0,009874	0,009194	0,008645
	22 nöronlu	0,010850	0,009166	0,010289	0,009223	0,008618

Şekil 4.25’de çalışmada kullanılan kestirim yöntemlerinin %1, 5, 10, 20, 40 ve 50 gürültü oranları için yüzdesel hata miktarları görülmektedir. Tablo 4.8’de yüzdesel hata miktarlarının sayısal değerleri verilmiştir.



Şekil 4.25. Gürültü miktarlarına göre yöntemlerin hata miktarları

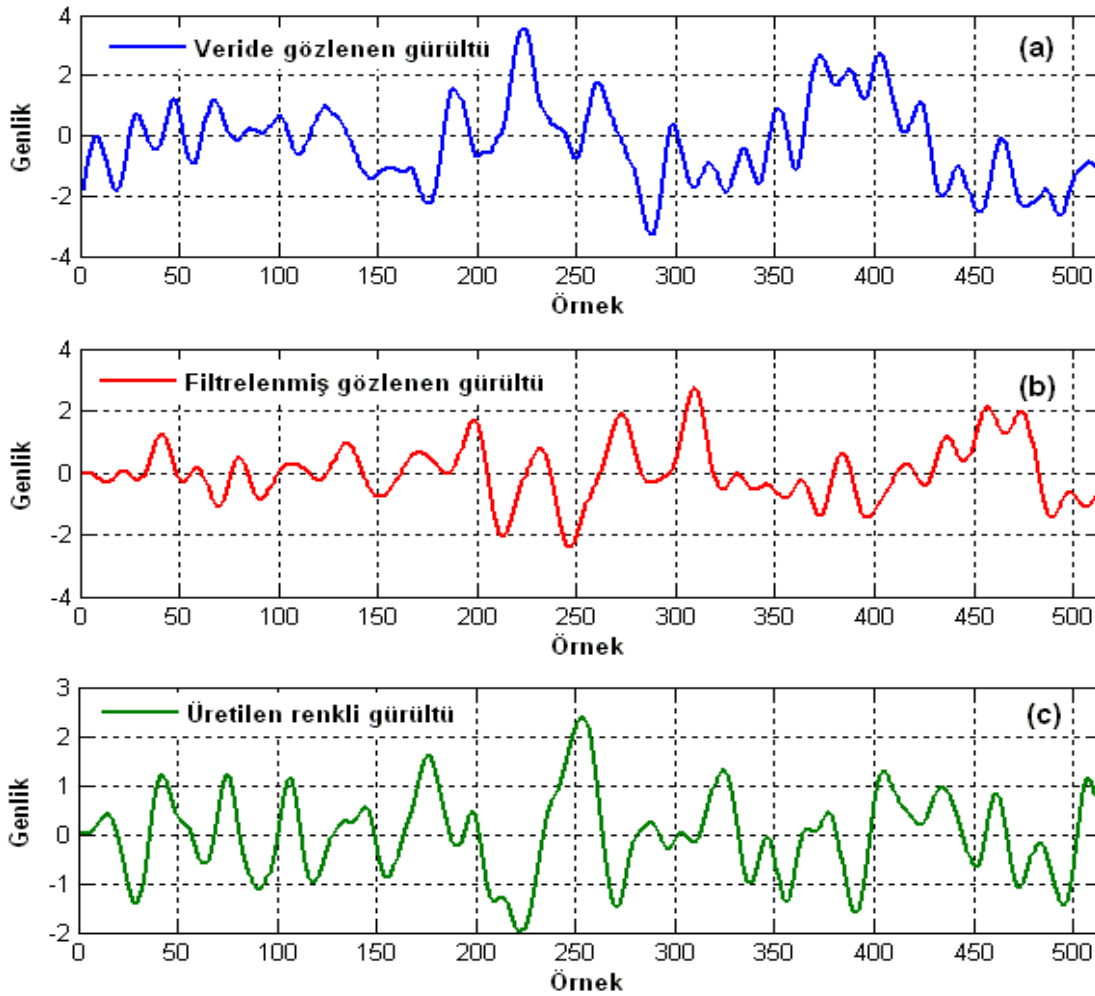
Hesaplanan hata miktarları birçok deneme sonrasında elde edilen değerlerin ortalaması alınarak oluşturulmuştur. Tablo 4.9 ve Şekil 4.25’den görüleceği üzere gürültü miktarı arttıkça kestirim yöntemlerindeki hata miktarı artmaktadır. YSA yöntemi diğer kestirim yöntemlerine göre gürültü içeren verilerde daha az hata yüzdesine sahiptir. Genlik azalım yöntemi en yüksek hata yüzdesine sahiptir. Bu durum genli azalım yönteminin gürültüye oldukça duyarlı olduğunu göstermektedir. YSA yöntemini sırasıyla Wiener süzgeç yaklaşımı, spektral oran yöntemi ve genlik azalım yöntemi takip etmektedir.

Tablo 4.9. Kestirim yöntemlerinin gürültü yüzde değerlerine göre kestirim hata (%) miktarı

Gürültü (%)	YSA	Wiener Süzgeç	Spektral Oran	Genlik Azalım
1	0,608	1,832	2,211	2,273
5	1,630	2,813	3,116	5,002
10	2,106	4,683	5,429	8,170
20	6,504	8,190	9,508	14,060
40	13,022	16,367	19,243	28,821
50	14,634	22,827	28,536	39,941

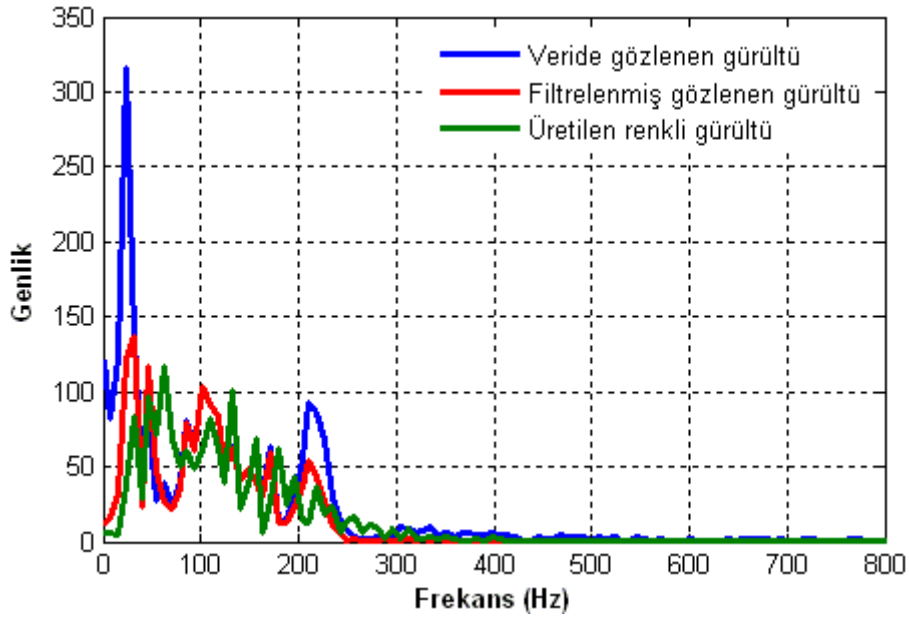
#### 4.5. Arazi Verilerinin Özelliklerine Uygun YSA Modelinin Oluşturulması

YSA yönteminin Q kestirimi amacıyla arazide toplanmış sismik yansıma verilerine uygulanabilmesi için yapay verilerin arazide toplanan verilerin genel olarak özelliklerini taşıması gerekmektedir. Arazi verisinin genel özelliklerini taşıyan yapay veriler ile oluşturulan YSA modeli gerçek veride Q kestiriminde kullanılabilir. Bölüm 5’de çalışma alanı ve arazide yapılan sismik yansıma çalışmaları ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Bu bilgilere ilave olarak yapay verilerde kullanılmak üzere sahada toplanan sismik yansıma verilerinin gürültü özellikleri incelenmiştir. Şekil 4.26’da zaman ortamında renkli gürültüler görülmektedir. Mavi olarak görülen veri arazi verisinde gözlenen gürültü kayıdır.



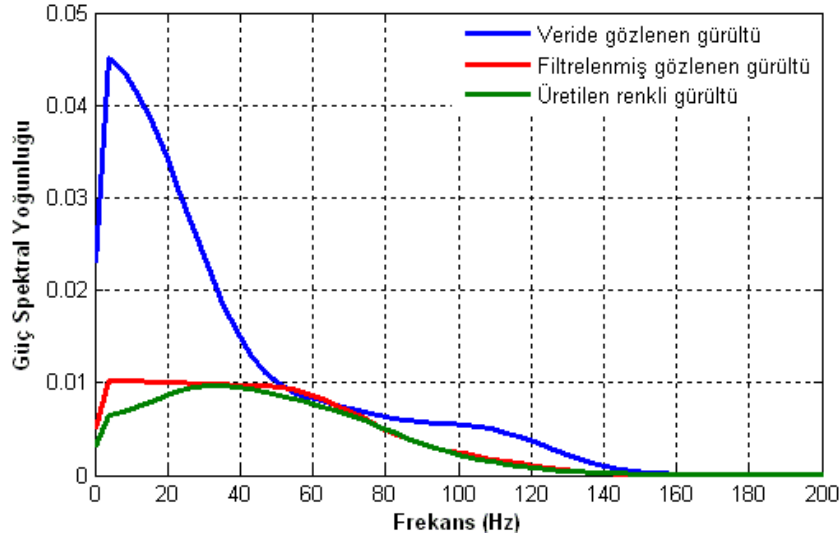
Şekil 4.26. Zaman ortamında a) Arazide toplanan kayıtlarda gözlenen veriye ait gürültü b) Filtrelenmiş arazide gözlenen gürültü c) Üretilen renkli gürültü

Arazide toplanan kayıtlarda gözlenen gürültünün genlik spektrumu şekil 4.27’de görülmektedir. Gerçek veride gözlenen gürültülerin belirli frekans aralığına sahip renkli tip gürültü özelliği gösterdiği görülmektedir. Arazi verisinde gözlenen gürültünün spektrumunda diğer gürültülü kısımlara nazaran baskın olan kısım için filtreleme işlemi yapılmıştır. Yapılan filtreleme sonucu elde edilen veri zaman (Şekil 4.26) ve frekans ortamında (Şekil 4.27) kırmızı çizgi ile gösterilmektedir.



Şekil 4.27. Gürültülere ait genlik spektrumları. Mavi çizgi: Arazi verisinde gözlenen gürültüyü, kırmızı çizgi: filtrelenmiş gözlenen gürültüyü ve yeşil çizgi: üretilen renkli gürültüyü göstermektedir

Arazide toplanmış ve filtrelenmiş gürültü kayıtları için Welch yöntemini kullanarak Güç Spektral Yoğunluğu (Power Spectral Density - PSD) hesaplanmıştır (Şekil 4.28). Güç spektrumu, Fourier dönüşümünü takip eden bir ortalama alma süreci sonunda hesaplanırsa, bu işlem ortalama periyodogram olarak adlandırılmaktadır. Ortalama alma işlemi biri diğerini örtecek şekilde parçaların ayrı ayrı işlenip sonuçlarının ortalamasının alınması şeklinde uygulanır. Ortalama periyodogram değerlendirilmesi için kullanılan en popüler yöntemlerden birisi Welch yöntemidir. Bu yöntemde zaman serisinin üst üste çıkışacak şekilde bölümlere ayrılır. Her bölümün periodogramının ortalaması alınır. Yöntem klasik spektral kestirim yöntemi olarak bilinmektedir (Welch, 1967; Stoica, 1997).



Şekil 4.28. Welch yöntemi kullanılarak hesaplanan güç yoğunluğu spektrumu

Şekil 4.28'de mavi ile görülen çizgi arazi verisindeki gürültüye ait güç yoğunluğu spektrumudur (GYS). Kırmızı ise arazi verisindeki gürültüye filtre uygulanmış verinin GYS'dir. Yapay verilerin oluşturulması için üretilecek renkli gürültünün Şekil 4.28'de görülen kırmızı çizgi şeklinde olması beklenmektedir. Üretilecek renkli gürültü, kırmızı GYS karakterinde ise arazi verisindeki renkli gürültü özelliğini taşıyacaktır. Bu durumda aynı filtre güç spektrumu gibi özellikleri ile beyaz gürültü kullanılarak renkli gürültü üretilmektedir (Ergintav 1993; Ergintav 1997). Şekil 4.26 ve şekil 4.27'de üretilen renkli gürültünün zaman ve frekans ortamında şekli görülmektedir (yeşil çizgi). Üretilen renkli gürültünün Welch yaklaşımı ile hesaplanan GYS özellikleri ile istenen (kırmızı çizgi) GYS oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu durumda üretilecek renkli gürültüler istenen karakterde olacaktır.

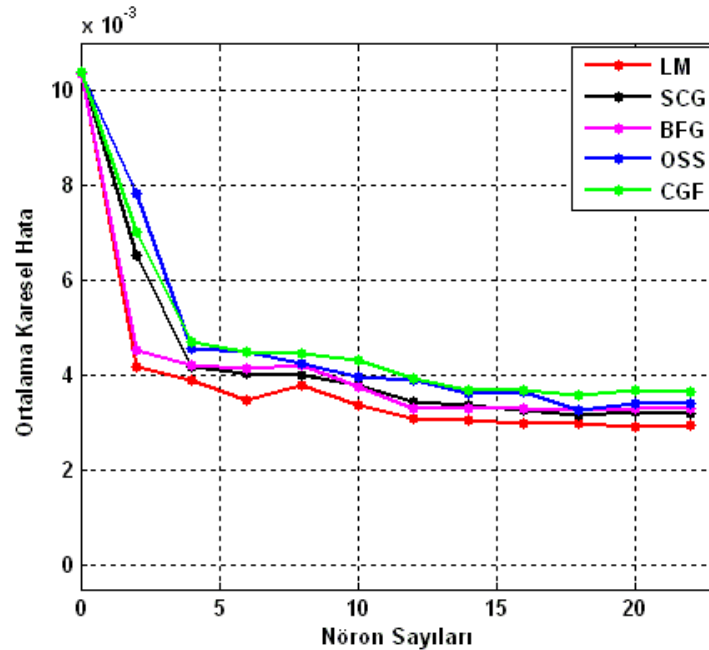
YSA yöntemi Q parametresinin kestiriminde gürültü içeren ve içermeyen durumlar için oldukça başarılı sonuçlar vermiştir. En uygun modeli bulmak için birçok testler yapılmıştır. Bu testler sonucunda en uygun modelde girdi 3 parametreden oluşmaktadır. Gerçek verilerden Q kestirimi için oluşturulacak YSA modelinde önceki testlerde en iyi sonuçları veren girdi parametreleri kullanılmıştır.

YSA yönteminin uygulanmasında ilk aşamalardan biri veri setini eğitim ve test olmak üzere ikiye ayırmaktır. Eğitim ve test veri seti belirlendikten sonra en uygun

YSA modeli araştırılır. En iyi sonuçları veren model gerçek veri setine uygulanır. Yapay verilerin üretiminde kullanılan değerler aşağıdadır;

- Frekans; 30, 50 ve 70 Hz
- Ortamın Hızı; 1400, 1700 ve 2400 m/sn
- Yakın İz Mesafesi; 250, 300, 350 ve 400 metre
- Uzak İz Mesafesi; Yakın İz Mesafesi + 5, 10, 20, 30, 40, 50, 80 ve 100
- Q Değerleri; 5, 6, 7, 8,.....28, 29 ve 30
- Toplamda sönüme uğramış dalgacık sayısı = 3 (Frekans) x 3 (Ortamın Hızı) x 4 (Yakın İz Mesafesi) x 8 (Uzak İz Mesafesi) x 26 (Q Değeri) = 7488

Üretilen yapay verilerin %80'i (5990 yapay iz) eğitim verisi, %20'si (1498 yapay iz) ise test verisi olarak kullanılmıştır. Gürültü içeren ve içermeyen yapay veri setlerinde kullanılan eğitim algoritmaları kullanılmıştır. Şekil 4.29'da bahsi geçen eğitim algoritmalarının nöron sayılarına karşılık ortalama karesel hata miktarı görülmektedir. Benzer şekilde tablo 4.10'da eğitim algoritmalarına ait eğitim ve test sonuçlarının nöron sayılarına karşılık ortalama karesel hata değerleri görülmektedir. Buna göre en iyi sonuçları Levenberg-Marquardt eğitim algoritmasına ait 20 nöronlu model vermektedir.



Şekil 4.29. Arazi verilerinin özelliklerinde üretilen yapay verilerin YSA öğrenme algoritmalarına ait performans grafikleri. Modellerin nöron sayılarına karşılık göstermiş oldukları ortalama karesel hata miktarları

Tablo 4.10. Arazi verilerinin özelliklerinde üretilen yapay veriler için öğrenme algoritmasına karşılık gelen nöron sayılarının eğitim ve test verilerindeki ortalama karesel hata. Gri renkli zeminler öğrenme algoritmasındaki en iyi sonucu göstermektedir. ‘\*’ işareti ise en iyi performanslı modeli göstermektedir

YSA yapısı		Algoritma				
		CGF	SCG	OSS	BFG	LM
Eğitim (Hata)	0 nöronlu	0,009879	0,009879	0,009879	0,009879	0,010530
	2 nöronlu	0,006927	0,006627	0,007827	0,004527	0,004366
	4 nöronlu	0,004564	0,004119	0,004494	0,004260	0,004142
	6 nöronlu	0,004289	0,003527	0,004351	0,003989	0,003500
	8 nöronlu	0,004376	0,003912	0,004138	0,003912	0,003855
	10 nöronlu	0,004187	0,003564	0,003732	0,003515	0,003340
	12 nöronlu	0,003559	0,003282	0,003708	0,003189	0,003046
	14 nöronlu	0,003491	0,003168	0,003446	0,003106	0,002982
	16 nöronlu	0,003345	0,003143	0,003527	0,003180	0,002887
	18 nöronlu	0,003132	0,002919	0,002920	0,003077	0,002880
	20 nöronlu	0,003607	0,003074	0,003289	0,003070	0,002764
	22 nöronlu	0,003440	0,002928	0,003143	0,003033	0,002716*
Test (Hata)	0 nöronlu	0,010370	0,010379	0,010371	0,010367	0,010377
	2 nöronlu	0,007036	0,006536	0,007836	0,004536	0,004192
	4 nöronlu	0,004702	0,004175	0,004550	0,004216	0,003885
	6 nöronlu	0,004505	0,003844	0,004507	0,004135	0,003484
	8 nöronlu	0,004452	0,003989	0,004254	0,004208	0,003778
	10 nöronlu	0,004309	0,003806	0,003973	0,003757	0,003377
	12 nöronlu	0,003935	0,003457	0,003883	0,003305	0,003097
	14 nöronlu	0,003681	0,003358	0,003636	0,003306	0,003056
	16 nöronlu	0,003685	0,003283	0,003667	0,003310	0,002986
	18 nöronlu	0,003584	0,003270	0,003271	0,003284	0,002982
	20 nöronlu	0,003695	0,003222	0,003406	0,003287	0,002920*
	22 nöronlu	0,003640	0,003198	0,003394	0,003293	0,002949



Arazide toplanmış olan yüksek ayrımlı sismik yansıma verilerinden Q kestirimi için 20 nöronlu Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması ile oluşturulan YSA modeli kullanılmıştır. Gerçek arazi verisinde yakın ve uzak iz dalgacıklarının YSA girdisi olarak kullanılacak dalga genişliği farkı, enerji farkları ve dalgacıkların arasındaki mesafe değerleri bulunmuştur. Bu 3 değer YSA modelinde girdi olarak kullanılarak arazide toplanmış sismik yansıma verilerinden Q parametresinin kestirimi yapılmıştır.

#### **4.6. Yapay Verilerde Q Kestirim Yöntemlerinin Karşılaştırılması**

Yapay veriler, yöntemlerin test edilmesi, karşılaştırılması ve gerçek sismik yansıma verileri için kriterlerin çıkarılması amacıyla kullanılmıştır. Kestirimde kullanılan yöntemler için MATLAB ortamında programlar yazılarak yapay verilerde test edilmiştir. Gürültü içermeyen yapay verilerde en iyi kestirim sonuçlarını YSA yöntemi vermiştir. Bu yöntemi sırasıyla Wiener süzgeç, spektral oran ve genlik azalım yöntemi takip etmektedir. Gürültü içeriklerine göre yapılan kestirim sonuçlarında yine YSA yöntemi diğer yöntemlere nazaran daha yüksek kestirim başarısı göstermektedir. Yapay verideki gürültü içeriğinin artmasıyla yöntemlerin başarı oranları azalmaktadır. Özellikle genlik azalım yöntemi diğer yöntemlere nazaran gürültüye daha duyarlı olduğu görülmüştür. Wiener süzgeç yöntemi gürültü içeren verilerin kestirimde spektral oran yöntemine göre nispeten daha yüksek kestirim başarısı göstermektedir. Kestirim yöntemlerinin yapay verideki başarı performansları gerçek veride de benzer şekilde olması düşünülmektedir.

## **BÖLÜM 5. KESTİRİM YÖNTEMLERİNİN GERÇEK ARAZİ VERİLERİNE UYGULANMASI**

Bu bölümde İstanbul ili, Arnavutköy ilçesi, Yeniköy mahallesinde toplanan yüksek ayrımlı sismik yansıma verilerine genlik azalım, spektral oran, Wiener süzgeç ve YSA yöntemleri kullanılarak Q parametre kestirimi yapılmıştır. İlk olarak çalışma alanının coğrafik konumu, morfolojisi ve diğer çevresel özellikleri tanımlanmış, bölgenin ve çalışma alanının jeolojisi anlatılmıştır. Çalışmada kullanılan sismik yansıma hattının ve toplanan verilerin özellikleri belirtilmiş ve toplanan veriye bahsi geçen kestirim yöntemleri uygulanmıştır. Her bir yöntem için elde edilen sonuçlara standart sapma ve güven aralığı analizleri yapılarak yöntemlerin performansları incelenmiştir. Kullanılan verilerin gürültü seviyeleri, yapay ve gerçek verideki yöntemlerin performansları ve istatistik analiz sonuçları dikkate alınarak çalışma alanı için Q kestirimleri tanımlanmıştır. Çalışma alanında önceden yapılan çalışmalar sonucunda elde edilmiş olan litoloji ve bazı fiziksel özellikler ile kestirilen Q değerlerinin ilişkisi incelenmiştir.

### **5.1. Çalışma Alanının Coğrafik Konumu ve Ulaşım**

Çalışma alanı İstanbul'un Avrupa yakasında yer alan Arnavutköy ilçesine bağlı Yeniköy mahallesinde yer almakta ve deniz seviyesinden yaklaşık 20-30 metre yükseklikte bulunmaktadır (Şekil 5.1). Çalışmada kullanılan yüksek ayrımlı sismik yansıma hattı doğu – batı uzanımlı olup doğusunda maden ocakları ile bu maden ocaklarının işletilmesinden kaynaklı oluşmuş gölcükler bulunmaktadır. Batısında Karaburun Mahallesi, güneyinde Yeniköy yerleşim alanı ve kuzeyinde ise Karadeniz yer almaktadır. Çalışma alanına, Yeniköy üzerinden İstanbul'a yaklaşık 65 km'lik bir asfalt yol ile Arnavutköy'den geçilerek ulaşılır.



### 5.3. İnceleme Alanının Jeolojik Özellikleri

#### 5.3.1. Genel jeoloji

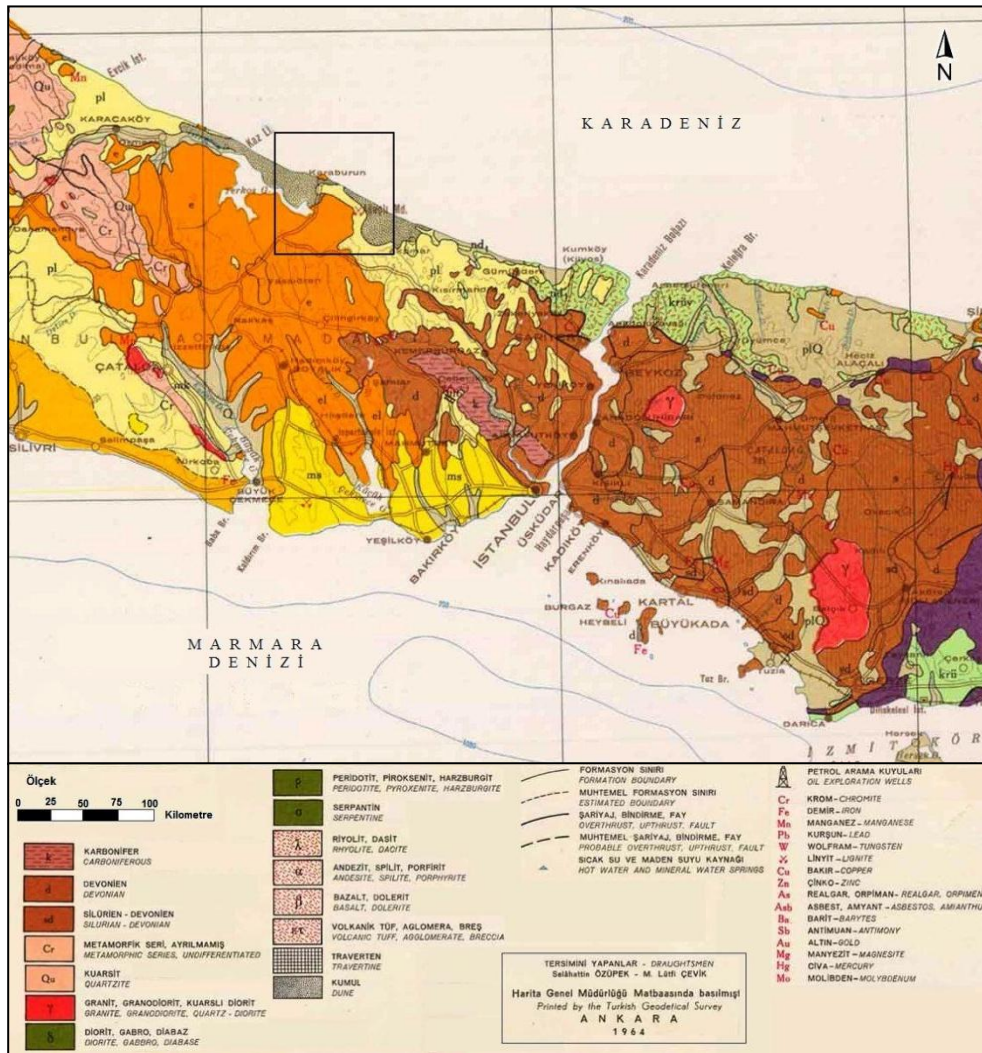
Yeniköy çalışma alanı Rodop-Pontid tektonik birliği içerisinde yer almaktadır. Trakya havzasının temelini oluşturan Istranca Masifi batı Karadeniz kıyı şeridi boyunca Bulgaristan ve Türkiye'de uzanan metamorfik ve magmatik kayalardan oluşmaktadır. Istranca Masifi'nin doğusunda yer alan İstanbul Zonu Neoproterozoyik yaşta bir temel ve bu temeli örten kaim ve devamlı bir Paleozoyik serisinden oluşur. Istranca Masifi ile İstanbul Zonu'nun yan yana gelişi, Batı Karadeniz havzasının açılımına bağlı olarak Kretase ortasında gerçekleşmiştir (Okay ve Tüysüz 1999; Okay 2009).

Bölgede Paleozoyik'ten (505 milyon yıl) günümüze kadar tortul devreler şeklinde birçok kaya grubu meydana gelmiştir. Her biri ayrı bir havzalaşma ürünü olan bu gruplar, litostratigrafik birim ayırtlama kuralları gözetilerek adlanmış ve formasyonlara ayırtlanmıştır. Şekil 5.2'de MTA tarafından hazırlanan jeoloji haritası görülmektedir. Jeoloji haritasında çalışma alanı ve yakın çevresi dikdörtgen alan içerisinde bulunmaktadır.

Çalışma alanı ve yakın çevresi için kaya – stratigrafi birimlerine ait bilgiler Ergintav vd. (2011), Özgül vd.(2005; 2011), Turnacıgil (2008) ve literatürden derlenerek kısaca tanımlanmıştır.

#### 5.3.2. Soğucak formasyonu (Tks)

Kırklareli Grubu'nun ayırtman kaya türlerinden birini oluşturmaktadır. Ünal (1967) ve Sümengen ve Terlemez (1987) tarafından adlandırılmıştır. Soğucak Kireçtaşı, resif ortamının çeşitli fasiyeslerini temsil eden karbonatlardan oluşmaktadır. Soğucak Kireçtaşı, resif ortamının çeşitli fasiyeslerini temsil eden istifleri kapsar. Formasyon beyaz, açık krem, orta-kalın çok kalın katmanlı masif görünüşlü, bol makro ve bentonik mikrofosilli kireçtaşlarından oluşmaktadır. Formasyonun yaşı içerisindeki fosillere göre Orta-Üst Eosen olarak tespit edilmiştir (Keskin, 1974).



Şekil 5.2. Genel jeolojisi haritası (MTA, 2002)

### 5.3.3. Ceylan formasyonu (Tkc)

Birimi Ünal 1967'de Ceylan Şeyli, Keskin 1974'de ise Ceylan formasyonu olarak tanıtmışlardır. Başlıca marn, killi kireçtaşı, kireçli kiltası ardalanmasından oluşur. Formasyon tipik mostralarını K.Çekmece gölü kuzeyindeki Azatlı ve Baruthane çevresinde vermektedir. Birimin K.Çekmece kuzeybatısında yer alan Hoşdere, Bahçeşehir ve Tahtakale civarında geniş yüzlekleri bulunmaktadır. Formasyonun sınırı Karaburun formasyonu ile uyumsuzdur. Formasyon Soğucak formasyonu üzerine aşılal uyumsuzlukla geldiği görülmektedir (Sakıncı, 1994). Resif kireçtaşı ve resif gerisi fasiyesine oranla daha derinde olup, birim şelf ortamında çökelmiş ve kalınlığı yaklaşık 50 metredir.

#### 5.3.4. Pınarhisar formasyonu (Tp)

Keskin 1966 tarafından ilk olarak formasyon derecesinde tanımlanmıştır. Özgül 2005'e göre Pınarhisar formasyonu, kireç çimentolu çakıl taşı ara katkılı, oolitli, pelletoidli, çakıllı, kumlu kireçtaşı ve kumtaşından oluşmakta ve kireç kapsamı yüksek olan alt bölümünde beyaz krem rengi, orta katmanlı, oolitli, onkolitli, bol makro fosil kavkılı, alglı kireçtaşı ve çakıllı kireçtaşı egemen şeklinde tanımlamıştır. Birim kireç hamurlu çakıltaşı ve çakıllı kireç taşı ara katkılı olup yanal ve düşey geçişlidir. Birimin yaşı Umut(1983) ve Gökçen(1975) tarafından Erken Oligosen olarak tanımlanmıştır.

#### 5.3.5. Danişmen formasyonu (Td)

Yenimuhacir formasyonu (Holmes, 1961), Danişmen Şeyili (Ünal, 1967) ve Danişmen formasyonu (Umut vd., 1984) adlarıyla incelenmiş olup, yaygın olarak Danişmen formasyonu kullanılmıştır. Özgül vd.(2005) çalışmasında bu formasyonu 1) Süloğlu Şeyil Üyesi, 2) Gürpınar Üyesi, 3) Çantaköy Volkanit Üyesi ve 4) Ağaçalı Üyesi olmak üzere dörde ayırtlanmış olup büyük bölümü kumtaşı, çakıltaşı ve miltaşı ara katkılı, kiltası ve şeyillerden oluşan ve tuf-tüffit ve kömür (linyit) ara düzeylerini kapsamaktadır.

Bu çalışmada Yeniköy'ün incelenen kısmında formasyon İBB, 2006 tarafından üyelerine ayrılmadan tanımlanmaktadır. Formasyon Yeniköy'ün güneyinde Çukurçeşme formasyonu ile uyumsuz olarak örtülmektedir. Benzer şekilde Karaburun ucunda ise Eosen yaşlı Soğucak formasyonu ile uyumsuzluk göstermektedir.

#### 5.3.6. Çukurçeşme formasyonu (Tç)

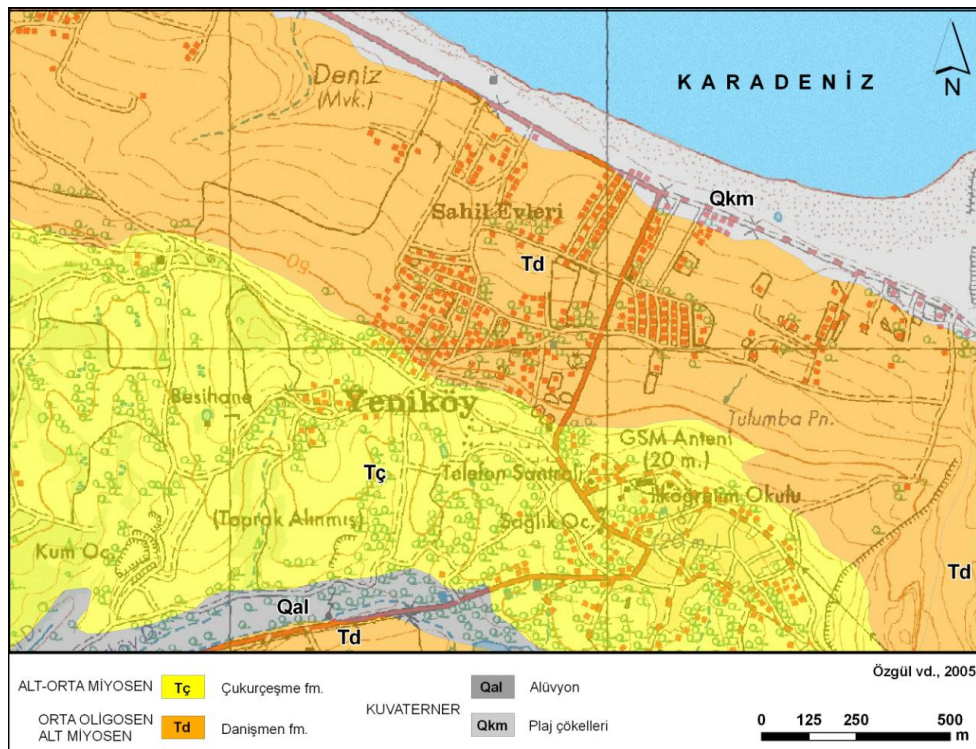
Sayar (1977) tarafından Çukurçeşme mevkiinde adlandırılmıştır. Çukurçeşme formasyonunda hakim litoloji gri, grimsi beyaz, kirli beyaz, omurgalı fosilli kum ve çakıllardan oluşmakta olup kum içinde yeşil, kahverengi renkli kili mercer seviyeleriyle marn seviyeleri olağandır. Oligosen yaşlı Danişmen Formasyonu ve

daha yaşlı birimleri ile açılmal uyumsuzluk göstermektedir. Çukurçeşme formasyonu akarsu ve delta ortamının göl ortamına gelmesi sonucu oluşmuş ve dereceli olarak göl ortamına geçmektedir. Kalınlığı Arıç 1955'e göre en fazla 40 – 50 metreyi bulduğu, 2-3 metreye kadar inceldiği gözlenmiştir. Ortalama kalınlık 15-20 metre olup kuzeyden güneye doğru artmaktadır. Arıç (1955) tarafından formasyonun yaşı içerisinde bulunan omurgalı fosillere göre Geç miyosen olarak belirlenmiştir.

Formasyon çalışma alanında Danişmen formasyonunu örtmektedir. Çalışma alanında Oktay vd. (1992) ve Özgül vd. (2005) Oligosen birimleri üzerinde formasyonu uyumsuz olarak göstermişlerdir.

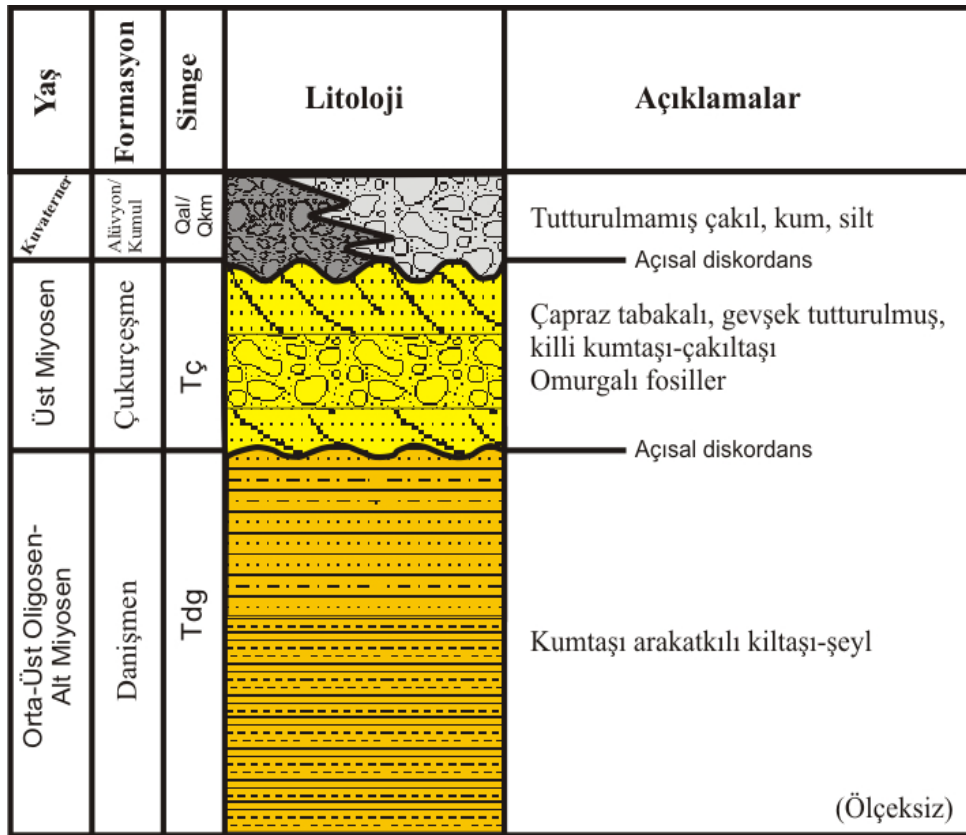
### 5.3.7. İnceleme alanın jeolojisi

Bölgede mostra veren en yaşlı birim Üst Eosen yaşlı Soğucak formasyonu olup üzerine uyumlu olarak Üst Eosen – Alt Miyosen yaşlı Ceylan ve Danişmen formasyonları gelmiştir. Şekil 5.3'de Ergintav vd. (2011) tarafından hazırlanan ve bu çalışmada kullanılan sismik yansıma çalışmasının da yapıldığı alanı gösteren jeoloji haritası görülmektedir.



Şekil 5.3. Yeniköy çalışma alanının jeoloji haritası (Ergintav vd., 2011)

Yeniköy yerleşim bölgesinde Çukurçeşme formasyonu, Danişmen Formasyonu, Alüvyon ve plaj çökelleri gözlenen birimlerdir. Şekil 5.3’de üye ayırmadan haritalanan Orta-Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Danişmen formasyonu kumtaşı ara seviyeli kıltaşı-şeyl litolojileri ile temsil edilmektedir. Üst Miyosen yaşlı Çukurçeşme formasyonu ise çapraz tabakalı, gevşek tutturulmuş killi kumtaşı-çakıltaşı seviyeleri ile temsil edilmekte olup Danişmen formasyonu üzerinde açısal uyumsuzluk göstermektedir (Ergintav vd., 2011). Çalışma alanında Kuvaterner-Güncel dönem, Alüvyon ve plaj kumulları ile tanımlanmaktadır. Şekil 5.3’de alanın güney kısmında görülen Alüvyon malzeme çakıl, kum, silt ve kil seviyelerinden oluşmaktadır. Çalışma alanının kuzey kısmında (Karadeniz kıyısında) tutturulmamış güncel plaj kumları görülmektedir. Şekil 5.4’de Ergintav vd. (2011) tarafından hazırlanan genelleştirilmiş dikme kesit görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan sismik yansıma hattının bulunduğu kesim Danişmen formasyonun içinde kalmaktadır.



Şekil 5.4. Yeniköy alanının genelleştirilmiş dikme kesiti (Ergintav vd., 2011)



#### 5.4. Çalışma Alanının Zemin Özellikleri

Q parametre kestiriminin yapıldığı çalışma alanı ve yakın çevresinde Ergintav vd. tarafından 2011 yılında heyelan araştırmalarına yönelik çok disiplinli araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar kapsamında zeminin litolojisinin incelenmesi maksadıyla sondaj, zemin hakim titreşim periyodunun ve zemin büyütmesinin analizi için mikrotremor, yeriçinin elektrik özelliğine göre jeolojik yapısını çıkarılması için iki boyutlu özdirenç yöntemi, yine benzer şekilde jeolojik yapının araştırılmasına yönelik olarak Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi (Multichannel Analysis of Surface Waves, MASW), yeriçi sismik hızlarının belirlenmesinde PS-Log yöntemi, yeraltı su seviyesinin gözlenmesi maksadıyla gözlem kuyusu ölçümleri ve ölçümlere ilave olarak İnkrometre, Time Domain Reflectometry (TDR) ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar kısaca şöyledir;

- Sondaj çalışmaları; çalışma alanı ve yakın çevresinde toplam 7 tane sondaj kuyusu açılmıştır. Açılan bu kuyulardan 2 tanesi incelenen sismik hattın üzerindedir. 40 ve 60 metre açılan sondaj kuyuları boyunca zeminin litolojisi incelenmiştir. Zemin litolojisinde, Kum ve Killi seviyeler araldanmalı olarak gözlenmektedir. Bu seviyeler muhtelif miktarlarda karbonat ve silt ihtiva etmektedir. Karbonatlı malzemeler özellikle daha derin seviyelerde gözlenmiştir.
- Yeraltı su seviyesi ekim aylarında yapılan kuyu ölçümleri neticesinde 4,7 ile 5,5 metre arasında gözlenmiştir.
- Mikrotremor çalışmaları; çalışma alanında 2 noktada SPAC ve H/V ölçümü yapılmıştır. Bu noktalardan birisi incelenen sismik hattın üzerinde bulunmaktadır. Sismik hattın üzerinde bulunan ölçüm noktasında elde edilen değerlendirme sonucunda baskın frekans 0,766 Hz (baskın periyot 1,31 sn), Yatay / Düşey (H/V) genlik oranı ise 5,64 olarak bulunmuştur.
- PS-Log çalışmaları; çalışma alanında 4 tane PS-Log kuyusu açılmıştır. Muhtelif derinlikteki bu kuyularda Vs ve Vp hızları ölçülmüştür. Elde edilen

sismik hız bilgilerinin litoloji ile uyumlu olduğu görülmüştür.  $V_p/V_s$  hız oranları kuyular boyunca yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Kuyuların genel değerlendirilmesi neticesinde yaklaşık ilk 30 metrede  $V_p/V_s$  oranlarının oldukça yüksek olması özellikle (bazı seviyelerde yaklaşık 14) dikkat çekici bir durum oluşturmaktadır.

- MASW çalışmaları; yüzey dalgalarından elde edilen dispersiyon eğrisinin analitik çözümü ile  $V_s$  hızının derinlik fonksiyonu elde edilmiştir. Elde edilen hız bilgisine göre zeminde derinlere doğru gittikçe kayma dalga hızında artış gözlenmektedir.
- Rezistivite çalışması; çalışma alanında toplam 2 tane elektrik ölçüm hattı oluşturulmuştur. Bu hatların birisi tamamen incelenen sismik hat ile aynı lokasyonda bulunmaktadır. Elektrik çalışmasında hem Schlumberger açılım sistemi hem de Wenner açılım sistemi kullanılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde en üst birim olan bitkisel toprak haricinde 3 – 8 Ohm-m değerleri arasında değişen özdirenç değerleri gözlenmiştir. Bu düşük değerlerin killi siltli birimlere karşılık geldiği şeklinde yorumlanmıştır. Yine elektrik çalışmasında ortamın suya doygun olduğu sonucu çıkarılmıştır.
- Q parametresinin kestiriminde kullanılan sismik yansıma verilerinin toplandığı kısım heyelan bölgesi olarak değerlendirilmiştir.

### 5.5. Sismik Yansıma Çalışması

Bu çalışmada, Ergintav vd. (2011) tarafından “İstanbul Kara Alanındaki Olası Diri Fayların Araştırılması ve Öncelikli Heyelanlı Alanlarda Çok Disiplinli Araştırmalar Yapmak Suretiyle Heyelan Tespit ve İzleme Yöntemlerinin Geliştirilmesi” raporu kapsamında Arnavutköy ilçesi, Yeniköy mahallesi sınırları içerisinde toplanmış yüksek ayrımlı sığ sismik yansıma verileri kullanarak sığ zeminler için dört farklı yöntem ile soğrulma kestirimi yapılmıştır. Rapor kapsamında Yeniköy mahallesinde toplam 7 sismik hat üzerinde ölçümler alınmış olup hatların toplam uzunluğu 5666,8 metredir. Bu çalışmada Şekil 5.5 üzerinde kırmızı çizgi ile gösterilen toplam

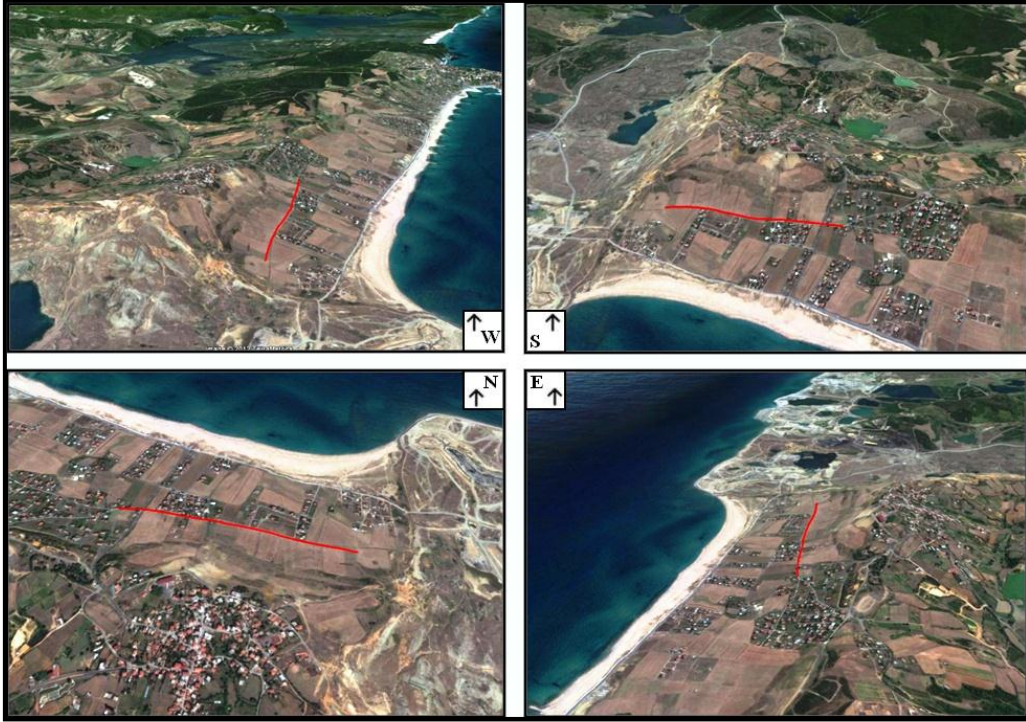
uzunluğu 890 metre olan doğu – batı uzanımlı 5 nolu sismik yansıma hattı kullanılmıştır, şekil üzerindeki A noktası sismik hattın başlangıç noktasını ve A' ise hattın bitiş noktasını göstermektedir.



Şekil 5.5. Çalışmada kullanılan yüksek ayrımlı sığ sismik yansıma hattı (Kırmızı çizgi; sismik hat, A; sismik hattın başlangıç noktası ve A'; sismik hattın bitiş noktası) (Google Earth, 2012)

Şekil 5.6'da bu çalışmada incelenen sismik hattın 4 coğrafik yönden 3 boyutlu görünüşü görülmektedir. Buna göre; sismik hattımız boyunca topoğrafyada anlamlı bir değişiklik görünmemektedir. Topoğrafik yükselti güneyden kuzeye doğru azalmakta, sismik hattın olduğu kısmın yaklaşık 100 – 200 metre üst kısmında (güneyde) heyelan yüzey belirtileri ve şevleri görülmekte olup bu sismik hattın olduğu kısımda da etkili olmaktadır. Aktif olan bu heyelan hareketi zemine oldukça gevşek ve tutturulmamış özellik kazandırmaktadır. Ayrıca yeraltı su seviyesi ortalama 5 metre civarındadır (Ergintav vd. 2011).

Şekil 5.5 ve 5.6'da görüleceği üzere sismik yansıma hattının kuzeyinde bulunan Karadeniz'e uzaklığı yaklaşık 500 metre, doğusunda bulunan suni göletlere uzaklığı ise yaklaşık 750 metre civarında olup sismik hat doğu – batı uzanımlıdır. Hat deniz seviyesinden yaklaşık 25 metre yüksekliktedir. Şekil 5.7'de sismik hattın güney tarafındaki tepelik kesimden görünüşü görülmektedir.



Şekil 5.6. Sismik yansımaya profilinin dört coğrafik yönden (Kuzey, Güney, Doğu, Batı) görünüşü (ölçeksiz). Üst sağ; kuzeyden görünüşü, üst sol; doğudan görünüşü, alt sağ; batıdan görünüşü, alt sol; güneyden görünüşü (Google Earth, 2012)



Şekil 5.7. Çalışmada kullanılan sismik hattın güneydeki tepelik kısımdan görünüşü

Sismik hattın maden işletmesinin yapıldığı alana uzaklığı ise yaklaşık 150 metredir. Maden (kömür) işletmesi esnasında zemin ve topoğrafya oldukça etkilenmiştir. Bunun sonucunda oldukça dik şevler, arazi yükseltisinde ciddi düşümler meydana

gelmiştir. Bu durum işletme içindeki ve yakın çevresindeki zemin stabilitesini oldukça bozmuştur.

### 5.6. Sismik Yansıma Verilerinin Toplanması

Sismik kayıtçı olarak çalışmalarda Geometrics-Geode sistemi kullanılmıştır. Sistem güncel teknoloji ürünü olup, 24-bit veri toplama duyarlılığına sahiptir. Sistem mühendislik çalışmalarında, gerek derin, gerekse sığ yansıma sismiği için uygundur. 20 kHz bant genişliğinde (8-0,02 ms örnekleme) yüksek çözünürlüğe sahiptir. Şekil 5.8’de Çalışmada kullanılan Geometrics – Geode sistem ve ekipmanları görülmektedir. Çalışmalarda sismik kaynak olarak Buffalo Gun ve Rus yapımı GEOSVIP SV-5/300V model bir mini vibro sistemi kullanılmıştır (Şekil 5.9). Vibro sistem oldukça hızlı ve kullanımı kolaydır.

Gözlemler ve araştırmalar sonucunda önceden belirlenen sismik hat üzerinde ilk olarak topoğrafya ekibi tarafından jeofon noktalarının yerleri ve yükseltileri belirlenip işaretlenmiştir. Veri toplama çalışmasında arazi ekibi tarafından belirlenen noktalara jeofon yerleştirilmiş, veri kabloları serilmiş, gerekli bağlantılar yapılmış ve iş güvenliği sağlanarak veri toplamaya başlanmıştır. Çevre gürültülerini ve rüzgar etkisini en aza indirgenmesi amacıyla jeofonlar yere açılan küçük çukurlara yerleştirilip üzeri toprak ile örtülmüştür (Şekil 5.10).



Şekil 5.8. Çalışmada kullanılan Geometrics – Geode sistem ve ekipmanları



Şekil 5.9. Çalışmalarda sismik kaynak olarak kullanılan mini vibro sistem



Şekil 5.10. Çalışmada jeofonların zemine yerleştirilmesi

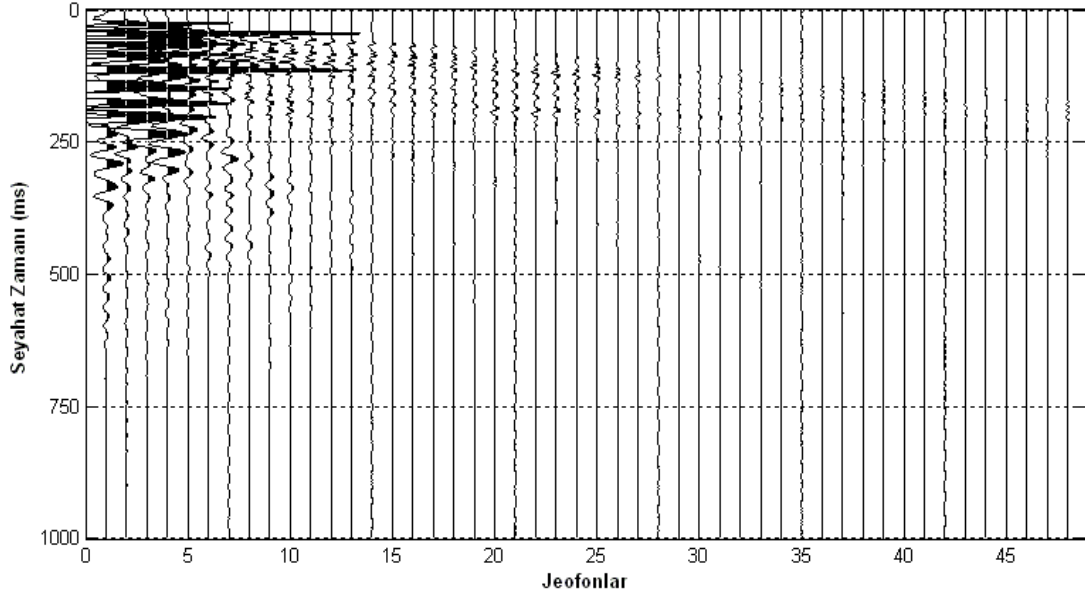
Şekil 5.11’de veri toplama aşamasından bir görüntü görülmektedir. Çalışma alanında sismik yansıma verilerini toplamaya başlamadan önce S/G oranını arttırmak amacıyla sismik kaynaklar ile test atışları yapılmıştır. Mini vibro sistem ile yapılan test atışları neticesinde belirlenen ve uygulanan verilerin özellikleri aşağıda maddeler halinde gösterilmektedir;

- Sismik Kaynak: Mini Vibro Sistem
- Sweep Bandı: 20 – 200 Hz
- Sweep Sayısı: 2
- Sweep Boyu: 15 sn
- Kayıt Süresi: 1 sn
- Kanal Sayısı: 48
- Atış Aralığı: 10 metre
- İstasyon Aralığı: 5 metre
- Örnekleme Aralığı: 0.25 msn
- Jeofon: 40 Hz rezonans frekanslı düşey bileşen jeofonları

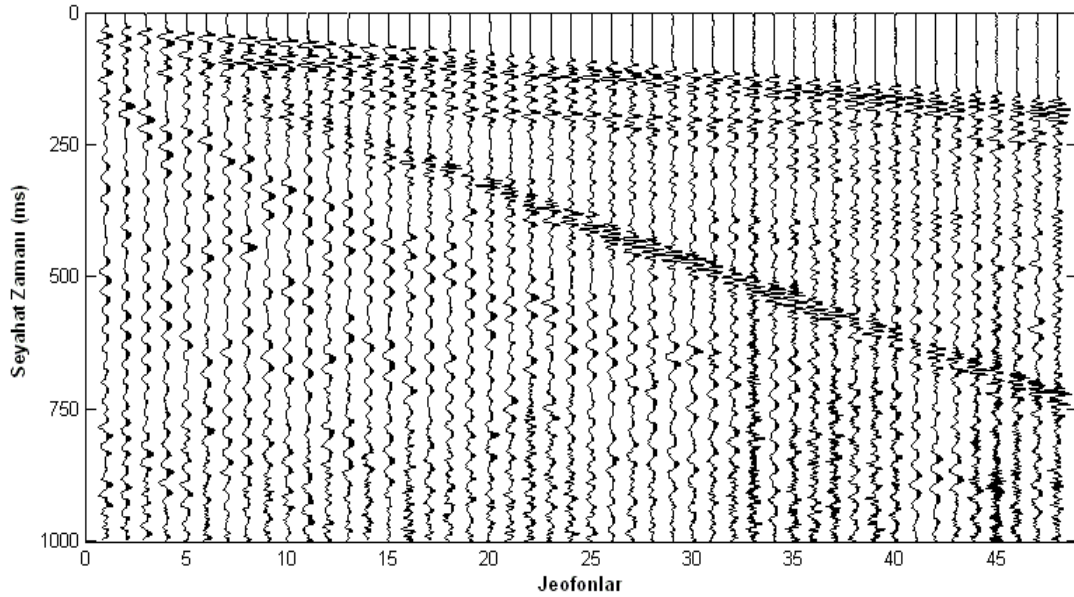


Şekil 5.11. Veri toplama aşamasından görüntü

Şekil 5.12’de çalışmada kullanılan Sismik yansıma hattının 1 nolu ham atış verisi görülmektedir. Şekil 5.13’de ise aynı verinin Otomatik Kazanç Kontrolü (Automatic Gain Control, AGC) uygulanmış hali görülmektedir. Q parametresinin kestiriminde sismik verilere hiçbir şekilde veri işlem uygulanmamıştır.



Şekil 5.12. 1 nolu ham atış verisi



Şekil 5.13. 1 nolu ham atış verisinin otomatik kazanç kontrolü (AGC) uygulanmış hali

### 5.7. Kestirim Yöntemlerinin Gerçek Sismik Veriye Uygulanması

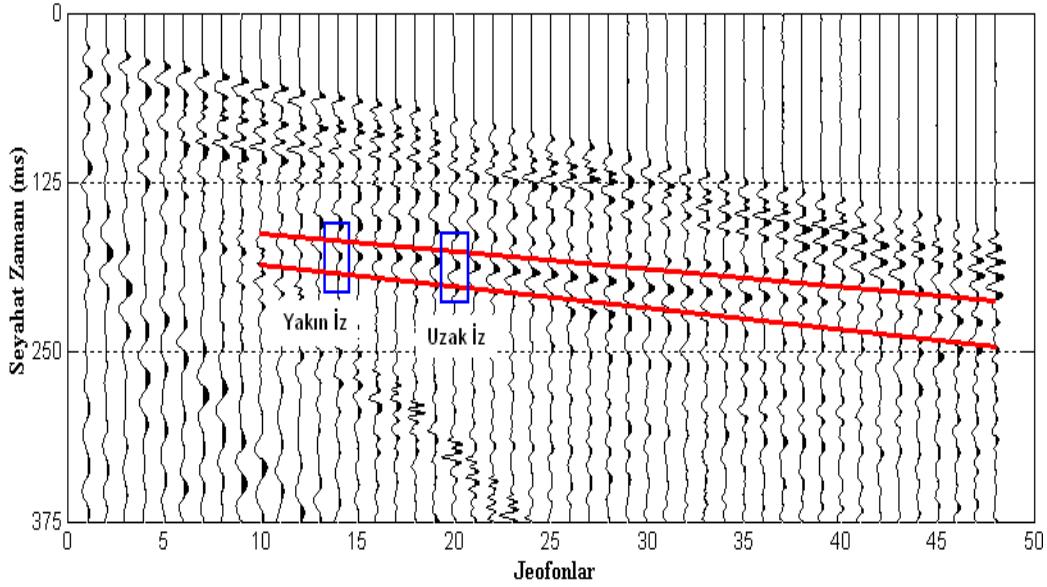
Bu çalışmada Q parametresinin kestirimine yönelik olarak kullanılan yöntemlerin uygulaması için MATLAB ortamında programlar yazılmıştır. Bölüm 4’de yapay sismogramlar kullanılarak kestirim yöntemlerinin sayısal testleri yapılmıştır. Yapay verilerdeki kestirim sonuçlarından elde edilen sonuçlara göre; gürültü içeriği olmayan verilerde bütün yöntemlerin başarı yüzdesi oldukça yüksek, belirli oranlarda



gürültü ilave edilen verilerde ise başarı yüzdesi düşükten yükseğe sırasıyla genlik azalım, spektral oran, Wiener süzgeç ve YSA yöntemleri şeklindedir. Yapay verilerde Q parametresinin kestiriminde oldukça iyi sonuçlar elde edilmiş ve yazılan programların gerçek veriye uygulanabileceği görülmüştür.

Şekil 5.14'de kestirim işlemlerinde kullanılan 5 nolu sismik hat üzerinde alınmış ve otomatik kazanç işlemi uygulanmış sismik yansıma atış kaydı görülmektedir. Çalışmanın amaçlarından biri sığ zeminlerin Q etkisinin incelenmesine yönelik olduğundan dolayı daha sığ bölgelerden yansımış dalgacıklar kullanılmıştır. Şekil 5.14'deki kırmızı çizgiler arasında gösterilen yansıma seviyesi bu çalışmanın amacına yönelik olarak en uygun yansıma seviyesi olarak düşünülmektedir. Seçilen seviyede dalgacıklarda beklendiği gibi zaman ortamında genişleme gözlenmektedir. Yansıma izlerinde yaklaşık 1. ile 7. iz arasında ilgilenilen yansıma seviyesinde dalga girişimleri ve dalgacıkların şeklinde bozulmalar açıkça görülmektedir. Kestirim işlemi yapılırken dalgacıktaki gürültü miktarının düşük olduğu, diğer dalga tiplerinden mümkün olarak en az etkilenen dalgacıklar seçilmeye çalışılmıştır.

Kestirim işleminde aynı tabaka (ortam) içerisinde yayılan farklı seyahat zamanlarına ait iki dalgacık seçilmiştir. Bu dalgacıklar mesafe olarak yakın ve uzak iz şeklinde düşünülebilir. Seçilen bir yakın iz karşılık birden fazla uzak iz seçilebilir. Örneğin 1 numaralı atış kaydı verisi için toplam 13 yakın iz seçilirken, bu yakın izlere ait muhtelif sayılarda toplam 32 uzak iz seçilmiştir. Her bir kayıt için farklı sayılarda dalgacıklar kullanılarak Q parametresi kestirimi yapılmıştır. Q parametresinin kestirimine yönelik olarak toplam 20 sismik yansıma atış kaydı kullanılmıştır. Kullanılan yansıma verilerinin her birinden muhtelif sayılarda olmak üzere her bir yöntem için toplam 424 tane Q parametresi kestirimi yapılmıştır. Bütün kestirim yöntemleri hesaba katıldığında 1696 (4x424) Q parametresi kestirimi yapılmıştır.

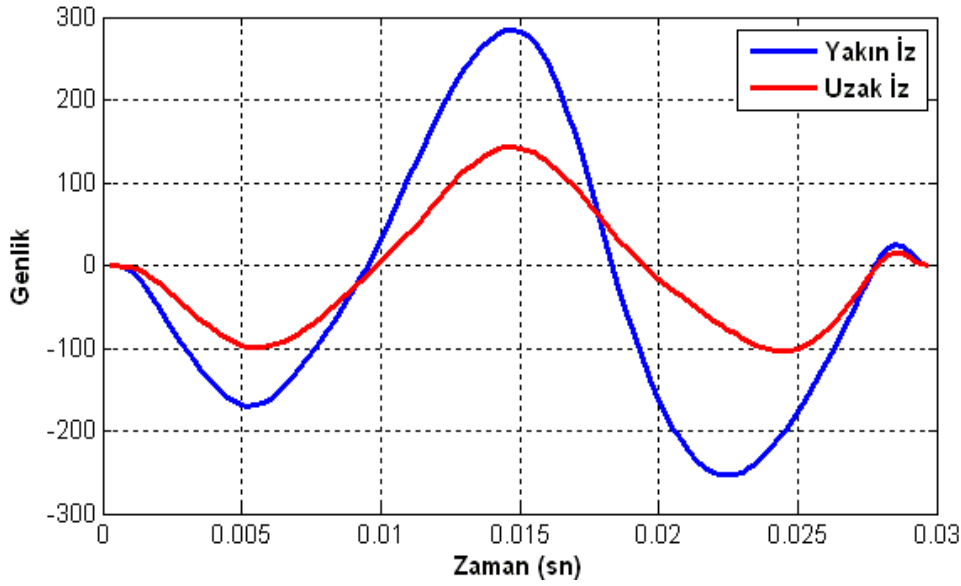


Şekil 5.14. Araziye kayıt edilmiş 48 kanallı sismik yansıma atış kaydı. Kırmızı çizgiler arasında kalan yansıma seviyesi Q parametresinin kestiriminde kullanılan bölgeyi göstermektedir

Q parametresinin kestirimi için ham verinin genlikleri üzerinde hiçbir işlem yapılmamıştır. Dalgacıklar alınırken her iki ucunda oluşan süreksizlikler frekans ortamında aşırı salınımlar yapmaktadır. Bu aşırı salınımlar özellikle frekans ortamında çözüm yapan spektral oran ve Wiener süzgeç yaklaşımında oldukça bozucu etki yaratmaktadır. Gibbs etkisi olarak tanımlanan bu olayı en aza indirmek amacıyla pencereleme işlemi yapılmıştır. Pencereleme işlemi veri üzerinde bir filtre etkisi göstererek, süreksizliklerin kenarlarındaki etkileri bastırmak için kullanılmaktadır. Çalışmada uygun pencere fonksiyonunu seçmek maksadıyla yapay verideki dalgacıklar üzerinde testler yapılmış ve pencere fonksiyonu olarak Tukey penceresi seçilmiştir.

### 5.7.1. Genlik azalım yönteminin uygulanması

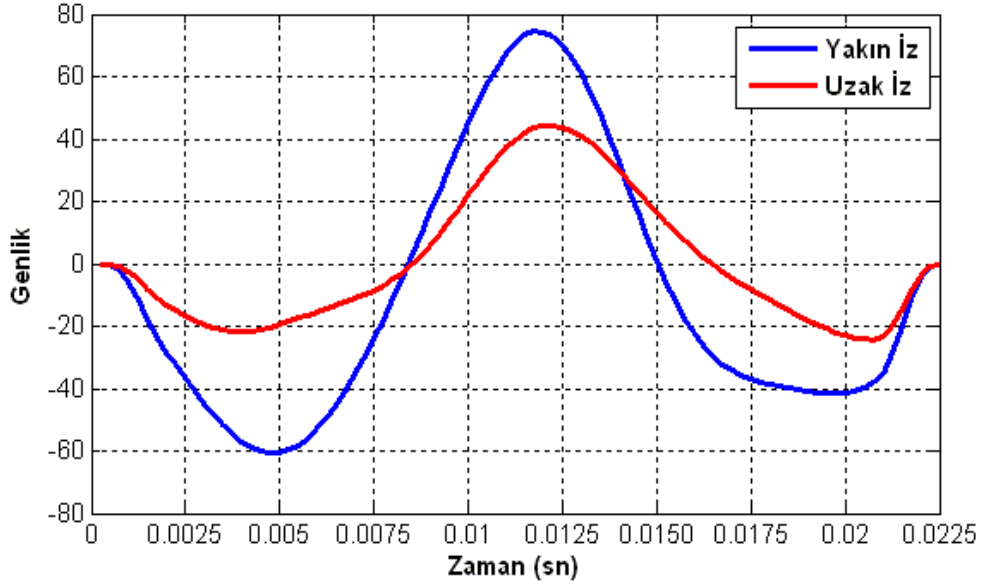
Q parametresinin kestiriminde en basit yöntemlerden birisi olan genlik azalım yönteminin teorik ayrıntıları Bölüm 2'de verilmiştir. Genel anlamda kestirim işleminde ortam içerisinde ilerleyen dalganın genliğinde meydana gelen azalım miktarı kullanılmaktadır. İki farklı mesafedeki genlik değerleri bulunarak Q kestirimi yapılmaktadır. Zaman ortamında uygulanan bir yöntemdir. Genlik azalım yöntemine örnek olarak Şekil 5.15'de 2 numaralı atışa ait seçilen dalgacıklar, Şekil 5. 16'da ise 7 numaralı atışa ait seçilen dalgacıklar görülmektedir.



Şekil 5.15. 2 numaralı atış verisinden aynı yansıma seviyesine ait örnek dalgacıklar

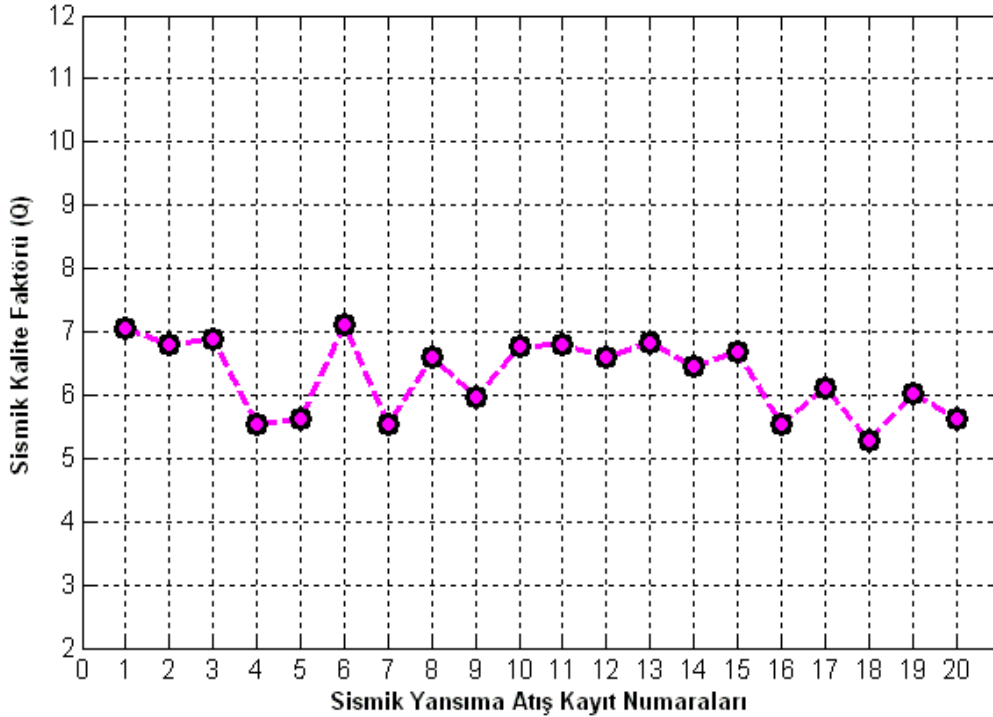
Genlik azalım yönteminde aynı yansıma seviyesine ait dalgacıklar seçilmiştir. Seçilen bu dalgacıkların birisi diğerine göre daha kısa mesafe aldığından dolayı yakın iz diğeri ise uzak iz olarak kabul edilir. Şekil 5.15 ve 5.16'dan görüleceği üzere dalgacıkların daha uzak mesafelerde genliğinde ve enerjisinde bir azalma meydana gelmektedir. Dalgacık, ilerlediği ortam içerisindeki soğurma özelliğine bağlı olarak yüksek frekanslardaki enerjilerinde daha fazla kayıp olacaktır. Bu nedenle dalgacık zaman ortamında genişleyecektir. Bu durum Şekil 5.15 ve 5.16'da açık bir şekilde görülmektedir. Q parametresi değeri şekil 5.15'deki örnekte 4,94 ve şekil 5.16'daki örnekte ise 6,5 olarak kestirilmiştir.

Çalışmada genlik azalım yöntemi ile elde edilen kestirim sonuçları Q parametresinin genlik azalım ile ters ilişkili olduğunu göstermiştir. Yani genlikteki küçük düşümler yüksek Q parametresi değerlerine karşılık gelirken, genlikteki daha büyük değişimler ise düşük Q parametresine karşılık gelmektedir.



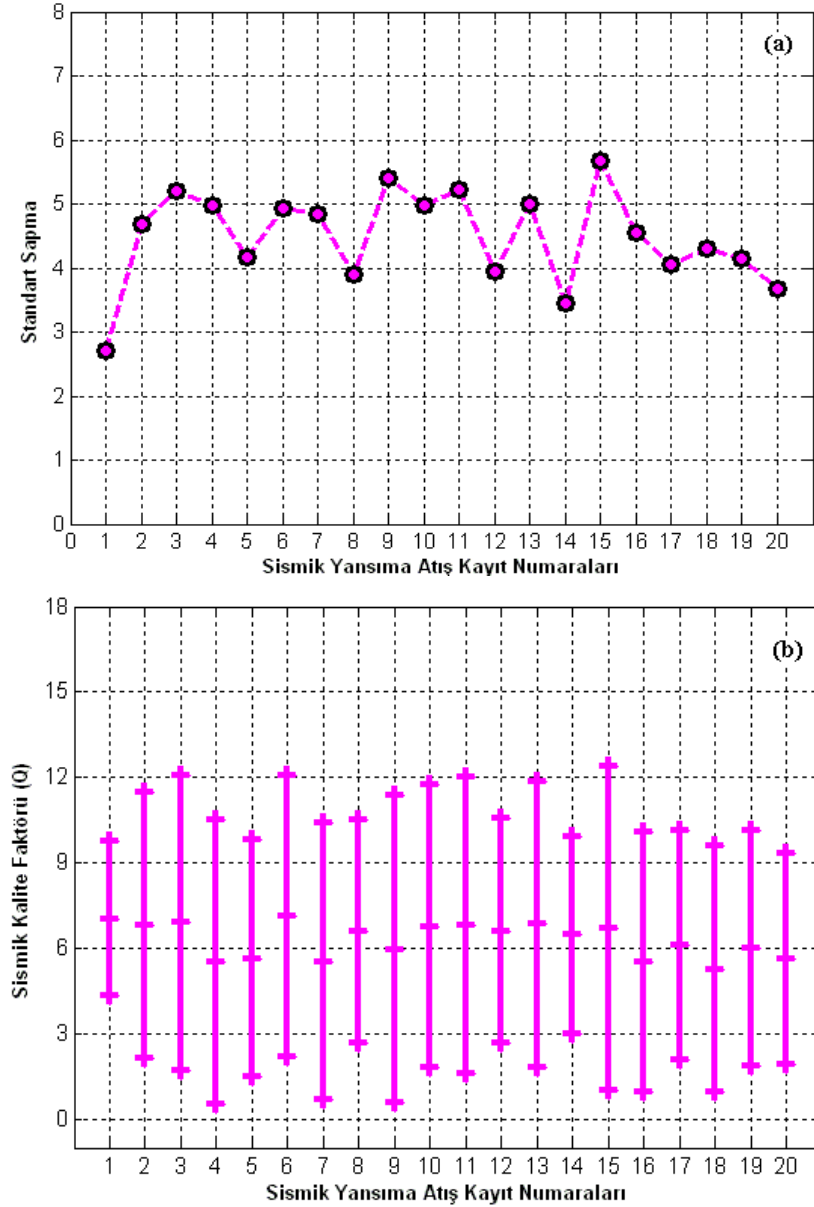
Şekil 5.16. 7 numaralı atış verisinden aynı yansıma seviyesine ait örnek dalgacıklar

Şekil 5.17'de genlik azalım yöntemi ile her bir atış kaydı için kestirilen Q parametresinin ortalaması görülmektedir. Kestirilen değerlerin 5,2 ile 7,1 arasında değiştiği görülmektedir. Kestirim sonuçları arasında çok fazla bir farklılık ve dalgalanma görülmemektedir. Bu durum litolojik bir değişimin olmadığını düşündürmektedir.



Şekil 5.17. Toplam 20 sismik yansıma atış kaydı kullanılarak genlik azalım yöntemi ile kestirilen sismik kalite faktörü (Q) değerlerinin dağılımı

Şekil 5.18 (a)'da kestirim sonuçlarının standart sapması görülmektedir. Bölüm 4'de yapay veriler üzerinde elde edilen sonuçlara göre genlik azalım yönteminin gürültüye oldukça duyarlı olduğu görülmüştür. Standart sapma değerleri kestirim sonuçlarında olduğu gibi aşırı bir farklılık göstermemektedir. Şekil 5.18 (b)'de standart sapma değerlerine göre Q parametresinin alt ve üst limitleri görülmektedir.



Şekil 5.18. a) Toplam 20 sismik yansıma atış verisi kullanılarak genlik azalım yöntemi ile kestirilen sismik kalite faktörü (Q) değerlerinin standart sapma analiz sonuçları, b) Kestirilen sismik kalite faktörünün standart sapma analizi ile elde edilen alt ve üst limitleri

Tablo 5.1'de her bir yansıma atış verisi için elde edilen kestirimlerin ortalaması, standart sapması ve standart sapma ile elde edilmiş alt ve üst Q parametre

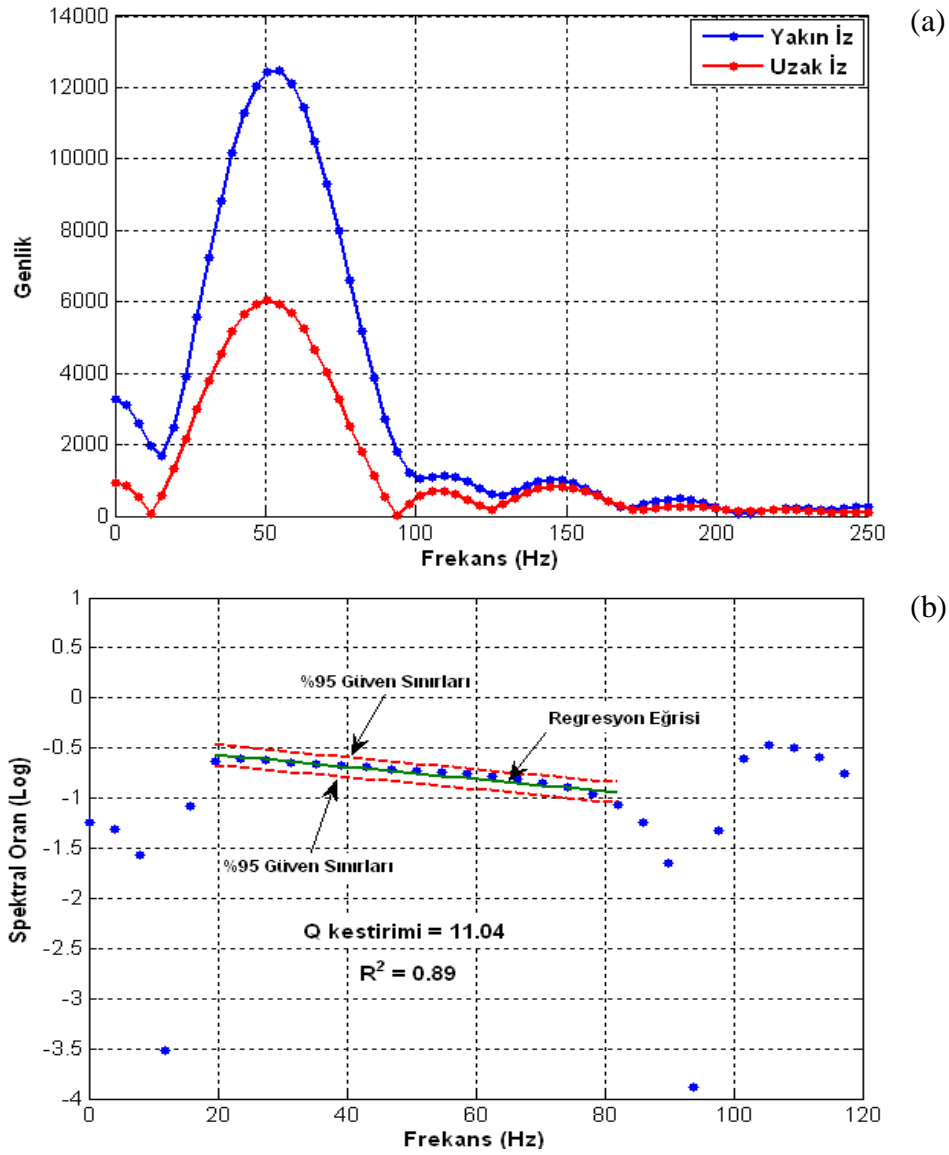
değerlerinin sayısal değerleri görülmektedir. Ayrıca Tablo 5.1’de her bir sismik yansıma atış kayıtlarında elde edilen kestirim sayıları görülmektedir.

Tablo 5.1. Genlik azalım yöntemi ile her bir sismik yansıma atış kaydı için elde edilen kestirim sonuçları ve istatistik değerleri

Sismik Yansıma Kayıtları	Kestirilen Q Parametresinin Sayısı	Ortalama Q Değerleri	Kestirim Değerlerinin Standart Sapması	Standart Sapma Değerleri ile	
				Q Üst Değer	Q Alt Değer
1	32	7,0461	2,7168	9,7629	4,3293
2	28	6,8065	4,6785	11,4850	2,1280
3	20	6,8938	5,1983	12,0921	1,6955
4	21	5,5303	4,9774	10,5077	0,5529
5	28	5,6352	4,1596	9,7948	1,4756
6	19	7,1218	4,9409	12,0627	2,1809
7	29	5,5423	4,8377	10,3800	0,7046
8	31	6,5983	3,9045	10,5028	2,6938
9	20	5,9736	5,4140	11,3876	0,5596
10	17	6,7771	4,9728	11,7499	1,8043
11	23	6,8076	5,2230	12,0306	1,5846
12	20	6,6118	3,9470	10,5588	2,6648
13	19	6,8411	5,0052	11,8463	1,8359
14	20	6,4621	3,4456	9,9077	3,0165
15	16	6,6929	5,6824	12,3753	1,0105
16	15	5,5302	4,5537	10,0839	0,9765
17	15	6,1088	4,0492	10,1580	2,0596
18	15	5,2744	4,3133	9,5877	0,9611
19	17	6,0178	4,1369	10,1547	1,8809
20	19	5,6318	3,6842	9,3160	1,9476

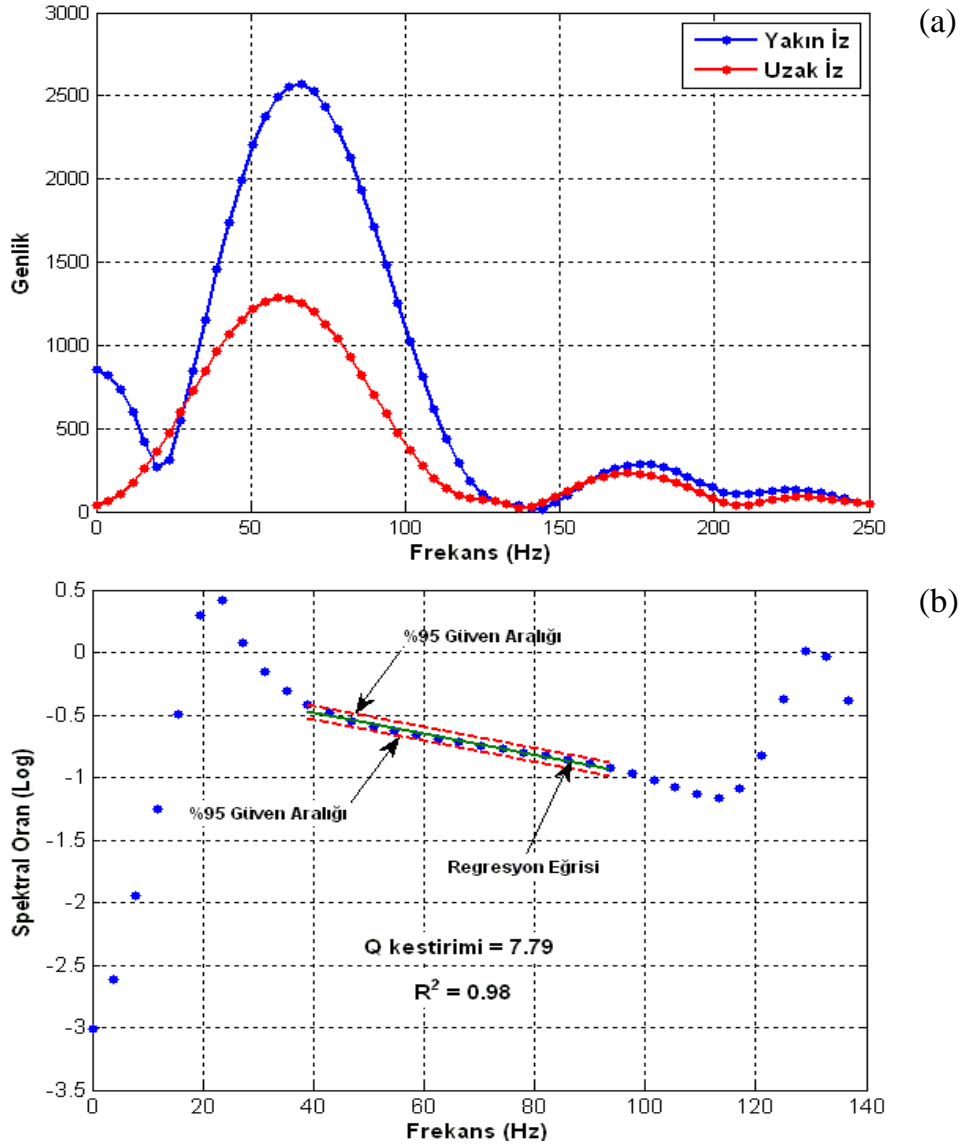
### 5.7.2. Spektral oran yönteminin uygulanması

Spektral oran yöntemi Q parametresinin kestiriminde sıklıkla kullanılan ve iyi bilinen yöntemlerden birisidir. Kestirim işlemi frekans ortamında yapılmaktadır. Bu yöntemin uygulanmasında ilk işlem olarak aynı yansıma seviyesine ait iki farklı zaman ve mesafeye ait dalgacık seçilmektedir. Seçilen bu dalgacıklar pencereleme işlemi yapılarak alınmaktadır. Dalgacıkların genlik spektrumları hesaplanmakta ve hesaplanan spektrumlar birbirine oranlanmaktadır. Elde edilen yeni spektrumdaki eğimden Q parametresi kestirilmektedir. Şekil 5. 19’da görülen genlik spektrumu ve spektral oran yöntemi grafikleri genlik azalım yönteminde şekil 5.15’deki dalgacıklara, Şekil 5. 20’de görülen genlik spektrumu ve spektral oran yöntemi grafikleri genlik azalım yönteminde şekil 5.16’daki dalgacıklara aittir.



Şekil 5.19. 2 numaralı atış verisinden spektral oran yöntemi ile Q parametresinin kestirimine yönelik örnek. a) Yakın ve uzak ize ait genlik spektrumları (mavi: yakın iz; kırmızı: uzak iz) b) İzlerin spektral oranları. b grafiğinde görülen yeşil çizgi regresyon eğrisini, kırmızı kesikli çizgi ise % 95'e göre güven sınırlarını göstermektedir. Regresyon çizgisinin (yeşil) eğiminden Q parametresi hesaplanmaktadır

Soğurma özelliği olan ortam içerisinde ilerleyen dalgacıkta zaman ortamında genişleme görülürken frekans ortamında ise bir daralma meydana gelecektir. Şekil 5.19 (a) ve şekil 5.20 (a)'da yakın ve uzak ize ait dalgacıkların genlik spektrumları görülmektedir. Genlik spektrumlarında dikkat edileceği üzere uzak izdeki dalgacığın yüksek frekanslarında daha fazla bir kayıp görülmektedir.



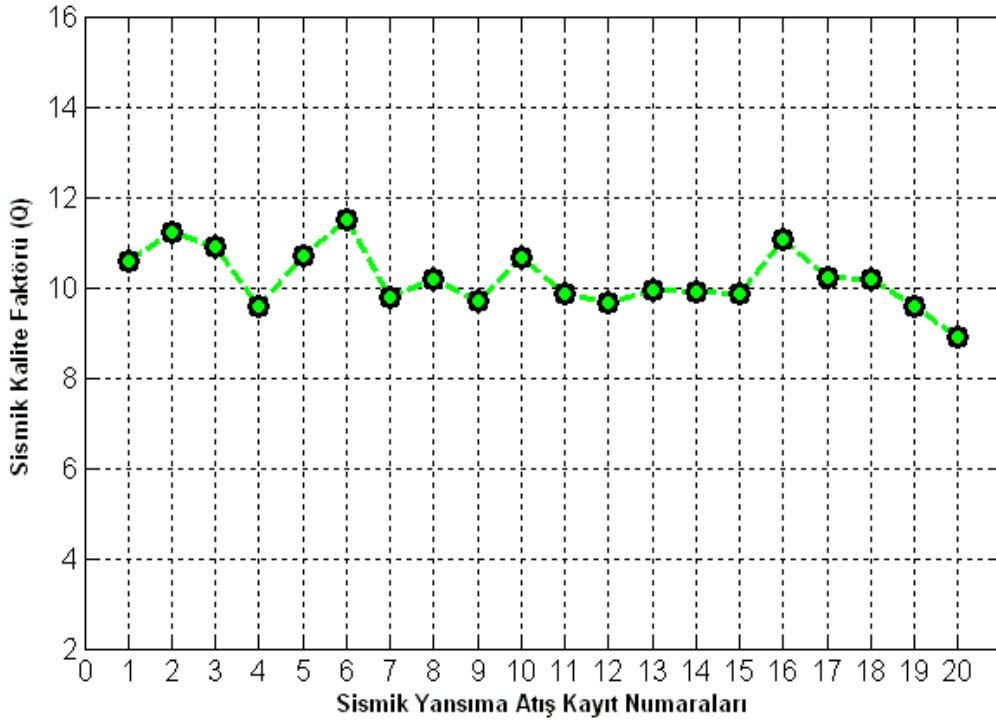
Şekil 5.20. 7 numaralı atış verisinden spektral oran yöntemi ile Q parametresinin kestirimine yönelik örnek. a) Yakın ve uzak ize ait genlik spektrumları (mavi: yakın iz; kırmızı: uzak iz) b) İzlerin spektral oranları. b grafiğinde görülen yeşil çizgi regresyon eğrisini, kırmızı kesikli çizgi ise % 95'e göre güven sınırlarını göstermektedir. Regresyon çizgisinin (yeşil) eğiminden Q parametresi hesaplanmaktadır

Hesaplanan genlik spektrumlarının oranı Şekil 5.19 (b) ve şekil 5.20 (b)'de görülmektedir. Spektral oran yöntemi ile bulunan değerlerde eğimi hesaplanacak kısma doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizinde en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. Analiz neticesinde elde edilen doğru en uygun optimizasyonu sağlamaktadır. Regresyon analizi sonucunda belirleme katsayısı ( $R^2$ ) bulunmuştur. Bulunan bu katsayı eğimin güvenilirliği hakkında bilgi vermektedir. Belirleme katsayısı değeri 0 – 1 arasında değişmektedir. Eğer belirleme katsayısı sıfıra yakınsa uyumun olmadığı, bire yakınsa uyumun iyi olduğu kabul edilmektedir (Arıcı, 2004;



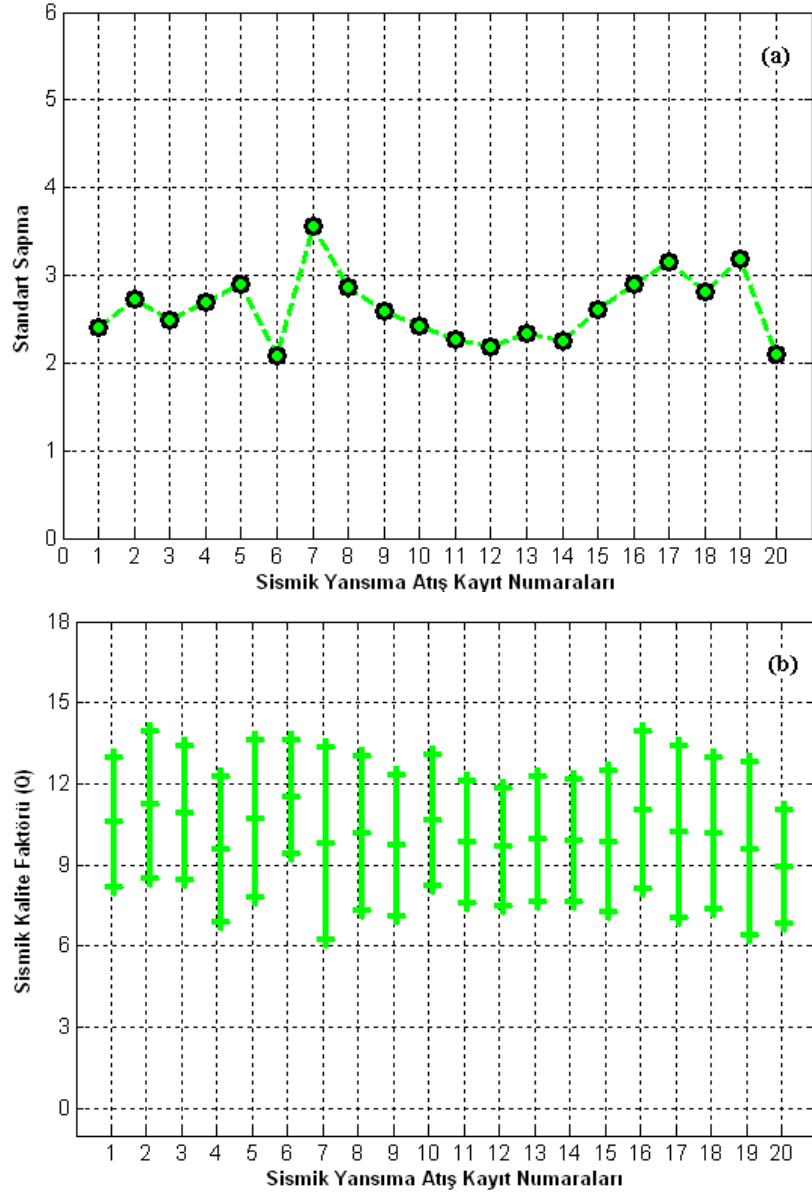
Bayazıt, 2005). Bu çalışmada belirleme katsayısı 0,5'in üstünde elde edilen doğruların eğimleri güvenilir kabul edilerek hesaba katılmıştır. Yine eğimin güvenilirliği güven aralığı analizi ile test edilmiştir. Eğim hesaplanan kısımdaki verilerin güven aralığı içerisinde olmasına dikkat edilmiştir.

Regresyon analizi ile elde edilen doğrunun eğiminden yola çıkarak Bölüm 2'deki 2.30 nolu denklemin kullanılması ile Q parametresinin kestirimi yapılmıştır. Şekil 5.21'de spektral oran yöntemi ile her bir atış verisi için kestirilen Q parametresinin ortalaması görülmektedir. Kestirilen değerler 8,9 ile 11,5 arasında değişmektedir.



Şekil 5.21. Toplam 20 sismik yansıma atış verisi kullanılarak spektral oran yöntemi ile kestirilen sismik kalite faktörü Q değerlerinin dağılımı

Şekil 5.22 (a)'da spektral oran ile elde edilen kestirim sonuçlarının standart sapması görülmektedir. Şekil 5.22 (b)'de standart sapma değerlerine göre Q parametresinin alt ve üst limitleri görülmektedir.



Şekil 5.22. a) Toplam 20 sismik yansıma atış verisi kullanılarak spektral oran yöntemi ile kestirilen sismik kalite faktörü Q değerlerinin standart sapma analiz sonuçları, b) Kestirilen sismik kalite faktörünün standart sapma analizi ile elde edilen alt ve üst limitleri

Tablo 5.2’de her bir yansıma atış verisi için spektral oran yöntemi ile elde edilen kestirimlerin ortalaması, standart sapması ve standart sapma ile elde edilmiş alt ve üst Q parametre değerlerinin sayısal değerleri görülmektedir. Ayrıca Tablo 5.2’de her bir atış için kestirilen Q parametre sayıları verilmiştir.

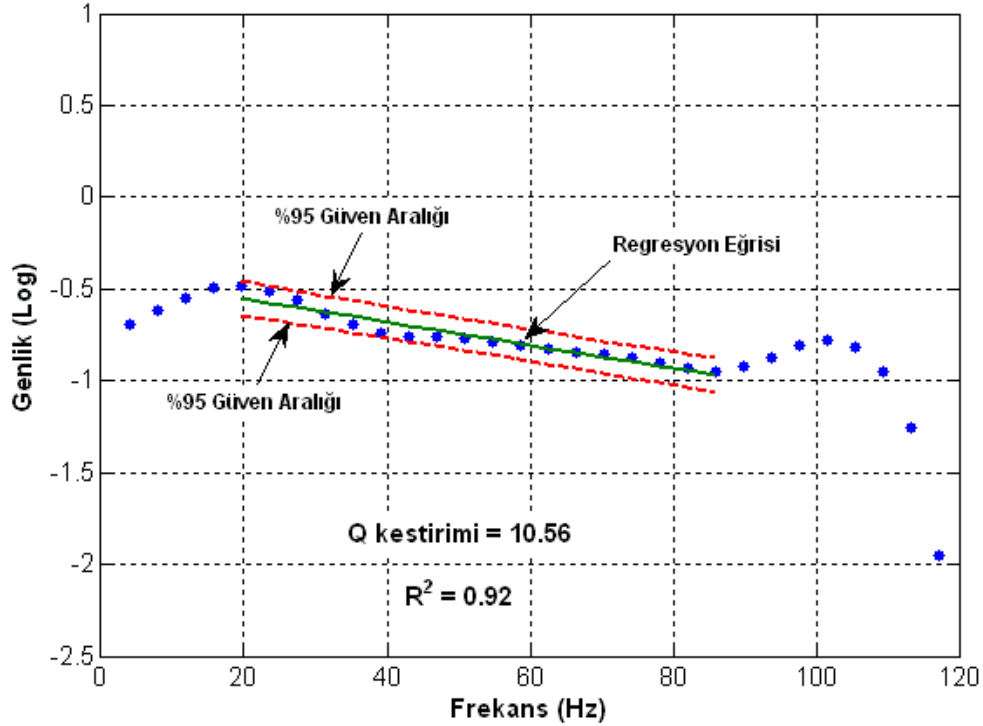
Tablo 5.2. Spektral oran yöntemi ile her bir sismik yansıma atış kaydı için elde edilen kestirim sonuçları ve istatistik değerleri

Sismik Yansıma Kayıtları	Kestirilen Q Parametresinin Sayısı	Ortalama Q Değerleri	Kestirim Değerlerinin Standart Sapması	Standart Sapma Değerleri ile	
				Q Üst Değer	Q Alt Değer
1	32	10,5754	2,4047	12,9801	8,1707
2	28	11,2349	2,7213	13,9562	8,5136
3	20	10,9082	2,4864	13,3946	8,4218
4	21	9,5797	2,6913	12,2710	6,8884
5	28	10,7136	2,9009	13,6145	7,8127
6	19	11,5147	2,0808	13,5955	9,4339
7	29	9,7865	3,5671	13,3536	6,2194
8	31	10,1829	2,8618	13,0447	7,3211
9	20	9,7118	2,5872	12,2990	7,1246
10	17	10,6506	2,4207	13,0713	8,2299
11	23	9,8486	2,2612	12,1098	7,5874
12	20	9,6698	2,1769	11,8467	7,4929
13	19	9,9452	2,3318	12,2770	7,6134
14	20	9,9131	2,2563	12,1694	7,6568
15	16	9,8547	2,6068	12,4615	7,2479
16	15	11,0414	2,8970	13,9384	8,1444
17	15	10,2276	3,1611	13,3887	7,0665
18	15	10,1851	2,8066	12,9917	7,3785
19	17	9,5994	3,1853	12,7847	6,4141
20	19	8,9086	2,0978	11,0064	6,8108

### 5.7.3. Wiener süzgeç yönteminin uygulanması

Bu çalışmada Q parametresinin kestirimi için uygulanan diğer bir yöntem olarak Wiener (least-square) süzgeçleme yaklaşımı kullanılmıştır. Wiener süzgeçleme işleminin gerçek veriye uygulamadan önce yapay verilere uygulanmış ve Q kestiriminde başarı oranı oldukça yüksek bulunmuştur. Bu yöntemin uygulamasında genlik azalım ve spektral oran yönteminde olduğu gibi aynı yansıma seviyesine ait dalgacıklar (uzak ve yakın iz) seçilmektedir. İlk olarak seçilen yakın izin özilişkisi alınmakta ve özilişki fonksiyonuna ait Toeplitz matrisi oluşturulmaktadır, ikinci olarak ise yakın iz ile uzak izin çapraz ilişkisi hesaplanmaktadır. Toeplitz matrisi ile Wiener süzgeç katsayılarının çarpımı çapraz ilişki matrisini verecektir. Normal denklem denilen bu denklemin çözümü ile Wiener süzgeç operatör katsayıları hesaplanmaktadır (Bölüm 2 denklem 2.41). Wiener süzgeç operatörünün genlik spektrumu hesaplanarak Q parametresinin kestirim işlemine geçilmiştir.

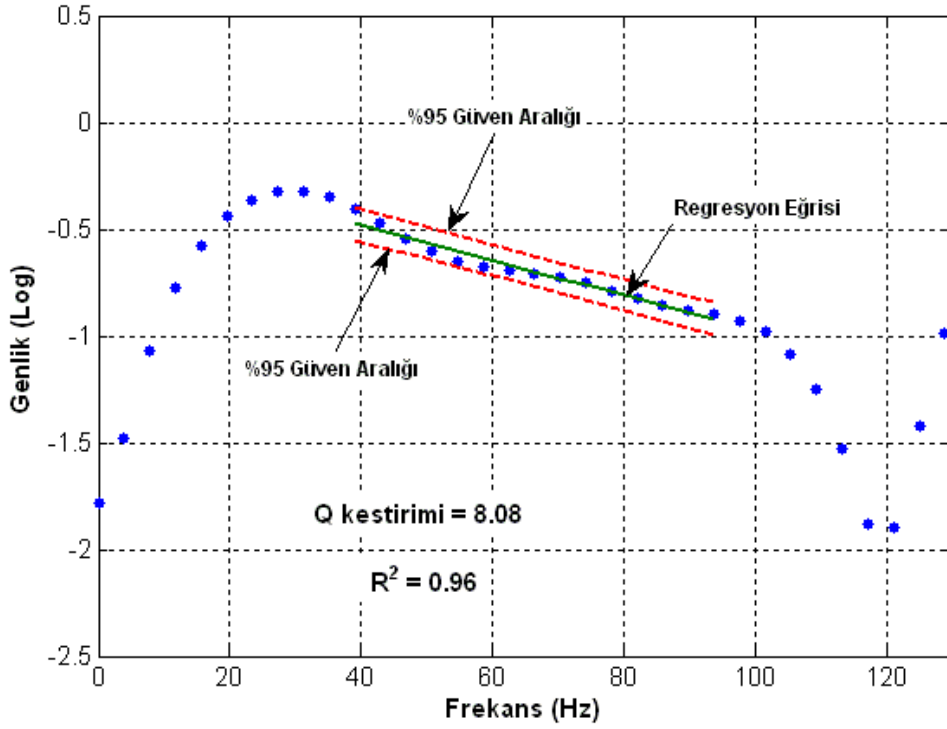
Şekil 5.23 ve 5.24’de Wiener süzgeç yöntemi ile kestirilen Q parametresi değerlerine ait örnek görülmektedir. Bu yöntemde de örnek olarak incelenen dalgacıklar genlik azalım yöntemi ve spektral oran yöntemi ile aynıdır.



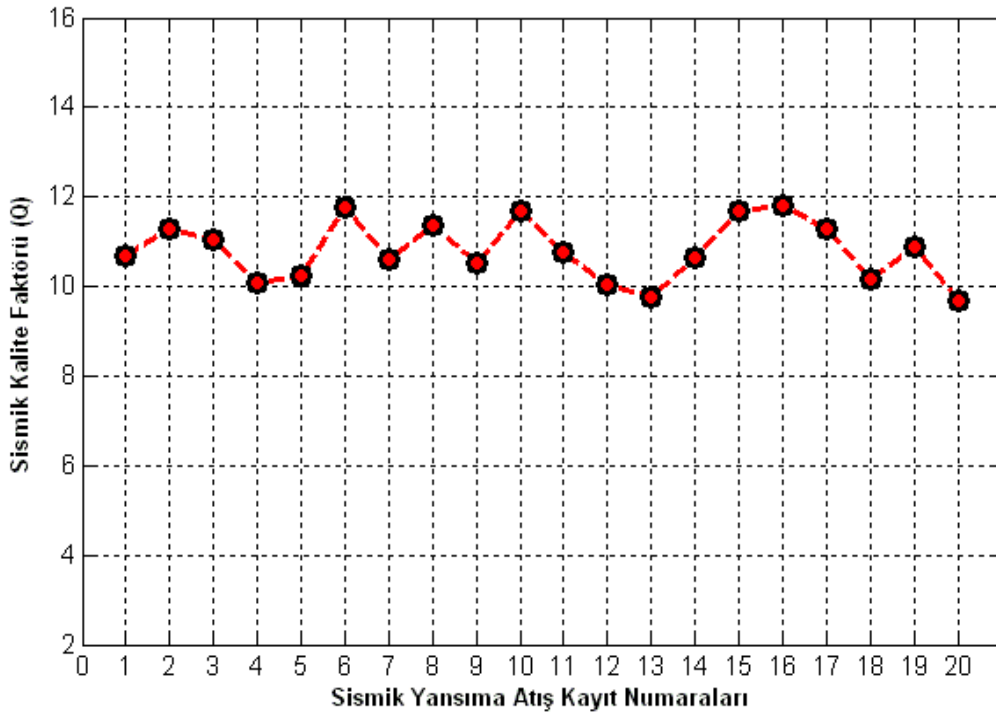
Şekil 5.23. 2 numaralı atış verisinden Wiener süzgeç yöntemi ile Q parametresinin kestirimine yönelik örnek. Grafikte görülen yeşil çizgi regresyon eğrisini, kırmızı kesikli çizgi ise % 95'e göre güven sınırlarını göstermektedir. Regresyon çizgisinin (yeşil) eğiminden Q parametresi hesaplanmaktadır

Bu yöntemde Q parametresinin kestirimi spektral oran yönteminde olduğu gibi eğimden hesaplanmaktadır. Eğim hesaplanmasında kullanılan doğrusal regresyon analizi, güven aralığı hesaplamaları ile ilgili prosedür spektral oran yöntemi ile aynı işlem adımlarına sahiptir. Örnekte hesaplanan belirleme katsayı değerleri ( $R^2$ ) 0,92 ile 0,96 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerin 1'e yakın olması eğim için uyumun yüksek olduğunu göstermektedir.

Şekil 5.25’de Wiener süzgeç yöntemi ile her bir atış verisi için kestirilen Q parametresinin ortalaması görülmektedir. Kestirim sonuçlarının 9,7 ile 11,8 arasında değiştiği görülmektedir. Kestirilen değerler oldukça birbirine yakındır.

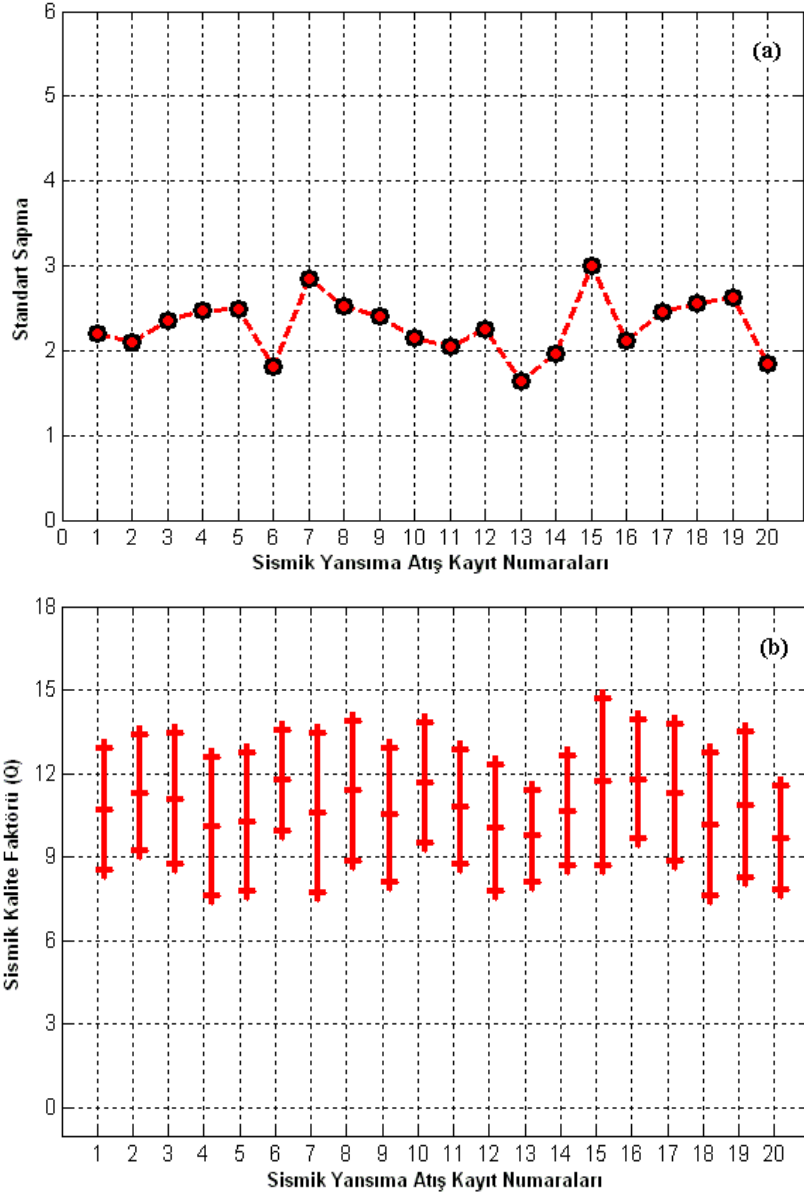


Şekil 5.24. 7 numaralı atış verisinden Wiener süzgeç yöntemi ile Q parametresinin kestirimine yönelik örnek. Grafikte görülen yeşil çizgi regresyon eğrisini, kırmızı kesikli çizgi ise % 95'e göre güven sınırlarını göstermektedir. Regresyon çizgisinin (yeşil) eğiminden Q parametresi hesaplanmaktadır



Şekil 5.25. Toplam 20 sismik yansımaya atış verisi kullanılarak Wiener süzgeç yöntemi ile kestirilen sismik kalite faktörü Q değerlerinin dağılımı

Şekil 5.26 (a)'da kestirim sonuçlarının standart sapması görülmektedir. Wiener süzgeç yöntemi Q parametresinin kestiriminde hesaplanan standart sapma değerleri spektral oran ve genlik azalım yöntemine göre daha düşüktür Şekil 5.26 (b)'de standart sapma değerlerine göre Q parametresinin alt ve üst limitleri görülmektedir.



Şekil 5.26. a) Toplam 20 sismik yansımaya atış verisi kullanılarak Wiener süzgeç yöntemi ile kestirilen sismik kalite faktörü Q değerlerinin standart sapma analiz sonuçları, b) Kestirilen sismik kalite faktörünün standart sapma analizi ile elde edilen alt ve üst limitleri

Tablo 5.3'de her bir yansımaya atış verisi için Wiener süzgeç yöntemi ile elde edilen kestirimlerin ortalaması, standart sapması ve standart sapma ile elde edilmiş alt ve

üst Q parametre değerlerinin sayısal değerleri ve her bir atış için kestirilen Q parametre sayısı görülmektedir.

Tablo 5.3. Wiener süzgeç yöntemi ile her bir sismik yansıma atış kaydı için elde edilen kestirim sonuçları ve istatistik değerleri

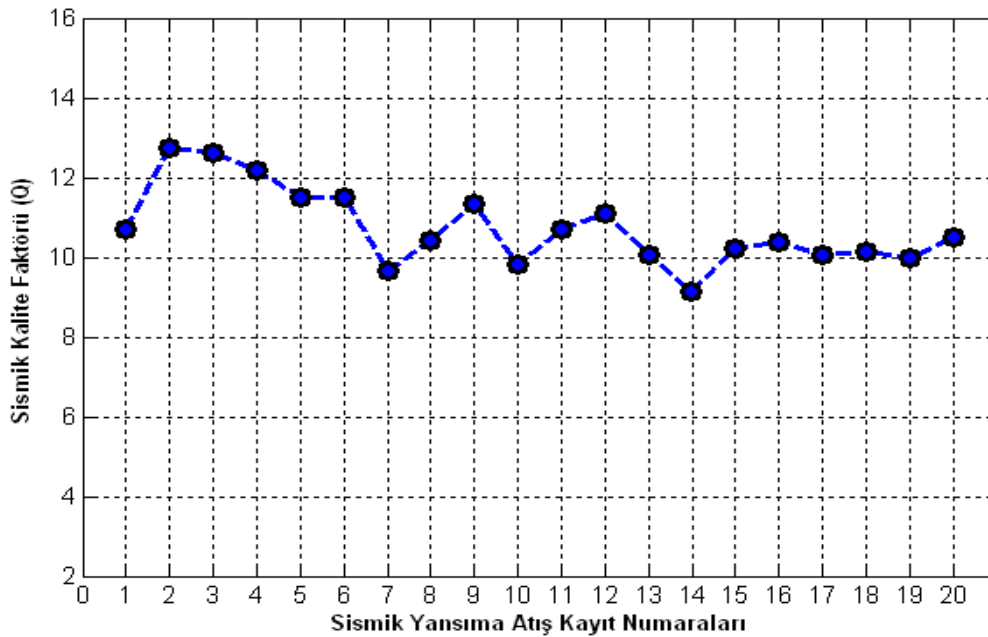
Sismik Yansıma Kayıtları	Kestirilen Q Parametresinin Sayısı	Ortalama Q Değerleri	Kestirim Değerlerinin Standart Sapması	Standart Sapma Değerleri ile	
				Q Üst Değer	Q Alt Değer
1	32	10,7004	2,1944	12,8948	8,5060
2	28	11,2957	2,0931	13,3888	9,2026
3	20	11,0658	2,3467	13,4125	8,7191
4	21	10,0948	2,4769	12,5717	7,6179
5	28	10,2575	2,4823	12,7398	7,7752
6	19	11,7490	1,8041	13,5531	9,9449
7	29	10,5883	2,8503	13,4386	7,7380
8	31	11,3722	2,5244	13,8966	8,8478
9	20	10,5171	2,4022	12,9193	8,1149
10	17	11,6723	2,1570	13,8293	9,5153
11	23	10,7702	2,0510	12,8212	8,7192
12	20	10,0248	2,2588	12,2836	7,7660
13	19	9,7450	1,6366	11,3816	8,1084
14	20	10,6529	1,9684	12,6213	8,6845
15	16	11,6952	3,0028	14,6980	8,6924
16	15	11,7914	2,1087	13,9001	9,6827
17	15	11,2913	2,4604	13,7517	8,8309
18	15	10,1572	2,5565	12,7137	7,6007
19	17	10,8667	2,6288	13,4955	8,2379
20	19	9,6859	1,8416	11,5275	7,8443

#### 5.7.4. YSA yönteminin uygulanması

Q parametresinin kestiriminde geleneksel olarak zaman ve frekans ortamında çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada geleneksel olarak uygulanan bu yöntemlerden farklı olarak yapay zeka tekniği olan YSA yöntemi kullanılmıştır. YSA yönteminin pek çok kullanım alanı mevcut olup, kestirim işlemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bölüm 4'de ayrıntıları verildiği üzere gerçek arazi verisinden Q parametresinin kestiriminde kullanmak üzere birçok YSA modeli oluşturulmuş ve yapay verideki kestirim performansları incelenmiştir. Oluşturulan modellerde öğrenme algoritması, aktivasyon fonksiyonu, iterasyon sayısı, YSA topolojisi, girdi sayısı ve özellikleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Q parametresinin gerçek arazi verisi üzerinde kestiriminde aşağıda özellikleri ve yapısı maddeler halinde verilen YSA modeli oluşturulmuştur;

- Girdi: 3 ve Çıktı:1
- Topoloji: Girdi katmanı, Gizli Katman, Çıktı katmanlı olmak üzere 3 katmanlı
- Öğrenme Algoritması: Levenberg-Marquardt (LM)
- İterasyon Sayısı: 5000
- Aktivasyon Fonksiyonu: Sigmoid

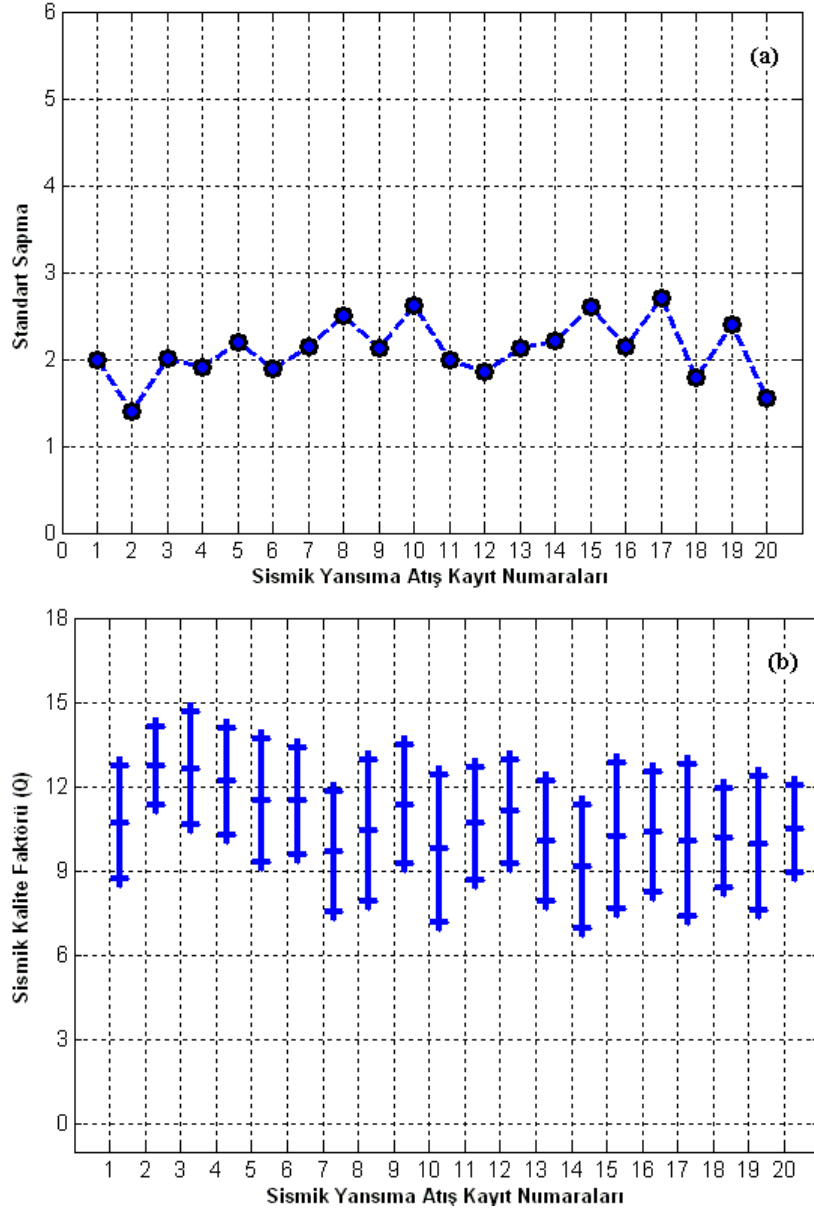
Girdi olarak; dalgacıkların genişliğinin farkını, dalgacıkların enerji farkları ve iki dalgacık arasındaki mesafe kullanılmıştır. Çıktı olarak ise Q parametresinin kestirimi amaçlanmıştır. Gerçek arazi verisinde YSA yöntemi ile Q parametresinin kestiriminde diğer geleneksel yöntemlerde kullanılan aynı verilerden yararlanılmıştır. Q kestirimde kullanılmak amacıyla birinci girdiyi elde etmek için yakın ve uzak ize ait dalgacıkların genişlikleri hesaplanarak arasındaki fark alınmıştır. İkinci girdi için dalgacıkların enerjileri hesaplanarak arasındaki fark alınmıştır. Üçüncü girdi için ise dalgacıkların seyahat mesafeleri hesaplanmıştır. Bu girdi değerleri Bölüm 4’de ayrıntılarının verildiği yapay verideki Q kestiriminde en iyi performansı sağlayan YSA modeline aittir. Modelin bilgisayar ortamında çalıştırılması ile Q kestirim sonuçları elde edilmiştir. Şekil 5.27’de YSA yöntemi ile her bir atış verisi için kestirilen Q parametresinin ortalaması görülmektedir.



Şekil 5.27. Toplam 20 sismik yansımaya atış verisi kullanılarak YSA yöntemi ile kestirilen sismik kalite faktörü Q değerlerinin dağılımı



Kestirim sonuçlarının 9,2 ile 12,7 arasında değiştiği görülmektedir. Kestirilen değerler diğer yöntemlerde kestirilen değerlere göre daha geniş aralığa sahip olmasına rağmen Şekil 5.28 (a)'da grldğge standart sapma değerleri daha düşük çıkmıştır. Şekil 5.28 (b)'de standart sapma değerlerine göre Q parametresinin alt ve üst limitleri görülmektedir.



Şekil 5.28. a) Toplam 20 sismik yansıma atış verisi kullanılarak YSA yöntemi ile kestirilen sismik kalite faktörü Q değerlerinin standart sapma analiz sonuçları, b) Kestirilen sismik kalite faktörünün standart sapma analizi ile elde edilen alt ve üst limitleri

Tablo 5.4'de YSA yöntemi ile elde edilen kestirimlerin ortalaması, standart sapması ve standart sapma ile elde edilmiş alt ve üst Q parametre değerlerinin sayısal değerleri görülmektedir.

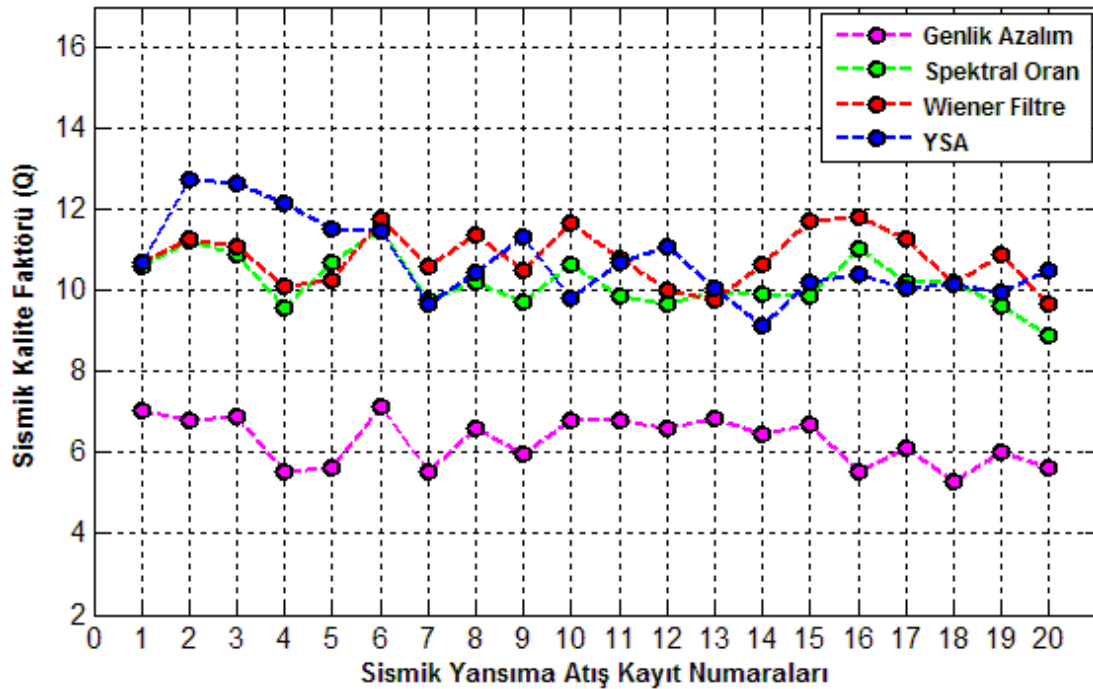
Tablo 5.4. YSA yöntemi ile her bir sismik yansıma atış kaydı için elde edilen kestirim sonuçları ve istatistik değerleri

Sismik Yansıma Kayıtları	Kestirilen Q Parametresinin Sayısı	Ortalama Q Değerleri	Kestirim Değerlerinin Standart Sapması	Standart Sapma Değerleri ile	
				Q Üst Değer	Q Alt Değer
1	32	10,7104	1,9911	12,7015	8,7193
2	28	12,7460	1,3959	14,1419	11,3501
3	20	12,6385	2,0093	14,6478	10,6292
4	21	12,1722	1,9135	14,0857	10,2587
5	28	11,5004	2,1930	13,6934	9,3074
6	19	11,4848	1,8936	13,3784	9,5912
7	29	9,6612	2,1502	11,8114	7,5110
8	31	10,4343	2,5002	12,9345	7,9341
9	20	11,3484	2,1257	13,4741	9,2227
10	17	9,8023	2,6223	12,4246	7,1800
11	23	10,6842	1,9972	12,6814	8,6870
12	20	11,1054	1,8514	12,9568	9,2540
13	19	10,0591	2,1257	12,1848	7,9334
14	20	9,1530	2,2070	11,3600	6,9460
15	16	10,2238	2,6026	12,8264	7,6212
16	15	10,3924	2,1401	12,5325	8,2523
17	15	10,0594	2,6986	12,7580	7,3608
18	15	10,1566	1,7861	11,9427	8,3705
19	17	9,9696	2,4037	12,3733	7,5659
20	19	10,4896	1,5439	12,0335	8,9457

### 5.8. Yöntemlerin Karşılaştırılması

Kestirimde kullanılan yöntemlerin başarı oranları ilk olarak yapay veriler üzerinde incelenmiştir. Yapay veriler, gürültü içermeyen, belirli yüzde miktarlarında gürültü içeren ve arazi verisinde gözlenen gürültü karakteristiğine uygun olacak şekilde hazırlanmıştır. Bu şartlar altında yöntemlerin başarı yüzdeleri belirlenmiştir. Buna göre yöntemlerin genel olarak başarı oranları makul seviyede yüksek bulunmuştur. Yöntemler arasında en iyi sonuçları YSA vermektedir. YSA yöntemlerini sırasıyla Wiener süzgeç, spektral oran ve genlik azalım yöntemleri takip etmektedir. Bu durum gerçek arazi verisinden elde edilen kestirim sonuçlarının yöntemlere göre güvenilirliği konusunda kuvvetli derecede fikir vermektedir. Çalışmada kullanılan kestirim yöntemlerinin hepsinde aynı veriler ve aynı dalgacıklar kullanılmıştır. Şekil

5.29’da gerçek arazi verisi olarak kullanılan 20 sismik yansımaya atış kayıt verisinden kestirilen Q parametresi değerleri grafiksel olarak görülmektedir. YSA, Wiener süzgeç ve spektral oran yöntemi ile kestirilen Q parametre değerleri oldukça birbirine yakın değerler vermektedir. Özellikle Wiener süzgeç ile spektral oran yöntemleri kullanılarak kestirilen değerler hemen hemen birbirine paralellik göstermektedir. Çoğu atış verisinde bu iki yöntemden biri yükselirken diğeri de yükselmekte, biri azalırken diğeri de azalmaktadır. YSA, Wiener süzgeç ve spektral oran yöntemleri ile kestirilen Q parametre değerleri 8,9 ile 12,7 arasındadır. Bu üç yöntem il elde edilen kestirim sonuçları oldukça birbirine yakın değerler vermiştir. Genlik azalım yöntemi ile elde edilen kestirim sonuçları diğeri üç yöntemle göre daha düşük çıkmıştır. Bunun en önemli sebebi yöntemin gürültüye oldukça duyarlı olmasıdır.



Şekil 5.29. Toplam 20 sismik yansımaya atış verisi kullanarak 4 farklı yöntem ile kestirilen sismik kalite faktörü Q değerlerinin dağılımı

Şekil 5.30’da dört farklı yöntem ile kestirilen Q parametre değerlerinin standart sapmaları görülmektedir. Standart sapma; bir çalışma grubundaki her bir verinin ortalamaya göre ne kadar uzaklıkta olduğunu, bir diğeri deyişle dağılımın ne yaygınlıkta olduğunu gösteren bir ölçüdür. Standart sapma büyüdükçe dağılım yaygınlaşmaktadır. Standart sapma denklemi 5.1’de gösterilmektedir (Akdeniz, 2006; Özkan, 2007).

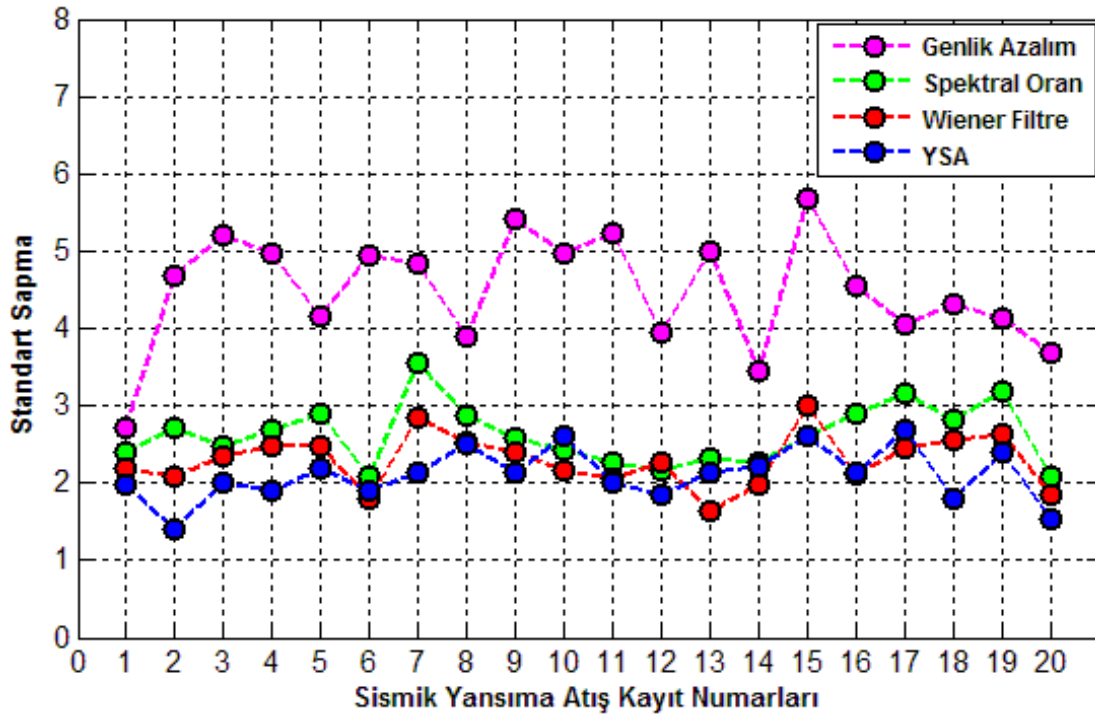
$$SS = \sqrt{\frac{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (5.1)$$

$SS$  ; Standart Sapma

$x_i$  ;  $i$ 'nci ölçüm değeri

$\bar{x}$  ;  $n$  sayıda ölçümün ortalaması

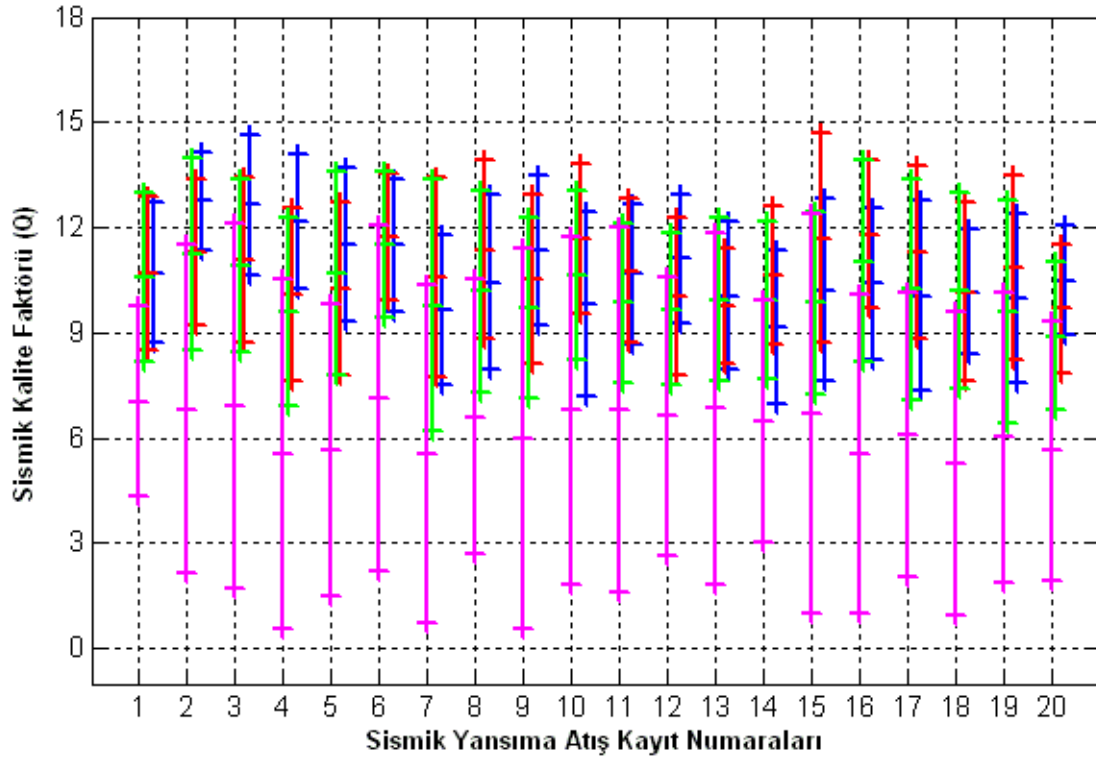
$n$  ; Ölçüm sayısı



Şekil 5.30. Toplam 20 sismik yansımaya atış verisi kullanarak 4 farklı yöntem ile kestirilen sismik kalite faktörü Q değerlerinin standart sapma analiz sonuçları

Genlik azalım yönteminde standart sapma dağılımı diğer üç yöntemle oranla daha yüksek değerler vermektedir. Genel olarak en düşük standart sapma değerini YSA ile hesaplanan sonuçlar göstermektedir. Wiener süzgeç yönteminde 5 sonuçta daha düşük standart sapma değeri hesaplanmıştır. Spektral oran yönteminde elde edilen standart sapma değerleri Wiener süzgeç ile elde edilen değerlerle orantılı olmakla birlikte daha yüksek standart sapmalar göstermektedir. Buna göre; genlik azalım yöntemi ile elde edilen standart sapma sonuçlarının büyük olması ortalamadan sapmaların ve kestirimde riskin yüksek olduğunu, spektral oran, Wiener süzgeç ve YSA yönteminde ise aksine ortalamadan sapmaların ve kestirimde riskin az olduğunu göstermektedir.

Şekil 5.31’de kestirim için kullanılan yöntemlerin standart sapma değerlerine göre Q parametresinin alt ve üst limit değerleri görülmektedir. Genlik azalım yöntemi daha geniş bir Q aralığına sahipken, YSA yöntemi ise daha dar bir aralığı kapsamaktadır. YSA, Wiener süzgeç ve spektral oran yöntemi ile elde edilen standart sapma aralığı oldukça birbirine yakındır.



Şekil 5.31. Kestirim sonuçlarının standart sapma aralıkları. Mor çizgi; Genlik azalım, Yeşil çizgi; Spektral oran, Kırmızı çizgi; Wiener süzgeç ve Mavi çizgi; YSA yöntemleriyle elde edilen standart sapma değerleri

Genlik azalım yöntemi gürültüye oldukça duyarlı bir yöntemdir (Toon, 1991). Genlik azalım yönteminde hesaplanan standart sapma değerlerinin yüksek olması yöntemin gürültüye olan duyarlılığından kaynaklanmaktadır.

Tablo 5.5’de her bir sismik yansıma atış kaydı için kestirim yöntemleri ile elde edilen değerlerin ortalaması ve standart sapması görülmektedir. Yöntemlerin çalışma alanı için kestirim değerlerinin ortalaması, genlik azalım yönteminde; 6,3, spektral oran yönteminde; 10,2, Wiener süzgeç yönteminde; 10,8 ve YSA yönteminde ise 10,7 olarak hesaplanmıştır.

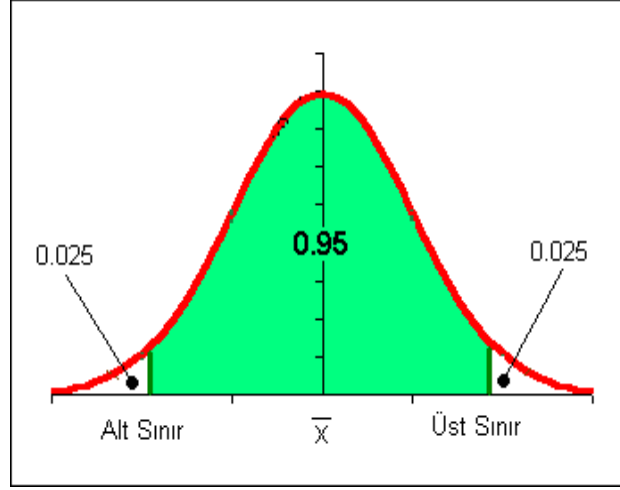
Tablo 5.5. Her bir atış kaydı için kestirim yöntemleri ile elde edilen sonuçların ortalaması ve standart sapması

Sismik Yansıma Kayıtları	Genlik Azalım		Spektral Oran		Wiener Süzgeç		YSA	
	Ortalama Q Değeri	Standart Sapma	Ortalama Q Değeri	Standart Sapma	Ortalama Q Değeri	Standart Sapma	Ortalama Q Değeri	Standart Sapma
1	7,0461	2,7168	10,5754	2,4047	10,7004	2,1944	10,7104	1,9911
2	6,8065	4,6785	11,2349	2,7213	11,2957	2,0931	12,7460	1,3959
3	6,8938	5,1983	10,9082	2,4864	11,0658	2,3467	12,6385	2,0093
4	5,5303	4,9774	9,5797	2,6913	10,0948	2,4769	12,1722	1,9135
5	5,6352	4,1596	10,7136	2,9009	10,2575	2,4823	11,5004	2,1930
6	7,1218	4,9409	11,5147	2,0808	11,7490	1,8041	11,4848	1,8936
7	5,5423	4,8377	9,7865	3,5671	10,5883	2,8503	9,6612	2,1502
8	6,5983	3,9045	10,1829	2,8618	11,3722	2,5244	10,4343	2,5002
9	5,9736	5,4140	9,7118	2,5872	10,5171	2,4022	11,3484	2,1257
10	6,7771	4,9728	10,6506	2,4207	11,6723	2,1570	9,8023	2,6223
11	6,8076	5,2230	9,8486	2,2612	10,7702	2,0510	10,6842	1,9972
12	6,6118	3,9470	9,6698	2,1769	10,0248	2,2588	11,1054	1,8514
13	6,8411	5,0052	9,9452	2,3318	9,7450	1,6366	10,0591	2,1257
14	6,4621	3,4456	9,9131	2,2563	10,6529	1,9684	9,1530	2,2070
15	6,6929	5,6824	9,8547	2,6068	11,6952	3,0028	10,2238	2,6026
16	5,5302	4,5537	11,0414	2,8970	11,7914	2,1087	10,3924	2,1401
17	6,1088	4,0492	10,2276	3,1611	11,2913	2,4604	10,0594	2,6986
18	5,2744	4,3133	10,1851	2,8066	10,1572	2,5565	10,1566	1,7861
19	6,0178	4,1369	9,5994	3,1853	10,8667	2,6288	9,9696	2,4037
20	5,6318	3,6842	8,9086	2,0978	9,6859	1,8416	10,4896	1,5439
<b>ORT.</b>	<b>Genlik Azalım Ort. Q Değeri : 6,2952</b>		<b>Spektral Oran Ort. Q Değeri : 10,2026</b>		<b>Wiener Süzgeç Ort. Q Değeri : 10,7997</b>		<b>YSA Ort. Q Değeri : 10,7396</b>	

### 5.9. Kestirim Sonuçları ve Güven Aralığı Analizi

Bu çalışmada her bir yöntem ve atış için kestirilen Q değerlerine güven aralığı analizi yapılmıştır. Bu analiz neticesinde Q değerleri için bir aralık tanımlanarak daha sağlıklı yorum yapılması amaçlanmıştır. Güven aralığı istatistik biliminde kullanılan bir çeşit aralık kestirimidir. Q kestirimde elde edilen sonuçlarının yorumlanması kolaylaştırmak ve böylece güvenilirliğini arttırmak amacıyla %95 anlam düzeyinde güven aralığı tespiti yapılmıştır. Her atış kaydı ayrı ayrı değerlendirilerek güven aralıkları hesaplanmıştır. Birçok çalışmada güven aralığı çalışmanın güvenilirliğini somut bir şekilde ortaya koymak için kullanılmaktadır. Bu kavramda, tahmin edilecek parametreyi kapsayan alanı gösteren bir çift sınır veya limit kullanır. Güven sınırları adı verilen bu sınırlardan birisi alt sınır (alt limit) diğeri üst sınır (üst limit) olarak adlandırılır (Altunkaynak, 2008). Güven aralığı, ortalamanın iki tarafında standart hatanın bir katsayıyla çarpılmasıyla bulunur (Köksal, 2003; Yıldız,

2006). Şekil 5.32’de %95’e göre güven aralığı gösterilmektedir. Birçok uygulamalı çalışmalarda %95 güven düzeyi kullanılmaktadır.



Şekil 5.32. %95 anlam düzeyine göre ret ve kabul (yeşil) alanları

%95 güven aralığı (ortalama  $- t_{0,05} \times SEM$ ) ile (ortalama  $+ t_{0,05} \times SEM$ ) arasındadır.  $t_{0,05}$  değeri örneklemimizin serbestlik derecesine göre t tablolarından bulunmaktadır. Standart Hata (SEM, Standart Error of Mean) denklemi 5.2’de verilmiştir. %95 güven aralığı büyüdükçe alt ve üst güven sınırları artmaktadır (Altunkaynak, 2008; Yıldız, 2006).

$$SEM = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (5.2)$$

*SEM*; *Standart Error of Mean, Standart Hata*

*s* ; *Standart Sapma*

*n* ; *Örnek sayısı*

Ekler bölümünde bütün atış kayıtları için dört kestirim yöntemi ile elde edilen sonuçlara yapılan güven aralığı analizi grafikleri görülmektedir. Grafiklerdeki kırmızı çizgi verinin ortalamasını göstermektedir. Kırmızı bölge güven aralığını mavi bölge ise ortalamaya göre  $\pm$  Standart sapma aralığını tanımlamaktadır. Güven aralığının genişliği kestirim sonuçlarının hassasiyeti konusunda fikir vermektedir.

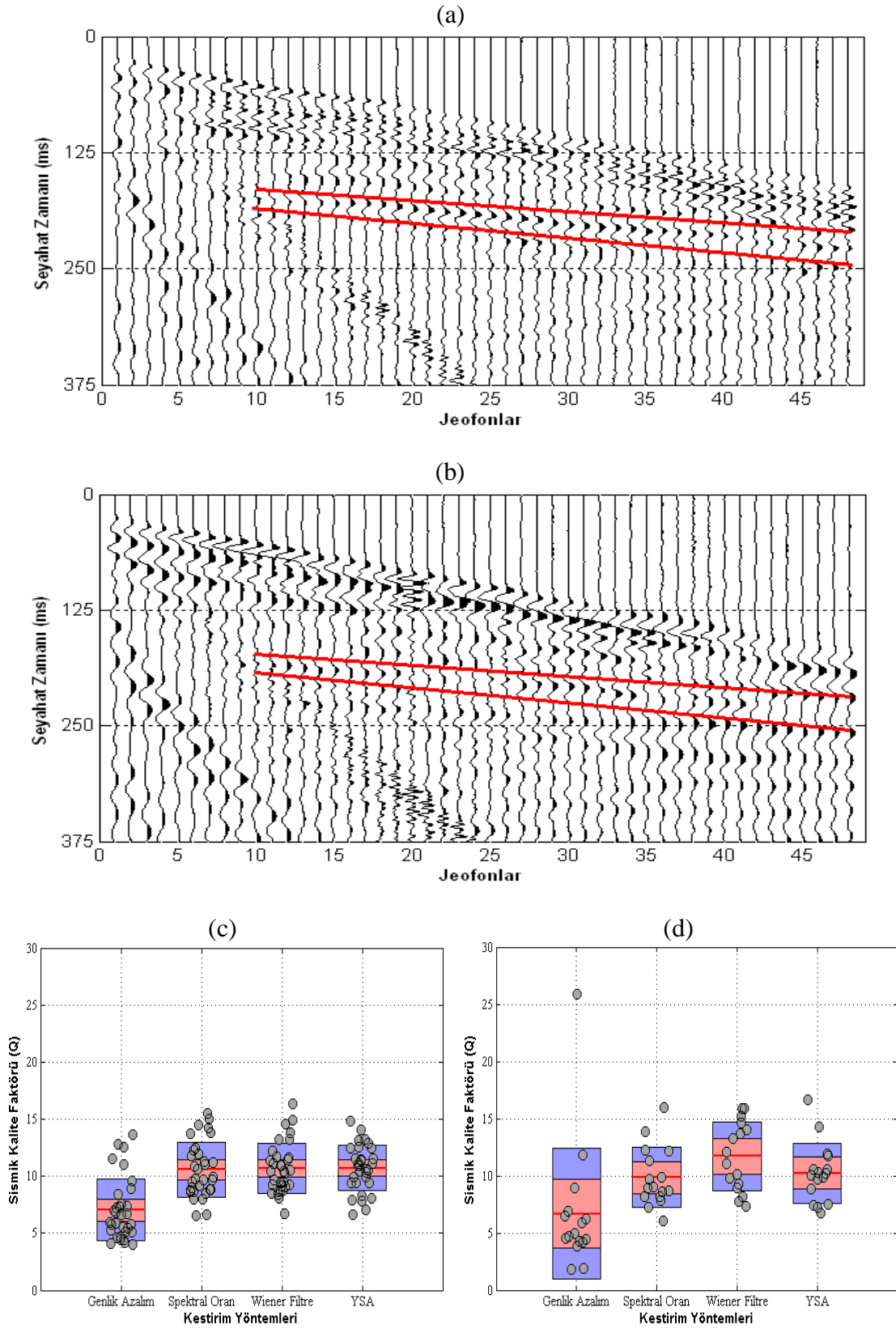
Güven aralığının geniş olması tahminlerimizin hassas olmadığını dar olması ise bunun tam tersini göstermektedir. Şekil 5.33’de gürültü miktarları birbirinden farklı

iki iz için güven aralığı analiz sonuçları görülmektedir. Şekil 5.33 (a)'da görülen veride ilgili yansıma seviyesinde dalgacıklar Şekil 5.33 b'deki veriye nazaran daha net bir şekilde görülmektedir. Bu iki veriye ait güven aralığı ve standart sapma bölgeleri ise sırasıyla Şekil 5.33 c ve d'de görülmektedir. Buna göre gürültü miktarından en çok etkilenen yöntemin genlik azalım yöntemi olduğu, en az etkilenen yöntemin ise YSA yöntemi olduğu söylenebilir.

### 5.10. Q Parametresi Kestirim Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, yüksek ayrımlı sismik yansıma atış verileri kullanılarak sığ bölge için genlik azalım, spektral oran, Wiener süzgeç ve YSA yöntemleriyle Q parametresi kestirimleri yapılmıştır. 4 yöntem ile kestirilen Q parametresi değerleri birbiri ile mukayese edilerek incelenmiştir. Tablo 5.5'de yöntem ve atışlara ait kestirim sonuçlarının sayısal değerleri ayrıntılı bir şekilde görülmektedir. Tablo 5.5 ve Şekil 5.29'da görüleceği üzere genlik azalım yönteminde diğer yöntemlere göre nispeten daha düşük kestirim sonuçları ve daha yüksek standart sapma değerleri elde edilmiştir. Spektral oran, Wiener süzgeç ve YSA kestirim sonuçları arasında ise dikkate değer bir farklılık görülmemektedir. Ayrıca bu yöntemlerin kestirim sonuçları tüm atış kayıtlarında oldukça birbirine yakındır. Bu durum, incelenen atışlar boyunca zeminde herhangi bir yanal süreksizliğin olmadığı bir göstergesidir. Tüm atış kayıtları dikkate alınarak kestirilen Q parametrelerinin yöntemlere göre ortalaması, genlik azalım yönteminde 6,3, spektral oran yönteminde 10,2, Wiener süzgeç yönteminde 10,8 ve YSA yönteminde 10,7 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca her yöntem için bölüm 5.9'da belirtildiği üzere güven aralığı analizi yapılmıştır. Bu analiz neticesinde elde edilen Q parametre aralıklarının kullanılması, çalışma alanının değerlendirilmesinde tek bir değer üzerinden değerlendirmeye nazaran daha tutarlı ve geniş bakış açısıyla inceleme konusunda avantaj ve güven sağlayacaktır. Yöntemlerin güven aralıklarının alt ve üst limit değerleri, genlik azalım yönteminde [2,9-9,7], spektral oran yönteminde [7,9-12,6], Wiener süzgeç yönteminde [8,7-13,3] ve YSA yönteminde [8,1-13,6] olarak hesaplanmıştır. İlgili aralıklar kullanılarak çalışma alanının zemin özellikleri incelenmiştir.





Şekil 5.33. İki farklı veriye ait güven aralığı ve standart sapma analizi. a ve b sismik yansıma atış kayıtları, c ve d ilgili atışlara ait güven aralığı analizi (kırmızı çizgi: kestirimin ortalaması, kırmızı bölge: güven aralığı, mavi bölge: ortalamaya göre  $\pm$  standart sapma aralığı)

Q parametresine bağlı olarak zemin incelemesi yapılan alan fiziksel olarak oldukça zayıf zemin özellikleri göstermektedir. Zemin litolojisinde gözlenen kil ve kum, geoteknikte genel olarak düşük mukavemet ve taşıma kapasitesine sahip, porozitesi yüksek olarak tariflenmektedir. Ayrıca bu tip zeminler suya doygun olduklarında fiziksel dayanım kapasitelerinde anlamlı derecede azalma olmaktadır. İncelenen zeminin yeraltı su gözlemlerinde ve jeoelektrik çalışmalarında yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın ve litolojik birimlerin suya doygun olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca zeminin baskın periyodunun, büyütmesinin ve  $V_p/V_s$  oranının yüksek olması zeminin fiziksel kapasitesinin zayıf olduğunu göstermektedir. Bu fiziksel şartlar altında kestirim yöntemlerinin performansları dikkate alındığında, kestirilen Q parametresi ortalama değeri yaklaşık olarak 10,6, güven aralığı içerisinde ise 7,9 ile 13,6 arasında bulunmuştur. Elde edilen kestirim sonuçlarına göre, genel olarak porozitesi yüksek suya doygun killi ve kumlu zeminlerde Q parametresinin belirtilen güven aralığında olması beklenilebilir. Sismik yansıma atış kayıtlarında kestirilen Q parametre değerleri arasında çok fazla bir farklılık bulunmamaktadır. Bu durum yanal olarak bir süreksizliğinin ve litolojik bir değişimin bulunmadığını göstermektedir. Çalışma alanındaki zeminin fiziksel özelliklerinin ve yapısının oluşumunda, ortamın heterojenitesinde, güncel ve eski heyelanlar oldukça etkilidir. Özellikle bu heterojen ortamlar sismik enerjinin saçılarak yitirilmesinin ana nedenlerinden biridir.

## BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, genlik azalım, spektral oran, Wiener süzgeç ve Yapay Sinir Ağları yöntemleri kullanılarak sismik kalite faktörünün kestirimine yönelik olarak MATLAB ortamında programlar yazılmıştır. Bu programlar soğrulma içeren yapay sismogram kayıtlarında test edilmiş ve kestirim yöntemlerinin performansları incelenmiştir. Yapay verideki soğrulma parametresinin kestiriminde oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiş ve kestirim yöntemleri TÜBİTAK projesi kapsamında İstanbul ili, Arnavutköy ilçesi, Yeniköy mahallesinde toplanmış yüksek ayrımlı sismik yansıma verilerine uygulanmıştır. Arazide toplanan veriye kestirim yöntemlerinin uygulanmasıyla bulunan Q değerleri, istatistiksel olarak değerlendirilerek daha anlamlı sayısal tanımlamaları yapılmıştır. Uygulamalar sonucunda elde edilen Q değerleri ile zemin litolojisi ve özellikleri incelenmiştir.

Yapay sismogramlar oluşturulurken sıfır fazlı Ricker dalgacığı ve Kjartansson tarafından 1979 yılında geliştirilen Q parametresinin frekansla değişmediği sabit Q yaklaşımı kullanılmıştır. Yapay veriler, Q parametresinin kestiriminde kullanılan yöntemlerin uygulanmasında kriterlerin çıkarılması ve sonuçlarının kontrol edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Yapay verilerde elde edilen sonuçlara göre kestirim yöntemlerinin uygulaması amacıyla yazılan programların gerçek veride kullanılabileceği görülmüştür. Yöntemler gerçek veriye uygulanmış ve Q kestirimleri elde edilmiştir. Kestirilen Q değerlerine standart sapma ve güven aralığı analizlerinin uygulanması değerlerin daha anlamlı tanımlanmasında ve kestirim yöntemlerinin karşılaştırılmasında fayda sağlamıştır.

Soğrulmaya uğramış yapay verilerde dalganın seyahat mesafesi ve süresi arttıkça zaman ortamında dalganın genliğinde azalma, genişliğinde artma frekans ortamında ise daralma meydana gelmektedir. Ayrıca düşük frekanslı verilere nazaran yüksek

frekanslı verilerde soğrulma daha fazla gözlenmiştir. Q değeri yüksek olduğunda soğrulma miktarı azalmakta, düşük olduğunda ise artmaktadır.

Gürültü içermeyen soğrulamaya uğramış yapay verilerde kestirim yöntemlerinin başarı yüzdesi oldukça yüksektir. Genlik azalım yöntemi diğer yöntemlere göre daha düşük başarı yüzdesine sahiptir. Spektral oran ve Wiener süzgeç yöntemi %98'in üzerinde kestirim başarısı göstermiştir. Wiener süzgeç yöntemi spektral oran yöntemine göre kestirim başarısı nispeten yüksektir. YSA yöntemi ise %99'un üzerinde kestirim başarısı göstermektedir. Buna göre gürültüsüz verilerde en iyi kestirim sonuçlarını YSA yöntemi vermiştir. Bu yöntemi sırasıyla Wiener süzgeç, spektral oran ve genlik azalım yöntemi takip etmektedir.

Kestirim yöntemlerinin performansı gürültü içermeyen verilerin yanı sıra belirli miktarlarda gürültü içeren verilerde de değerlendirilmiştir. Yapay verilerdeki gürültü miktarının artmasıyla kestirim yöntemlerinin başarı yüzdesi düşmektedir. Özellikle genlik azalım yönteminin gürültüye diğer yöntemlere nazaran daha duyarlı ve başarı yüzdesinin düşük olduğu görülmüştür. Gürültü içermeyen yapay verilerde olduğu gibi YSA yöntemi gürültü içeren yapay verilerde de daha iyi kestirim sonuçları göstermiştir. Wiener süzgeç yöntemi spektral oran yöntemine göre daha yüksek kestirim başarısı göstermektedir.

Yapay verilerde elde edilen sonuçlara göre verideki gürültü miktarı Q kestirim sonucunu etkilemektedir. Q kestiriminde kullanılacak olan verinin yüksek kalitede ve gürültü etkisinin az olması, kestirim güvenilirliğini arttırmaktadır.

Q kestirim işleminde geleneksel yöntemlerin uygulanmasında bölüm 2'de verilen denklem ve işlemler kullanılmaktadır. Buna karşın YSA yönteminin uygulamasında birçok ağ yapısı, öğrenme algoritması ve nöron sayısı kullanılarak modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modellerin test sonuçlarına göre Q parametresinin kestirimi için en uygun model tespit edilmiştir.

Bu çalışmada Q kestiriminde en uygun YSA modelini belirlemek amacıyla Levenberg-Marquardt (LM), Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno Quasi-Newton

(BFG), Conjugate Gradient with Fletcher-Reeves (CGF), One Step Secant (OSS), Scale Conjugate Gradient (SCG) olmak üzere toplam 5 öğrenme algoritması kullanılmıştır. Her öğrenme algoritması için 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 ve 22 nöronlu yapılar oluşturulmuştur. Gürültü içermeyen veriler için 60, gürültü içeren veriler için 360 ve arazide kullanılacak YSA modelinin oluşturulması için 60 olmak üzere toplam 480 YSA modeli oluşturulmuştur. YSA modellerinin Q kestirimindeki ortalama karesel hata değerlerine göre en iyi sonuç veren öğrenme algoritması olarak Levenberg-Marquardt (LM) belirlenmiştir. Oluşturulan YSA modellerinde 0 ve 2 nöronlu yapılarda hata miktarı yüksek değerler göstermesine karşın 4 ve üstü nöronlu yapılarda ise hata miktarında dikkate değer bir azalma gözlenmiştir.

YSA yönteminin arazide toplanmış sismik yansıma verilerine uygulanabilmesi için, üretilecek yapay verilerin, arazide toplanan verilerin genel özelliklerini taşıması gerekmektedir. Arazide toplanmış yüksek ayrımlı sismik yansıma verilerinin Q kestiriminde kullanılmak üzere 20 nöronlu Levenberg-Marquardt öğrenme algoritmasına sahip 3 girdi parametresinden ve tek çıktıdan (Q değeri) oluşan YSA modeli seçilmiştir. Aynı amaca yönelik olarak YSA yapısı, girdi sayısı, öğrenme algoritmaları, nöron sayıları gibi özelliklerde değişiklikler yapılarak farklı YSA Q kestirim modelleri geliştirilebilir.

Bu çalışmada, Q kestirim işleminde en başarılı sonuçları veren YSA modeli, sismik veri özelliklerinin aynı olduğu ve çalışma alanının litolojik ve fiziksel özelliklerine yakın sahalarda kullanılabilir. İleriki zamanlarda YSA modeli geliştirilerek daha farklı arazi ve veriler için kullanılabilir. Böylece araştırmacılar modeli kullanarak çalışma alanının fiziksel ve litolojik özellikleri hakkında bilgi sahibi olabilirler. Bu çalışmada geliştirilen YSA modelinde sadece dalgacıkların belirlenmesi ile Q değerleri hızlı bir şekilde kestirilmektedir.

Bu çalışmada YSA yöntemi ile Q kestirimi sığ derinlikler için yapılmıştır. YSA yöntemi, kabuk yapısının, fay bölgelerinin, petrol ve doğalgaz alanlarının soğrulma parametresinin kestirilmesinde kullanılabilir. YSA birçok disiplin tarafından kestirim problemlerinde başarı ile uygulanmaktadır. YSA yöntemi, jeofizik mühendisliğinin diğer alanlarında da kestirim problemlerinde daha aktif olarak kullanılabilir.

YSA yönteminin kestirim işlemlerinde göstermiş olduğu yüksek başarı yüzdesi ve birçok avantajının yanı sıra dezavantajları da bulunmaktadır. Uygun ağ yapısının ve model parametrelerinin belirlenmesinde belli bir kuralın olmaması ve ağ yapısının deneme ve yanılma yoluyla belirlenmesi, ağın davranışlarının tam olarak kestirilememesi YSA yönteminin başlıca dezavantajlarıdır.

İstanbul ili, Arnavutköy ilçesi, Yeniköy mahallesinde toplanmış 20 yüksek ayırlı sismik yasıma atış kaydı üzerinde Q kestirimi yapılmıştır. Kestirim yöntemlerinin hepsinde aynı dalgacıklar kullanılmıştır. Her yöntem için 424 tane Q kestirimi toplamda ise 1696 (4x424) tane Q kestirimi yapılmıştır. Ayrıca kestirim işleminde son jeofonlarda dönüşmüş dalgalar ve yönlendirilmiş dalgaların (guided waves) etkilerinin görülebileceğinden dolayı ilk sıradaki izler kullanılmıştır.

Spektral oran ve Wiener süzgeç yöntemleriyle Q kestiriminde genlik spektrumundaki eğim kullanılmaktadır. Bu çalışmada eğim bulma işleminde Regresyon analizi kullanılmıştır. Regresyon analizleri neticesinde belirleme katsayıları ( $R^2$ ) bulunmuştur. Bu değerlerin 1'e yakın olması eğimin güvenilirliği arttırmakta, 0'a yakın olması ise azaltmaktadır. Bu çalışmada belirleme katsayısı değerlerinden 0,50'nin üzerinde olan sonuçlar kullanılmış altında olanlar kullanılmamıştır. Q kestiriminde eğim bulma işleminde regresyon analizinin kullanılmasının, kestirim güvenilirliğinin artmasında faydalı olduğu düşünülmektedir.

Gerçek verilerde yapılan kestirim neticesinde YSA, Wiener süzgeç ve spektral oran yöntemleriyle elde edilen sonuçların oldukça birbirine yakın olduğu görülmüştür. Yapay verilerde de gözlemlendiği gibi Wiener süzgeç ile spektral oran yöntemleri kullanılarak kestirilen Q değerleri hemen hemen birbirine paralellik göstermektedir. Çoğu atış verisinde bu iki yöntemden biri yükselirken diğeri de yükselmekte, biri azalırken diğeri de azalmaktadır. Genlik azalım yöntemi ile elde edilen kestirim sonuçları diğer üç yöntemle göre daha düşük çıkmıştır. Yöntemlerin çalışma alanı için elde edilen Q kestirim değerlerinin ortalaması, genlik azalım yönteminde 6,3, spektral oran yönteminde 10,2, Wiener süzgeç yönteminde 10,8 ve YSA yönteminde ise 10,7 olarak hesaplanmıştır.

Gerçek verideki kestirim sonuçlarına yapılan standart sapma analizlerine göre, genlik azalım yönteminde bulunan standart sapma dağılımı diğer üç yöntemle oranla daha yüksek değerler vermektedir. Genel olarak en düşük standart sapma değerini YSA ile elde edilen sonuçlar göstermektedir. Wiener süzgeç yönteminde 5 sismik yansıma kaydında daha düşük standart sapma değeri hesaplanmıştır. Wiener süzgeç yönteminde elde edilen standart sapma değerleri, spektral oran yöntemiyle elde edilen değerlerle orantılı olmakla birlikte daha düşük standart sapmalar göstermektedir. Genlik azalım yönteminde hesaplanan standart sapma değerlerinin yüksek olması yöntemin gürültüye olan duyarlılığından kaynaklanmaktadır. Buna göre; genlik azalım yönteminde elde edilen standart sapma sonuçlarının büyük olması ortalama sapmaların ve kestirimde riskin yüksek olduğunu, spektral oran, Wiener süzgeç ve YSA yönteminde ise aksine ortalama sapmaların ve kestirimde riskin az olduğunu göstermektedir.

Gerçek verilerden kestirilen Q değerlerine güven aralığı analizi yapılmıştır. Güven aralığı analizi ile hesaplanan Q parametre aralıklarını kullanarak çalışma alanının değerlendirilmesi, tek bir değer üzerinden değerlendirmeye nazaran daha tutarlı ve geniş bakış açısıyla inceleme konusunda fayda sağladığı düşünülmüştür. İncelenen 20 sismik yansıma atış verisinden 15'inde YSA kestirim sonuçları daha dar güven aralığı verirken 5'inde ise Wiener süzgeç yöntemi daha dar güven aralığı vermiştir. Bütün atış verileri hesaba katılarak yöntemlerin en düşük ve en yüksek güven aralıkları, genlik azalım [2,9-9,7], spektral oran [7,9-12,6], Wiener süzgeç [8,7-13,3] ve YSA [8,1-13,6] olarak hesaplanmıştır. Genlik azalım yöntemi için hesaplanan güven aralığının geniş olmasında gürültünün etkisi olabileceği düşünülmüştür. Zemin özelliklerinin incelenmesinde, birbirlerine oldukça yakın değerlerin bulunduğu spektral oran, Wiener süzgeç ve YSA yöntemlerinin sonuçları kullanılmıştır. Zemin incelemesinde, bu üç yöntemin güven aralığı sınırlarındaki üst ve alt limitleri kullanılmıştır.

Çalışma alanında yapılan önceki çalışmalara göre zemin litolojisi kum ve killerden oluşmakta, yeraltı su seviyesi yaklaşık 5 metre derinde olup litolojik birimler suya doygunudur. Zeminin, baskın periyodu, büyütmesi değeri ve özellikle  $V_p/V_s$  oranı yüksek olarak gözlemlenmiştir. Geoteknik ve Jeofizik mühendisliğinde killi ve

kumlu zeminler porozitesi yüksek, düşük mukavemet ve taşıma kapasitesine sahip olarak tarif edilmektedirler. Ayrıca bu tip zeminler suya doygun olduklarında fiziksel dayanım kapasitelerinde anlamlı derecede azalma olmaktadır. Verilerden kestirilen Q parametreleri incelendiği zaman oldukça zayıf zemin özellikleri gösterdiği görülmektedir. Bu fiziksel şartlar altında genel olarak porozitesi yüksek suya doygun killi ve kumlu zeminlerde Q parametresinin 7,9 ile 13,6 değerlerinin arasında olması beklenebilir.

İncelenen sismik yansıma atış kayıtlarından kestirilen Q değerleri arasında dikkate değer bir farklılık görülmemektedir. Bu durum önemli yanal bir süreksizliğin ve litolojik bir değişimin olmadığını göstermektedir.

Çalışma alanına oldukça yakın mesafelerde kum ve kömür işletmeleri bulunmaktadır. Bu işletmelerin faaliyetlerinden dolayı genel olarak bölgede heyelan alanları oluşmuş ve bazı bölgelerin zemin dengesinde bozulmalar, bölgede yeraltı ve yerüstü su durumunda değişiklikler meydana gelmiştir. Bu çalışmada incelenen 5 numaralı hattın doğu kısmında bulunan açık maden sahalarında alınan toprak ve linyitten dolayı dik yamaçlar ve heyelan bölgeleri oluşarak toprağın bu yönde yanal basıncının azalması, toprağın gevşemesi ve çatlaklı, porozitesi yüksek zeminler meydana gelmiştir. Bu gibi durumlar zeminin fiziksel özelliklerinde olumsuz yönde değişiklikler meydana getirmektedir.

Q kestiriminde kullanılan sismik hattın yaklaşık 100 metre güney tarafında güncel heyelan izleri görülmektedir. Çalışma alanındaki zeminin fiziksel özelliklerinin ve yapısının oluşmasında güncel ve eski heyelanlar oldukça etkilidir. Özellikle kumlu zeminler heyelan hareketlerinin sıklıkla gözlemlendiği zemin tipidir. Çalışma alanında bulunan kumlu zeminlerin yeraltı ve yerüstü sularının etkisiyle kaymalar ve akmlar oluşturmuş olabilir. Çalışma alanında önceden yapılan çalışmalara göre zeminin heterojen bir yapıda olduğu ve bu heterojenitenin olasılıkla eski heyelanlarla ilgili karmaşık malzeme birikiminden kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir. Özellikle bu heterojen ortamlar sismik enerjinin saçılarak yitirilmesinin ana nedenlerinden biridir (Ergintav vd., 2011).



Bu çalışmada kestirilen Q değerleri ile zemin incelemesi yapılmıştır. Bu bakımdan tez çalışmasında soğrulmanın zemin incelemelerinde, litolojik kestiriminde kullanılması bilgi birikiminin artması bakımından oldukça önemlidir. Q değerleri çalışma alanı hakkında ön fikir elde edilmesinde kullanılabilir. Kestirilen Q değerleri, sismik hız değerleri ile birlikte kullanarak, çalışma alanının ileriki zamanlarda detaylı incelenmesi amacıyla uygulanabilecek yöntemlerin seçiminde, uygulama şeklinin ve koordinatlarının belirlenmesinde kullanılabilir. Zemin araştırmalarına yönelik olarak yapılan sismik uygulamalarda, soğrulma ile ilgili çalışmaların da yapıyor olması, sismik verileri değerlendirmede, yorumlamada çok daha güvenli ve yararlı sonuçların alınabileceği açıktır.

Alışıl gelmiş yöntemlere ilave olarak Q kestiriminde kullanılan YSA yönteminde işlemler zaman ortamında yapılmıştır. Bu çalışmada YSA yöntemi kullanılarak dalga formundan soğrulma parametresinin kestirilmesi, sismik uygulamalar alanında yapılan ilk çalışmalar arasında yer alacaktır. Yöntemin sismik Q kestirimi uygulamalarında daha da pratik hale getirilmesi yaygın kullanımı artıracaktır.

## KAYNAKLAR

AKDENİZ, F., Olasılık ve İstatistik, Genişletilmiş 12. Baskı, Nobel Kitabevi, Adana, ISBN : 975-8561-38-3, s. 549, 2006.

AKI, K. and RICHARDS, P.G., Quantitative Seismology, Theory and Methods, Volume I: 557 pg., 169 illustrations. Volume II: 373 pg., 116 illustrations. San Francisco: Freeman, ISBN 0 7167 1058 7 (Vol. I), 0 7167 1059 5 (Vol. II), 1980.

AKINCI, A. and EYİDOĞAN, H., Scattering and anelastic attenuation of seismic energy in the vicinity of north Anatolian fault zone, eastern Turkey, Physics of the Earth and Planetary Interiors, 122, pp. 229-239, 2000.

ALTUNKAYNAK, B., GAMGAM, H., ÜNVER Ö., Uygulamalı Temel İstatistik Yöntemler, Seçkin Yayıncılık / Yayınevi Genel Dizisi, s. 424, 6. Basım, Ankara, ISBN: 9789750216305, 2008.

ANDERSON, D. L., and HART, R.S., Q of the Earth, Journal of Geophysical Research, 83 (B12), pp. 5869-5882, 1978.

ANSTEY, N. A., Seismic interpretation: The physical aspects: Internat. Human Res. Develop. Corp., pg. 625, 1977.

ARICI, H., İstatistik, Yöntemler ve Uygulamalar, Meteksan Yayınları, s. 268, ISBN: 9789757746317 Ankara, 2004.

ARIÇ, C., Haliç-Küçükçekmece bölgesinin jeolojisi, Doktora tezi, İTÜ, Maden Fakültesi yayını, s. 48, 1955.

ARISTODEMOU, E., PAIN, C., OLIVEIRA, C., GODDARD, T. and HARRIS, C., Inversion of nuclear well-logging data using neural Networks, Geophys. Prospect., 53, pp. 103-120, 2005.

BABBEL, G., Untersuchungen zur Bestimmung der Dämpfung seismischer Wellenaus Reflexions seismogrammen. Ph.D. thesis, University of Clausthal., 1984.

BARONIAN, C., RIAHI, M.A. and LUCAS, C., Applicability of artificial neural networks for obtaining velocity models from synthetic seismic data, Int. J. Earth Sci, 98, pp. 1173-1184, doi:10.1007/s00531-008-0314-3, 2009.

BATH, M., Spectral analysis in geophysics, Developments in Solid Earth Geophysics, M. Bath (edt.), 7, Elsevier Science Publishing Co., 1974.

BAYAZIT, M., Mühendisler İçin İstatistik, Birsen Yayınevi, s. 211, ISBN: 9789755111026, İstanbul, 2005.

BEST, A.I., HUGGETT, Q.J. and HARRIS, A.J.K., Comparison of in situ and laboratory acoustic measurements on Lough Hyne marine sediments, *J. Acoust. Soc. Am.* 110 (2), pp. 695-709, 2001.

BEST, A.I., SOTHCOTT, J., MCCANN, C., A Laboratory study of seismic velocity and attenuation anisotropy in near-surface sedimentary rocks, *Geophys. Prosp.* 55, pp. 609-625, 2007.

BIRCH, F. and BANCROFT, D., Elasticity and internal friction in a long column of granite, *Bull. Seis. Soc. Am.* 38, pp. 243-254, 1938.

BOADU, F.K., Rock Properties and Seismic Attenuation: Neural Network Analysis, *Pure appl. geophys.*, 149, pp. 507-524, 1997.

BORN, W.T., The Attenuation Constant of Earth Materials, *Geophysics*, 6 (2), pp. 132-148, 1941.

BOURBIE, T., COUSSY, O. and ZINSZNER, B., Acoustic of porous media, Edited by Amos Nur, Editions TECHNIP, pg., 334, 1987.

BRAILE, L., The Earth's crust, AGU Monograph Series, no. 20, Am. Geophys. Un., Washington, DC., 1977.

BRUCKSHAW, J. and MAHANTA, P., The variation of elastic constants of the rocks with frequency, *petroleum*, 17, pp. 14-18, 1954.

BRUNSON, B.A., Shear Wave Attenuation In Unconsolidated Sediments, Phd. Thesis, Oregon State University, 1984.

CALDERON-MACIAS, C., SEN, M.K. and STOFFA, P.L., Artificial neural networks for parameter estimation in geophysics, *Geophys. Prospect.*, 48, pp. 21-47, 2000.

CALDERON-MACIAS, C., SEN, M.K. and STOFFA, P.L., Automatic NMO correction and velocity estimation by a feed forward neural network, *Geophysics*, 63(5), pp. 1696-1707, 1998.

CAO, A. and ROMANOWICZ, B., Constraints on shear wave attenuation in the Earth's inner core from an observation of PKJKP, *Geophys. Res. Lett.* 36, L09301, doi:10.1029/2009GL038342, 2009.

ÇORUH, C., SAATCILAR, R., DEMİRBAĞ, E. and COSTAİN, J., Estimation of Q-Factor for Spectral Whitening, 60th SEG, Annual International Meeting, Exposition September 23-27, Expanded Abstract, pp. 1082-1085 San Francisco, 1990.

DAS, S. K. and SAMUI, P., Applicability of Statistical Learning Algorithms for Seismic Attenuation Prediction, The 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG), pp. 1627-1633, Goa, India, 1-6 October, 2008.

DİZMAN, C., İstanbul-Gaziosmanpaşa İlçesi Yeniköy Maden Sahası Terk Edilen Ocakların Yerleşim Amaçlı Kullanılabilirliğinin Mühendislik Jeolojisi Açısından Değerlendirilmesi, s. 149, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 2008.

DOĞAN, T., ÖZER, Ü., KAHRAMAN, A., BOZDOĞAN, H.M., İstanbul-Yeniköy Yöresindeki Bir Linyit Açık Ocağının Bilgisayar Destekli Modellenmesi, İstanbul Üni. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, 19(2), ss. 157-167, 2006.

DOMNESTEANU, P., MCCANN, C., SOTHCOTT, J., Velocity anisotropy and attenuation of shale in under and over pressured conditions, Geophys. Prosp., 50, pp. 487-503, 2002.

ECEVİTOĞLU, B., KAYPAK, B., UYAR ALDAŞ, G., Faylara olan güvenli uzaklığın sismik yöntemle hesaplanması, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi, Yerbilimleri, 3(1), 1-10, 2009.

EL YADARI, N., ERNST, F. and MULDER, W.A., Near-Surface Attenuation Estimation, EAGE 69th Conference & Exhibition - London, UK, 11 - 14 June 2007.

ELMAS, Ç., Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Uygulama), Ankara, Seçkin Yayıncılık, s. 193, 2003.

ENGELHARD, L., Determination of the seismic wave attenuation by complex trace analysis, Geophysical Journal International, 125, pp. 608-622, 1996.

ENGELHARD, L., DOAN, D., DOHR, G., DREWS, P., GROSS, T., NEUPERT, F., SATTLEGGER, J. and SCHÖNFELD, U., Determination of the attenuation of seismic waves from actual field data, as well as considerations to fundamental questions from model and laboratory measurement, DGMK Report, 254, pp. 83-119, 1986.

ERGİNTAV, S. and CANİTEZ, N., Modeling of Multi-scale Media In Discrete Form, Journal Of Seismic Exploration, 6, pp. 77-96, 1997.

ERGİNTAV, S., Rastgele Ortamlarda Dalga Yayılımının Modellenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi. 1993.

ERGİNTAV, S., EDİGER, V., İNAN, S., SAATÇILAR, R., DEMİRBAĞ, E., ALPARSLAN, E., ERGİN, M., DOĞAN, U., TAN, O., ÇAKIR, Z., DİKBAŞ, A., BİÇMEN, F., KOŞMA, R., TARANCIOĞLU, A., DUYGUN, F., SARIKAYA, Ö., TAPIRDAMAZ, C., BELGEN, A., KOŞMA, M., YÖRÜK, A., ARSLAN, G., ERKAN, B., İstanbul Kara Alanındaki Olası Diri Fayların Araştırılması ve Öncelikli Heyelanlı Alanlarda Çok Disiplinli Araştırmalar Yapmak Suretiyle Heyelan Tespit

ve İzleme Yöntemlerinin Geliştirilmesi, TÜBİTAK MAM YDBE, Proje No: 5097701, s. 499, Gebze, KOCAELİ, 2011.

ESSENREITER, R., KARRENBACH, M. and TREITEL, S., Multiple Reflection Attenuation in Seismic Data Using Back propagation, IEEE Transactions On Signal Processing, 46(7), pp. 2001-2011, 1998.

GARDNER, G.H.F., WYLLIE, M.R.J. and DROSHAK D.M., Effects of pressure and fluid saturation on the attenuation of elastic waves in sands, J. Petrol. Tech., 16, pp. 189-198, 1964.

GHOFRANI, H. and ATKINSON, G.M., Fore arc versus Back arc Attenuation of Earthquake Ground Motion, Bull. Seismol. Soc. Am., 101(6) pp. 3032-3045, doi: 10.1785/0120110067, 2011.

GIBBS, J.F.,BOORE, D.M., JOYNER, W.B. and FUMAL, T.E., The Attenuation of Seismic Shear Waves in Quaternary Alluvium in Santa Clara Valley, California, Bull. Seismol. Soc. Am., 84 (1), pp. 76-90, 1994.

GLADWIN, M.T. and STACHY, F.D., Anelastic degradation of acoustic pulses in rock, Physics of the Earth and Planetary Interiors, 8, pp. 332-336, 1974.

Google Earth, İnternet Sitesi, <http://www.googleearth.com>. Erişim Tarihi: 18.11.2012.

GÖKÇEN, N., Pınarhisar formasyonunun yaşı ve ortam şartlarında görülen yanal değişimler (Kuzey, kuzeydoğu Trakya), Cumhuriyetin 50. Yılı yer Bilimleri Kongresi Tebliği, ss. 128-142, 1975.

HAGAN, M. T., DEMUTH, H. B. and BEALE, M., Neural Network Design, PWS Publishing Company, Boston, 1996.

HAMILTON, E.L., Compressional-wave attenuation in Marine Sediments, Geophysics, 37, pp. 620-646, 1972.

HAYKIN, S., Neural Networks: A Comprehensive Foundation, New York: Macmillan College Publishing Co., pg. 696, ISBN: 9780023527616, 1994.

HEBB, D.O., The organization of Behavior: A Neuro psychological Theory, New York: Wiley, 1949.

HOLMES, A.W., A stratigraphic review of Thrace, Turkish Petroleum Corporation, (yayınlanmamış teknik rapor) 368, pp 1-56, Ankara, 1961.

HONGYONG, Y. and YANG, L., Estimation of Q and inverse Q filtering for prestack reflected PP- and converted PS-waves, Applied Geophysics, 6 (1), pp.59-69, doi:10.1007/s11770-009-0009-y, 2009.

HU, J. and SU, Y., Estimation of the quality factor in shallow soil using surface waves, *Acta Seismologica Sinica*, 12(4), pp. 481-486, 1999.

HUANG J., BELLEFLEUR, G., MILKEREIT, B., Application of conditional simulation of heterogeneous rock properties to seismic scattering and attenuation analysis in gas hydrate reservoirs, *J. Appl. Geophys.*, 77, pp. 83-96, doi:10.1016/j.jappgeo.2011.12.002, 2012.

HUI, C., *Artificial Neural Networks – Application*, Publisher: Intech, ISBN 978-953 307-188-6, pg. 586, 2011.

İBB, Şehir Bölge Planlama Müdürlüğü, İstanbul Büyükşehir alanı ve çevresinde; tarım sektörünün gelişim sürecinin mekansal boyutu ile birlikte incelenmesi ve araştırılması, bu sektörün geleceğe dönük gelişme eğilim ve potansiyellerinin belirlenmesi, planlamaya dönük gelişme stratejileri ve modellerinin tanımlanması konularına yönelik analitik etüd işi raporu, İstanbul, Türkiye, 2006.

JACKSON, D.D., Grain boundary relaxation and the attenuation of seismic waves: Ph.D. thesis, M.I.T, 1969.

JANNSEN, D., VOSS, J. and THEILEN, F., Comparison of methods to determine Q in shallow marine sediments from vertical reflection seismograms, *Geophys. Prospect.*, 33, pp. 479-497, 1985.

JOHNSTON, D.H., TOKSÖZ, M.N., TİMUR, A., Attenuation of seismic waves in dry and saturated rocks: II. Mechanisms. *Geophysics*, 44, pp. 691-711, 1979.

KESKİN, C., Kuzey Ergene havzasının stratigrafisi (Stratigraphy of the northern Ergene Basin), Türkiye İkinci Petrol Kongresi, pp. 137-163, 1974.

KESKİN, C., Pınarhisar resif karmaşığı mikrofasiyes incelemesi, *Rev. Fac. Scien. Univ. İst.*, Seri B, 31/3-4, pp. 109-146, 1966.

KJARTANSSON, E., Constant - wave propagation and attenuation, *J. Geophys. Res.*, 84, pp. 4737-4748, 1979.

KLIMENTOS, T., and MCCANN, C., Relationships among compressional wave attenuation, porosity, clay content, and permeability in sandstones, *Geophysics*, 55, pp. 998-1014, 1990.

KLIMENTOS, T., Attenuation of P- and S-waves as a method of distinguishing gas and condensate from oil and water, *Geophysics*, 60, pp. 447-458, 1995.

KOHONEN, T., Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological Cybernetics*, 43, pp. 59-69, 1982.

KOHONEN, T., The Self-organizing Map, *Proc IEEE*, 78 (9), 1990.

KOULAKOV, I., BINDI, D., PAROLAI, S., GROSSER, H. and MILKEREIT, C., Distribution of Seismic Velocities and Attenuation in the Crust beneath the North Anatolian Fault (Turkey) from Local Earthquake Tomography, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 100 (1), pp. 207-224, doi: 10.1785/0120090105, 2010.

KÖKSAL, B.A., İstatistik - Analiz Metodları, Çağlayan Kitabevi / Akademik Kitaplar Dizisi, s. 556, 6. Basım, İstanbul, ISBN: 9789754360523, 2003.

KULLUK, S., Karınca Koloni Optimizasyonu ile Yapay Sinir Ağlarından Kural Çakarımı, Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi, FBE Enstitüsü, Kayseri, 2009.

KURTULUŞ, C. and SERTÇELİK, F., Attenuation measurements on shallow seismic refraction data in the Kocaeli region, Turkey, *J. Geophys. Eng.*, 7, pp. 257-266, doi:10.1088/1742-2132/7/3/004, 2010.

KUSTER, G. T. and TOKSÖZ, M. N., Velocity and attenuation of seismic waves in two-phase media - part II - Experimental results: *Geophysics*, 39 (5), pp. 607-618, 1974.

LEVINSON, N., The Wiener RMS (root mean square) error criterion in filter design and prediction, *J of Math. and Phys.*, 25, pp. 261-278, 1947.

MAITI, S., TIWARI, R.K. and KÜMPEL, H.J., Neural network modeling and classification of lithofacies using well log data: a case study from KTB borehole site, *Geophys. J. Int.*, 169, pp. 733-746, doi: 10.1111/j.1365-246X.2007.03342.x, 2007.

MALAGNINI, L., Velocity and Attenuation Structure of Very Shallow Soils: Evidence for a Frequency-Dependent Q, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 86(5), pp. 1471-1486, 1996.

MCCORMACK, M.D., Neural Computing in Geophysics, *The Leading Edge*, 10 (1), pp. 11-15, SEG publication, 1991.

MCCULLOCH, W. S., and PITTS, W., A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity: *Bull. Math. Biophys.*, 5, pp. 115-133, 1943.

MINSKY, M. and PAPERT, S., *Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry*. MIT Press, Cambridge, MA., 1969.

MOHAN,K., JOSHI, A., Role of attenuation relationship in shaping the seismic hazard, *Nat Hazards*, 60, pp. 649-670, doi10.1007/s11069-011-0043-y, 2012.

MTA Genel Müdürlüğü, *Türkiye Jeoloji Haritası-İstanbul*, Ankara, 2002.

MURAT, M. E. and RUDMAN, A. J., Automated first arrival picking: A neural network approach, *Geophys. Prosp.*, 40, pp. 587-604, 1992.

OKAY, A. I. & TÜYSÜZ, O., Tethyan sutures of northern Turkey. In: DURAND, B., JOLIVET, L., HORVATH, F. & SERANNE, M. (eds) *The Mediterranean*

Basins: Tertiary Extension with in the Alpine Orogen. Geological Society, London, Special Publications, 156, pp. 475-515., 1999.

OKAY, A.I., Pontides: Three terranes assembled in the Cretaceous, 2nd International Symposium on the Geology of the Black Sea region, 5-9 October, Ankara, 2009.

OKTAY, F.Y., EREN, R.H., SAKINÇ, M., Karaburun-Yeniköy (İstanbul) çevresinde Doğu Trakya Oligosen havzasının sedimanter jeolojisi, Türkiye 9. Petrol Kongresi Bildiriler Kitabı, ss. 92-101, 1992.

ORUÇ, B., Teori ve Örneklerle Jeofizik'te Modelleme, Kocaeli Üniversitesi yayımları Yayın No:227, s. 340, 2006.

ÖZGÜL, N., ÖZCAN, İ., AKMEŞE, İ., ÜNER, K., BİLGİN, İ., KORKMAZ, R., YILDIRIM, Ü., YILDIZ, Z., AKDAĞ, Ö., TEKİN, M., İstanbul İl Alanın Jeolojisi, İBB Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü, p. 103, İstanbul, 2011.

ÖZGÜL, N., ÜNER, K., AKMEŞE, İ., BİLGİN, İ., KOKUZ, R., Özcan, İ., YILDIZ, Z., YILDIRIM, Ü., AKDAĞ, Ö., TEKİN, M., İstanbul il alanının genel jeoloji özellikleri, İBB Deprem ve Zemin İnceleme Müd., s. 80, İstanbul, 2005.

ÖZKAN, Y., Uygulamalı İstatistik 2, Genişletilmiş 2. Baskı, Sakarya Yayınevi, s. 325, ISBN:9789758644100, Sakarya, 2007.

ÖZTEMEL, E., Yapay Sinir Ağları, İstanbul, Papatya Yayıncılık, s. 238, 2003.

ÖZTEMEL, E., Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık, İstanbul, ISBN 9789756797396, s. 232, 2006.

PATTERSON, D.W., Artificial Neural Networks (Theory and Applications), Prentice Hall, pg. 400, ISBN-10: 0132953536, ISBN-13: 978-0132953535, 1998.

PESELNICK, L. and ZIETZ, I., 1959, Internal friction of fine grained limestones at Ultrasonic frequencies, Geophysics, 24, pp. 285-296, 1959.

PITILAKIS, K., RAPTAKIS, D., LONTZETIDIS, K., TIKA-VASSILIKOU T.H. and JONGMANS, D., Geotechnical and Geophysical Description Of Euro-Seistest, Using Field, Laboratory Tests and Moderate Strong Motion Recordings, Journal of Earthquake Engineering, 3(3), pp. 381-409, 1999.

POULTON, M.M., Computational Neural Networks for Geophysical Data Processing, 30, ISBN: 0080439861, Elsevier Science Inc. New York, NY, USA, pg.335, 2001.

PRASAD, M., ZIMMER, M.A., BERGE, P.A. and BONNER, B.P., Laboratory Measurements of Velocity and Attenuation in Sediments, SEG, Lawrence Livermore National Laboratory, pg.35, 2004.



RAIKES, S.A. and WHITE, R.E., Measurements of Earth attenuation from downhole and surface seismic recordings, *Geophys. Prospect.*, 32, pp. 892-919, 1984.

RÖTH, G., and TARANTOLA, A., Neural networks and inversion of seismic data: *J. Geophys. Res.*, 99, pp. 6753-6768, 1994.

REYNOLDS, J.M., *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley&Sons Ltd., Chichester, England, pg. 796, ISBN:0-471-96802-1, 1998.

RICKER, N., *Transient waves in viscoelastic media*, Elsevier, Amsterdam, pg. 278, 1977.

ROSENBLATT, F., The Perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, Vol. 65, pp. 386-408, 1958.

RUBINO, J.G. and HOLLIGER, K., Seismic attenuation and velocity dispersion in heterogeneous partially saturated porous rocks, *Geophys. J. Int.*, pp. 1088-1102, doi: 10.1111/j.1365-246X.2011.05291.x, 2012.

RUMELHART, D. E. and MCCLELLAND, J. L., *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*, Vol.1 Cambridge, MA: MIT Press., 1986.

RUMELHART, D. E., HINTON, G. E. and WILLIAMS, R. J., Learning internal representations by error propagation. In D.,E. Rumelhart and J.L. McClelland, eds, Vol 1, Chapter 8, Cambridge, MA: MIT Press., 1986.

RUMELHART, D. E., HINTON, G. E. and WILLIAMS, R. J., Learning representations of back-propagation errors. *Nature (London)*, Vol., 323, pp. 533-536, 1986.

SAATÇILAR, R., ERGİNTAV, S. and CANİTEZ, N., Recursive Q Filter Design and Its Applications to Seismic Data, SEG Meeting, Sixty-Second Annual International Meeting, Exposition October 25-29, Expanded Abstract, pp. 1179-1182 1992.

SAATÇILAR R., An algorithm for Q filtering, *J. Seismic Exp.*, 5, pp. 157-168, 1996.

SAATÇILAR, R. and ÇORUH, C., Seismic Q Estimations for Lithologic Interpretation, 65th. SEG Annual Meeting October 8-13, Expanded Abstract, pp. 1363-1365 Houston, Texas, 1995.

SAĞIROĞLU, Ş., BEŞDOK, E., ERLER, M., *Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-I*, *Ufuk Kitap Kırtasiye-Yayıncılık Tic. Ltd.*, 2003.

SAKINÇ, M., Karaburun (İstanbul) denizel Oligosen'inin stratigrafisi ve paleontolojisi, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 116, ss. 9-14, 1994.

SANDHAM, W. and LEGGET, M., Geophysical Applications of Artificial Neural Networks and Fuzzy Logic, Modern Approaches in Geophysics, 21, ISBN 1-4020 1729-4, pg. 324, Kluwer Academic Publishers, 2003.

SAYAR, C., İstanbul yeni iskan yöreleri geoteknik ve sismik etüdü, B.Ü. Deprem Araştırma Enstitüsü yayınlanmamış teknik rapor, 77-14T, İstanbul, 1977.

SHI, G., DENG, J., The attenuation anisotropy of mudstone sand shales in subsurface formations, Sci. China, Ser. D (Earth Sci.), 48(11), pp. 1882-1890, 2005.

SHUMWAY, G., Sound speed and absorption studies of marine sediments by a resonance method, Geophysics, 25, pp. 451-467, 1960.

STEVENSON, I.R., MCCANN, C. and RUNCIMAN, P., An attenuation-based sediment classification technique using chirp sub-bottom profiler data and laboratory acoustic analysis, Marine Geophysical Researches, 23, pp. 277-298, 2002.

STOICA, P. and MOSES R., Introduction to Spectral Analysis, Prentice-Hall, ISBN 0 13-113956-8, pg. 447, 2005.

SÜMENGİN M, TERLEMEZ I., ŞENTÜRK, K., ve KARAKÖSE, C., Gelibolu yarımadası ve güneybatı Trakya havzasının stratigrafisi, sedimentolojisi ve tektoniği, MTA rapor No 8128, Ankara, 1987.

TANER, M. T., KOHLER, F. and SHERRIF, R.E., Complex seismic trace analysis, Geophysics, 44, pp. 1041-1063, 1979.

TITTMANN, B.R.,HOUSELY, R.M., ALER, G.A., and CARLIN, E. H., 1974, Internal friction in rocks and its relationship to volatile on the moon, Geochem. Et Cosmochin. Acta, 5, pp. 2913-2918, 1974.

TOKSÖZ M.N. and JOHNSTON D.H., Seismic wave attenuation, Geophysics Reprint Series No.2, Soc. Expl. Geophys., ISBN 0-93183-016-8, 1981.

TOKSÖZ, M.N., DAINTY, A.M., REITER E. and R. WU, A Model for Attenuation and Scattering in the Earth's Crust, Pageoph,128, 1988.

TOKSÖZ, M.N., JOHNSON, D.H., TİMUR A., Attenuation of seismic waves in dry and saturated rocks. I. Laboratory measurements, Geophysics,44, pp. 681-690, 1979.

TOMS, J., MULLER, T.M. and GUREVICH, B., Seismic attenuation in porous rocks with random patchy saturation, Geophys. Prospect., 55, pp. 671-678, 2007.

TONN, R., The determination of the seismic quality factor Q from VSP data: A comparison of different computational method, Geophys. Prospect., 39, pp. 1-27, 1991.

TU, N. and LU, W., Inverse Q filtering to enhance seismic resolution, Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2009 IEEE International, IGARSS 2009, pp. II-45 II-348, IEEE Catalog Number: 978-1-4244-3394-0, ISBN: CFP09IGA-PRT Cape Town, South Africa 12-17 July 2009.

TURNACIGİL, A., Yeniköy Ağaçlı Civarındaki Maden Ocaklarının Rehabilitasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Haziran 2008.

UMUT, M., İMİK, M., KURT, Z., ÖZCAN, İ., ATEŞ, M., KARABIYIKOĞLU, M. ve SARAÇ, G., Edirne İli-Kırklareli İli-Lüleburgaz (Kırklareli İli)- Uzunköprü (Edirne İli) civarının jeolojisi, MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Daire Başkanlığı Arşivi, yayınlanmamış teknik rapor, 7604, s. 42, Ankara, 1984.

UMUT, M., KURT, Z., İMİK, M., ÖZCAN, İ., SARIKAYA, H., SARAÇ, G., Tekirdağ İli-Silivri (İstanbul ili)-Pınarhisar (Kırklareli ili) alanının jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel müdürlüğü, Rapor No. 7349, Ankara, 1983.

ÜNAL, O.T., Trakya jeolojisi ve petrol imkanları, TPAO Arama Grubu Arşivi, yayınlanmamış teknik rapor, 391, s. 80, Ankara, 1967.

VAN DER BAAN, M. and JUTTEN, C., Neural networks in geophysical applications, Geophysics, 65, pp. 1032-1047, 2000.

VAN TREES H.L., Radar-Sonar Signal Processing and Gaussian Signals in Noise (Detection, Estimation, and Modulation Theory, Part III). John Wiley&Sons, Inc., ISBNs: 0-471-10793-X (Paperback); 0-471-22109-0 (Electronic), 2001.

WALLS, J., TANER, M.T., UDEN, R., SINGLETON, S., DERZHI, N., MAVKO, G. and DVORKIN, J., Novel Use of P- and S-wave Seismic Attenuation for Deep Natural Gas Exploration and Development, DE-FC26-04NT42243, Final Report, Rock Solid Images, Petrophysical Consulting Inc., Houston, October 2006.

WALSH, J. B., Attenuation in partially Materials., J. Geophys. Res., 73, pp. 2209-2216, 1966.

WANG, J. and TENG, T., Identification and Picking of S Phase Using an Artificial Neural Network, Bull. Seismol. Soc. Am., 87(5), pp. 1140-1149, 1997.

WANG, Y., Seismic inverse Q filtering, Blackwell Publishing, ISBN 978-1-4051 8540-0, pg. 237, 2008.

WELCH, P. D., The use of Fast Fourier Transform for the estimation of power spectra: a method based on time averaging over short, modified periodograms, IEEE Trans. AudioElectroacoust., AU15,70-73, 1967.

WHITE, J.E., Seismic Waves: Radiation, transmission and attenuation: Newyork, McGraw-Hill Book Co., Inc, pg. 302, 1965.

WIDROW, B. and HOFF, M. E., Adaptive switching circuits, IRE WESCON Convention Record, 4, pp. 96-104, 1960.

WIENER, N., Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Time Series, ISBN 0262730057, New York: Wiley, 1949.

WINKLER, K. W. and NUR, A., Pore fluids and seismic attenuation in rocks, Geophys., Research Letters, 6, pp. 1-4, 1979.

WINKLER, K.W. and MURPHY, W.F., Acoustic velocity and attenuation in porous rocks, in Rock Physics & Phase Relations, A Handbook of Physical Constants, AGU Ref. Shelf, edited by T. J. Ahrens, 3, pp. 20-34, AGU, Washington, D.C., doi:10.1029/RF003p0020, 1995.

WINKLER, K.W., PLONA T.J., Technique for measuring ultrasonic velocity and attenuation in rocks under pressure, J. Geophys. Res., 87 (B13), pp. 10776-10780, 1982.

WORTHINGTON, M.H. and HUDSON, J.A., Fault Properties from seismic Q, Geophys. J. Int., 143, pp. 937-944, 2000.

WRIGHT, C. and HOY, D., A note on pulse broadening and inelastic attenuation in near-surface rocks, Phys. Earth planet. Int., 25, pp. P1-P8, 1981.

XIA, J., XU, Y., MILLER, R.D., IVANOV, J., Estimation of near-surface quality factors by constrained inversion of Rayleigh-wave attenuation coefficients, J. Appl. Geophys., 82, pp. 137-144, 2012.

XIA, J., MILLER, R.D., PARK, C.B., TIAN, G., Determining Q of near-surface materials from Rayleigh waves, J. Appl. Geophys., 51, pp. 121-129, 2002.

YILDIRIM, E., GÜLBAG, A., HORASAN, G., DOĞAN, E., Discrimination of quarry blasts and earthquakes in the vicinity of Istanbul using soft computing techniques, Computers & Geosciences, 37, pp. 1209-1217, ISSN: 0098-3004, doi:10.1016/j.cageo.2010.09.005, 2011.

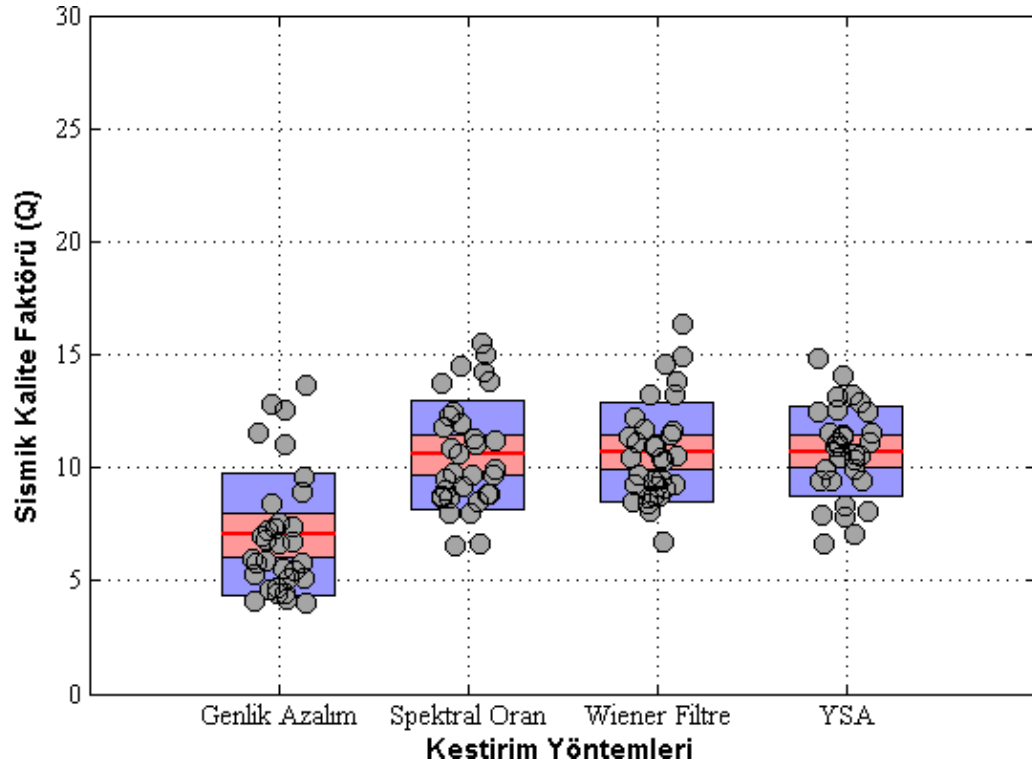
YILDIZ, N., BİRCAN, H., Uygulamalı İstatistik, Nobel Yayın Dağıtım, s. 420, ISBN: 9789944770613, Ankara, 2006.

YILMAZ, O., Seismic Data Analysis, Vol. 1 and 2, 2001, Society of Exploration Geophysicists, 2001.

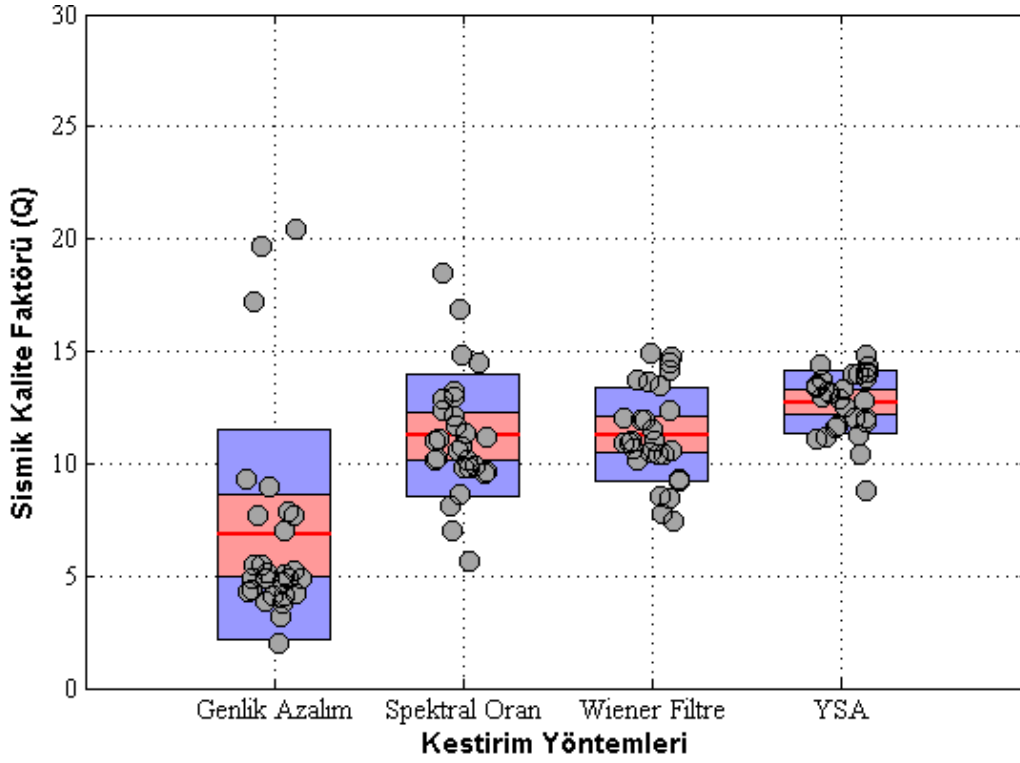
ZHU, Y., TSVANKIN, I., DEWANGAN, P., VANWIJK, K., Physical modeling and analysis of P-wave attenuation anisotropy in transversely isotropic media, Geophysics, 72 (1), pp. D1-D7, 2007.

ZOR, E., SANDVOL, E., XIE, J., TÜRKELİ, MITCHELL, N.B., GASANOV, A.H., and YETİRMİŞLİ, G., Crustal Attenuation within the Turkish Plateau and Surrounding Regions, Bull. Seismol. Soc. Am., 97(1B), pp. 151-161, 2007.

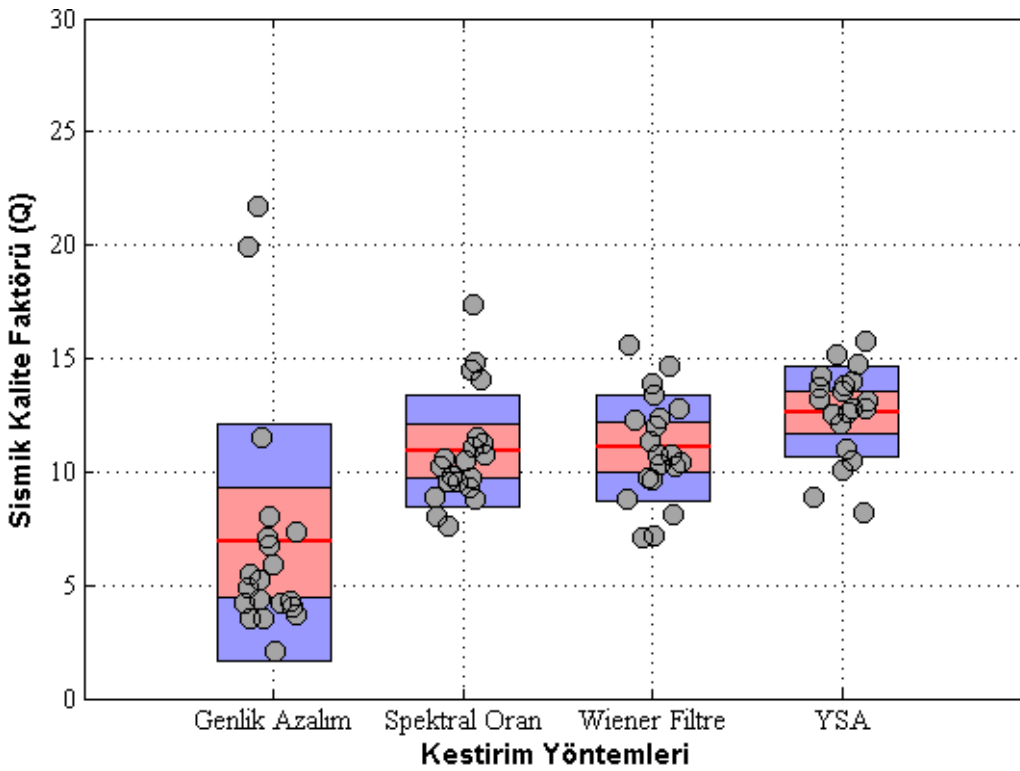
## EKLER



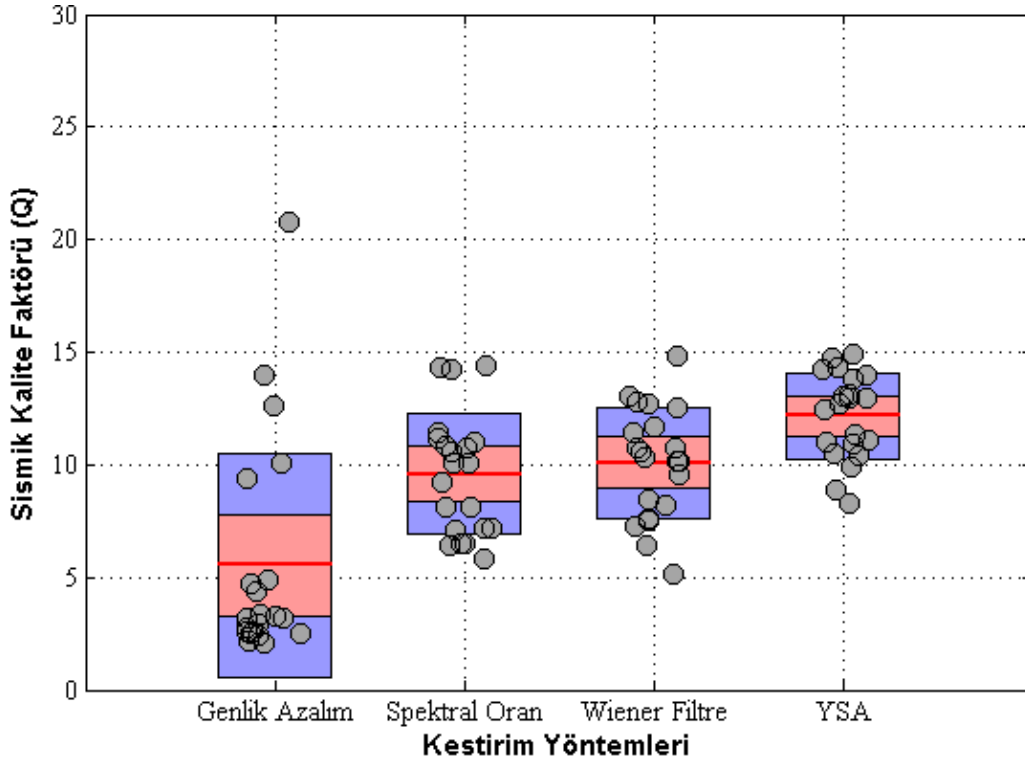
EK1. 1 Numaralı sismik yansımaya atış verisinden kestirilen sismik kalite faktörü (Q) ve kestirilen değerlerin standart sapma ve güven aralığı analizi



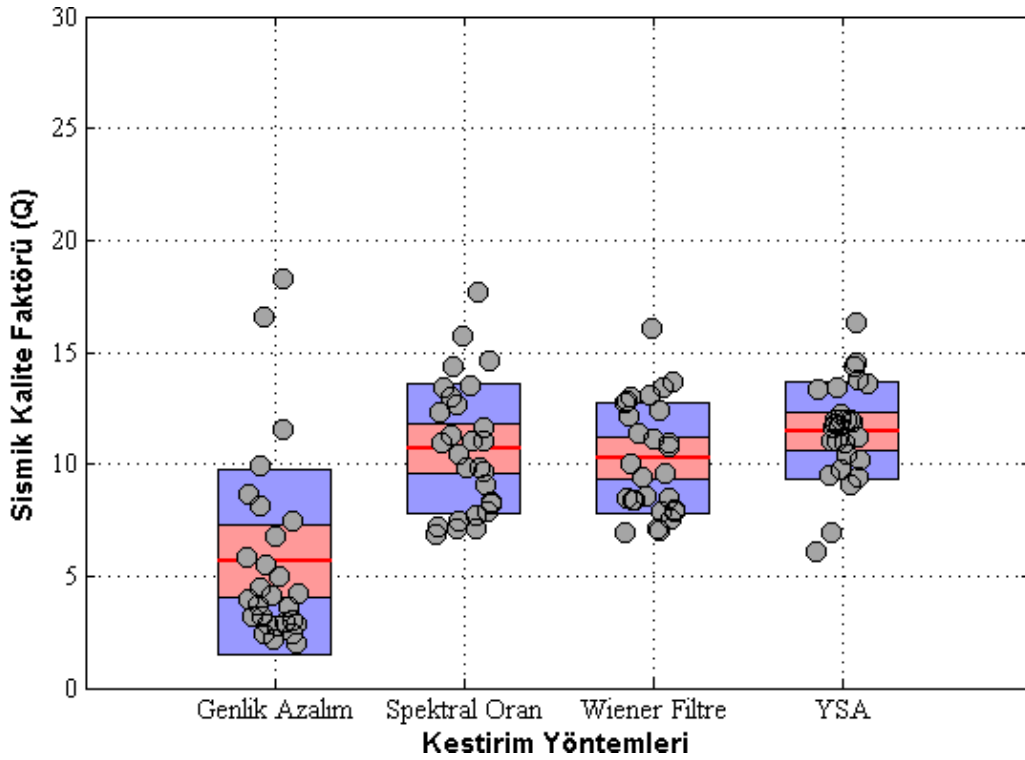
EK2. 2 Numaralı sismik yansıma atış verisinden kestirilen sismik kalite faktörü (Q) ve kestirilen değerlerin standart sapma ve güven aralığı analizi



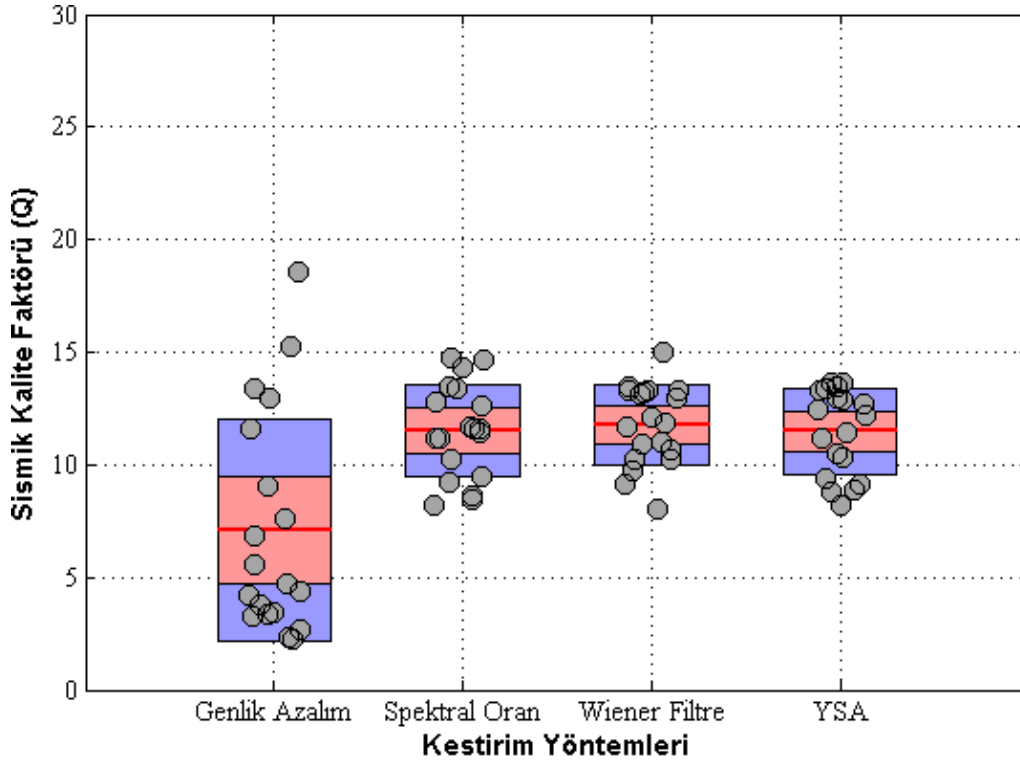
EK3. 3 Numaralı sismik yansıma atış verisinden kestirilen sismik kalite faktörü (Q) ve kestirilen değerlerin standart sapma ve güven aralığı analizi



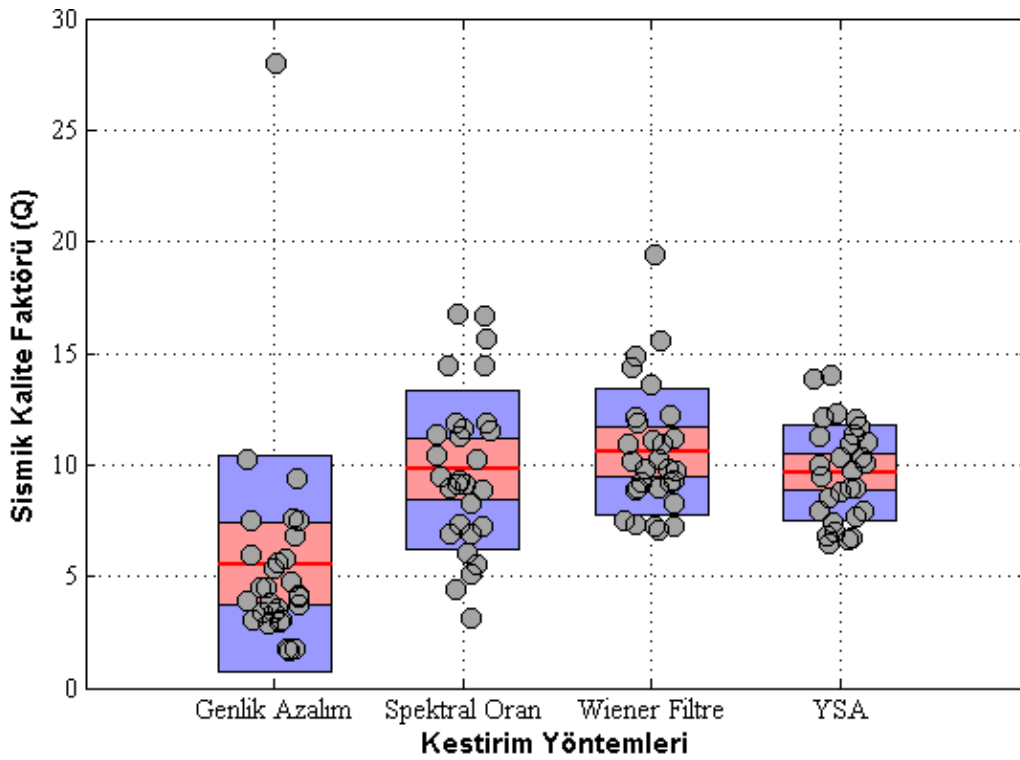
EK4. 4 Numaralı sismik yansımaya atış verisinden kestirilen sismik kalite faktörü (Q) ve kestirilen değerlerin standart sapma ve güven aralığı analizi



EK5. 5 Numaralı sismik yansımaya atış verisinden kestirilen sismik kalite faktörü (Q) ve kestirilen değerlerin standart sapma ve güven aralığı analizi

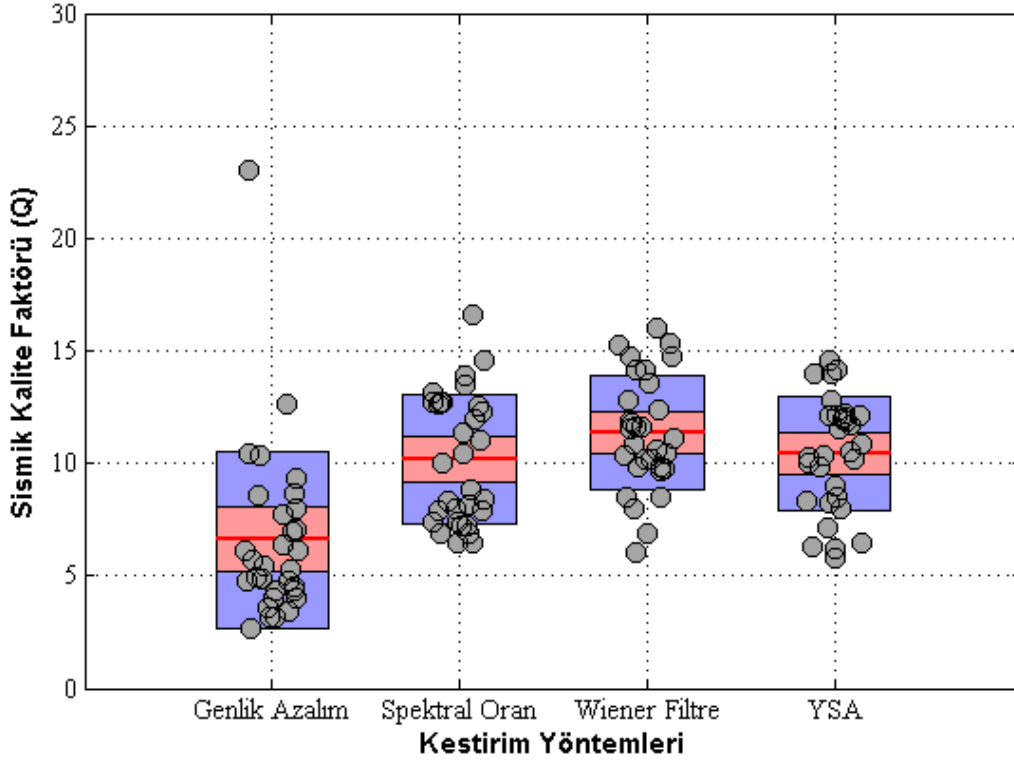


EK6. 6 Numaralı sismik yansımaya atış verisinden kestirilen sismik kalite faktörü (Q) ve kestirilen değerlerin standart sapma ve güven aralığı analizi

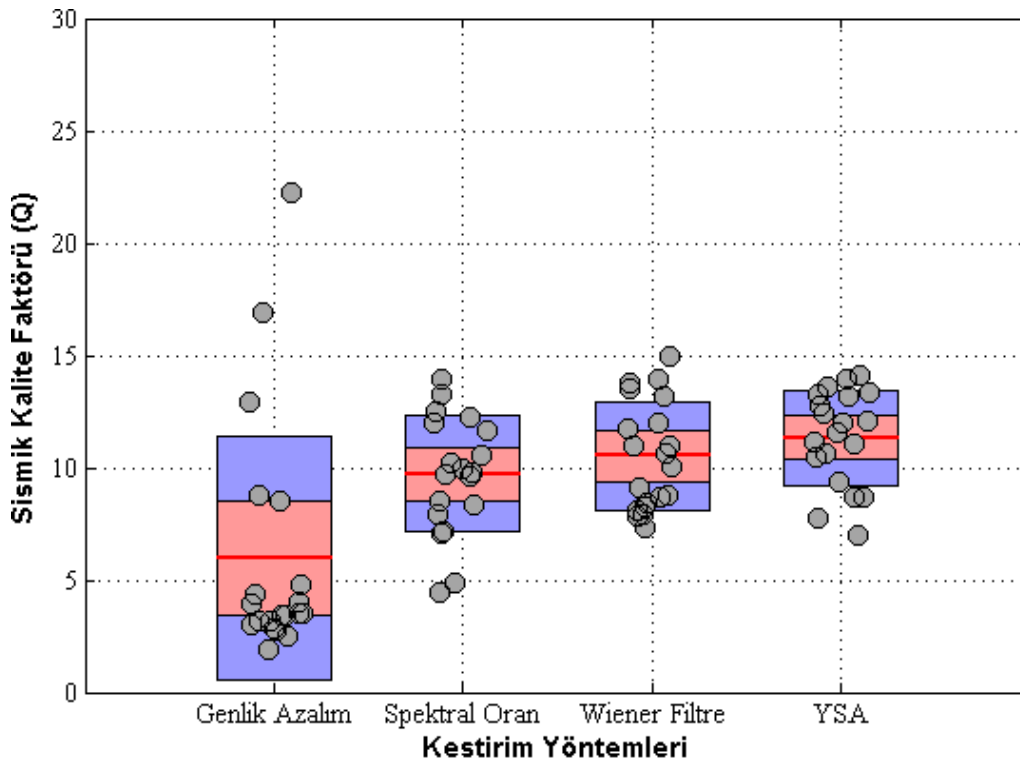


EK7. 7 Numaralı sismik yansımaya atış verisinden kestirilen sismik kalite faktörü (Q) ve kestirilen değerlerin standart sapma ve güven aralığı analizi

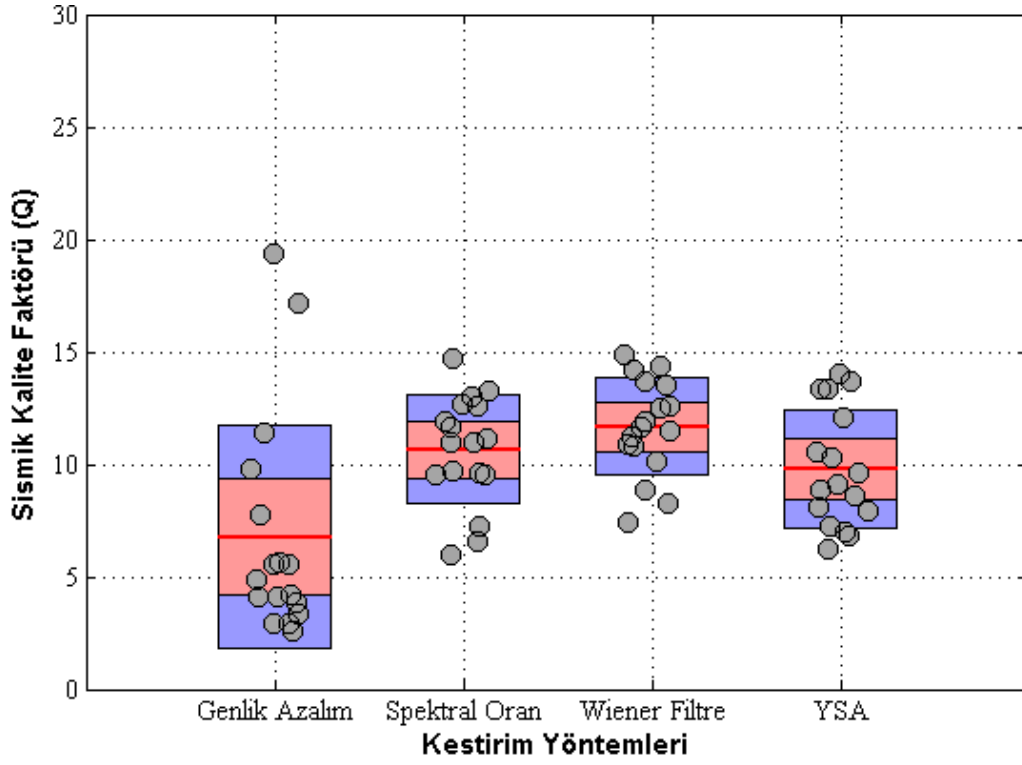




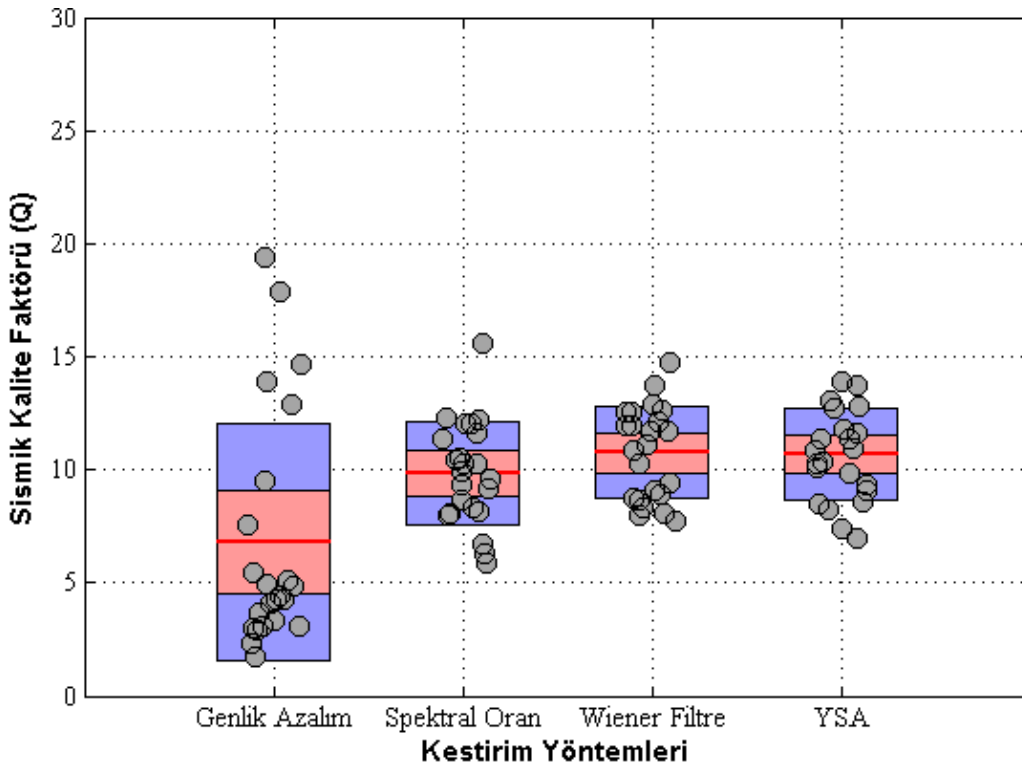
EK8. 8 Numaralı sismik yansıma atış verisinden kestirilen sismik kalite faktörü (Q) ve kestirilen değerlerin standart sapma ve güven aralığı analizi



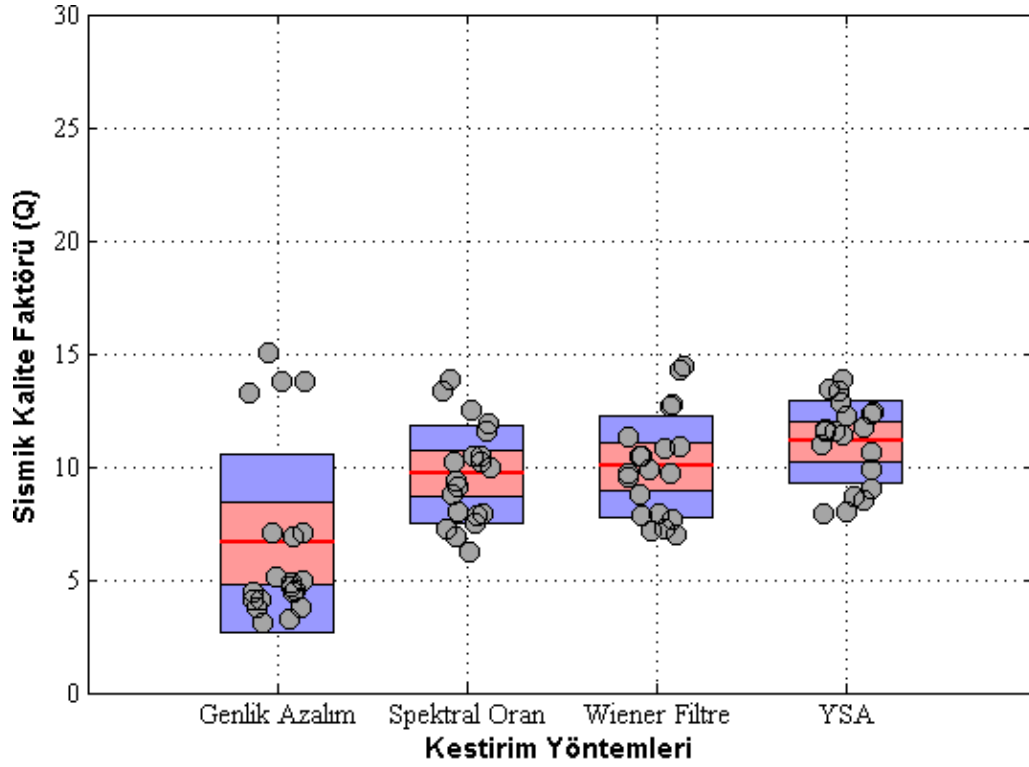
EK9. 9 Numaralı sismik yansıma atış verisinden kestirilen sismik kalite faktörü (Q) ve kestirilen değerlerin standart sapma ve güven aralığı analizi



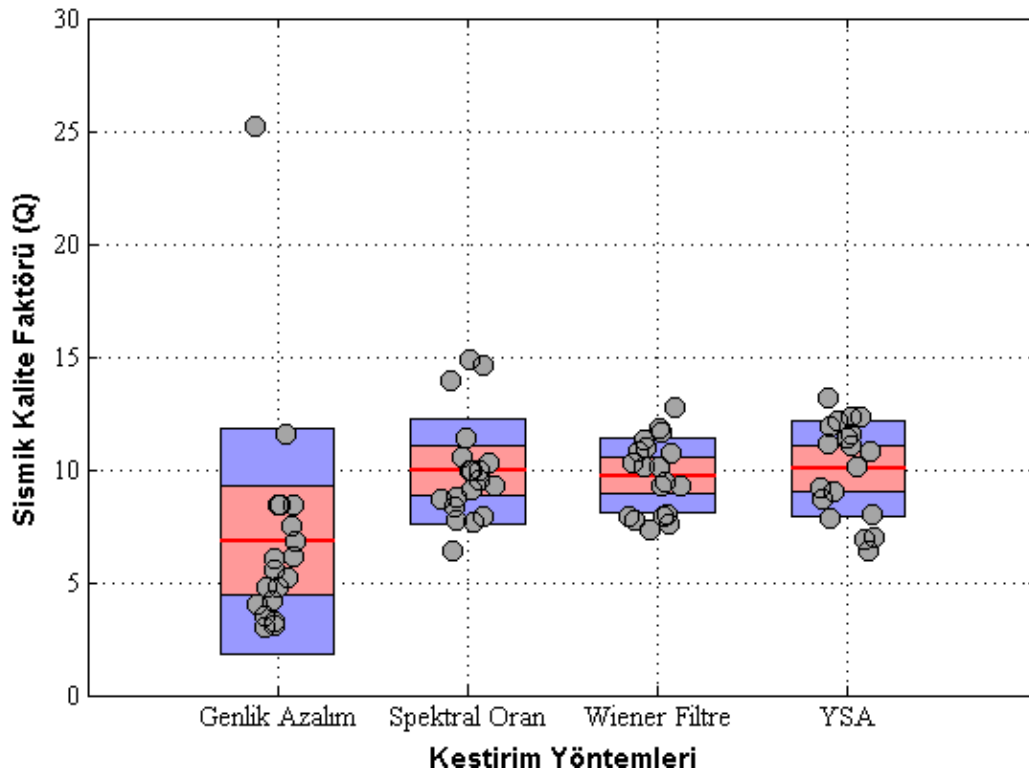
EK10. 10 Numaralı sismik yansımaya atış verisinden kestirilen sismik kalite faktörü (Q) ve kestirilen değerlerin standart sapma ve güven aralığı analizi



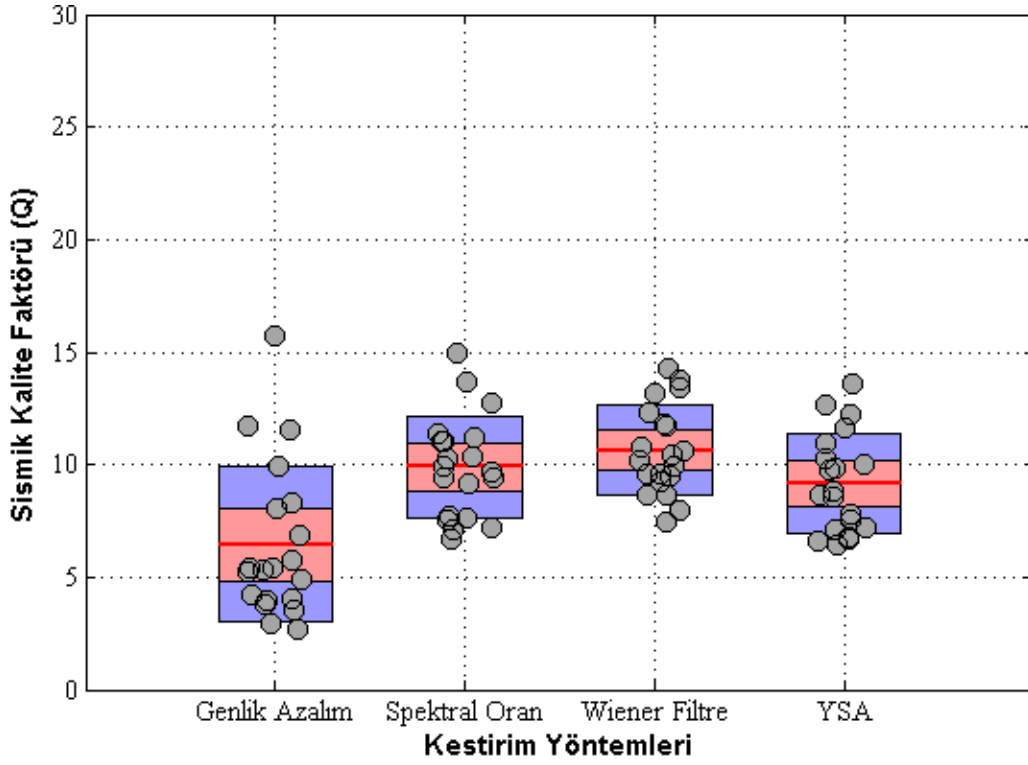
EK11. 11 Numaralı sismik yansımaya atış verisinden kestirilen sismik kalite faktörü (Q) ve kestirilen değerlerin standart sapma ve güven aralığı analizi



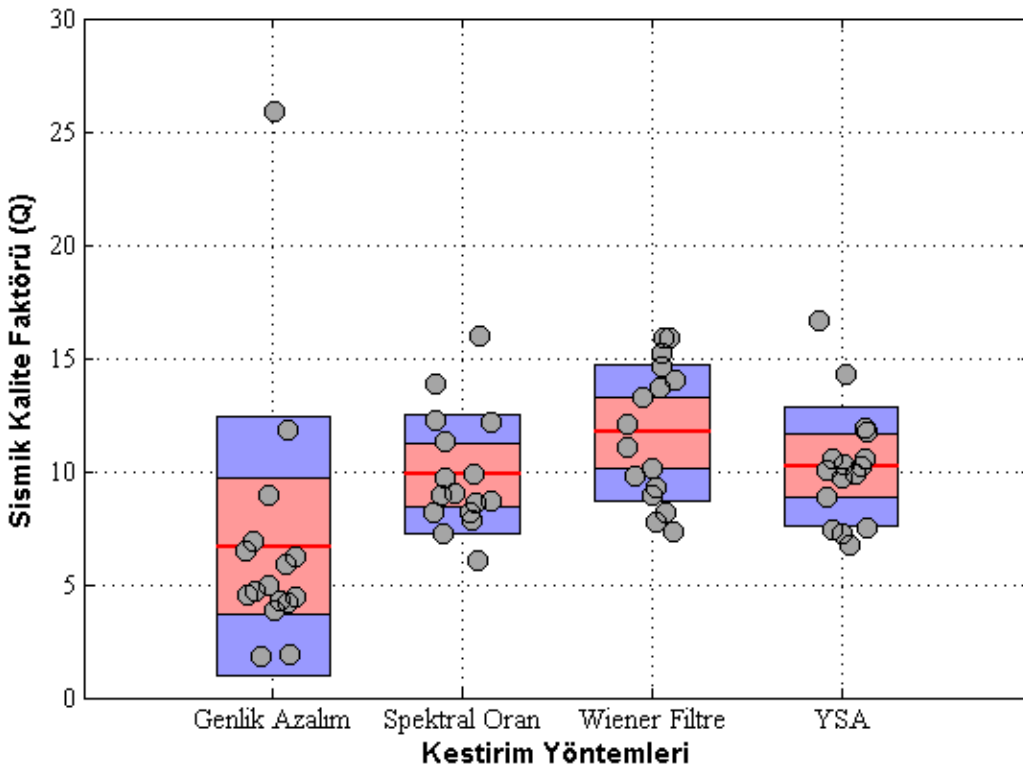
EK12. 12 Numaralı sismik yansımaya atış verisinden kestirilen sismik kalite faktörü (Q) ve kestirilen değerlerin standart sapma ve güven aralığı analizi



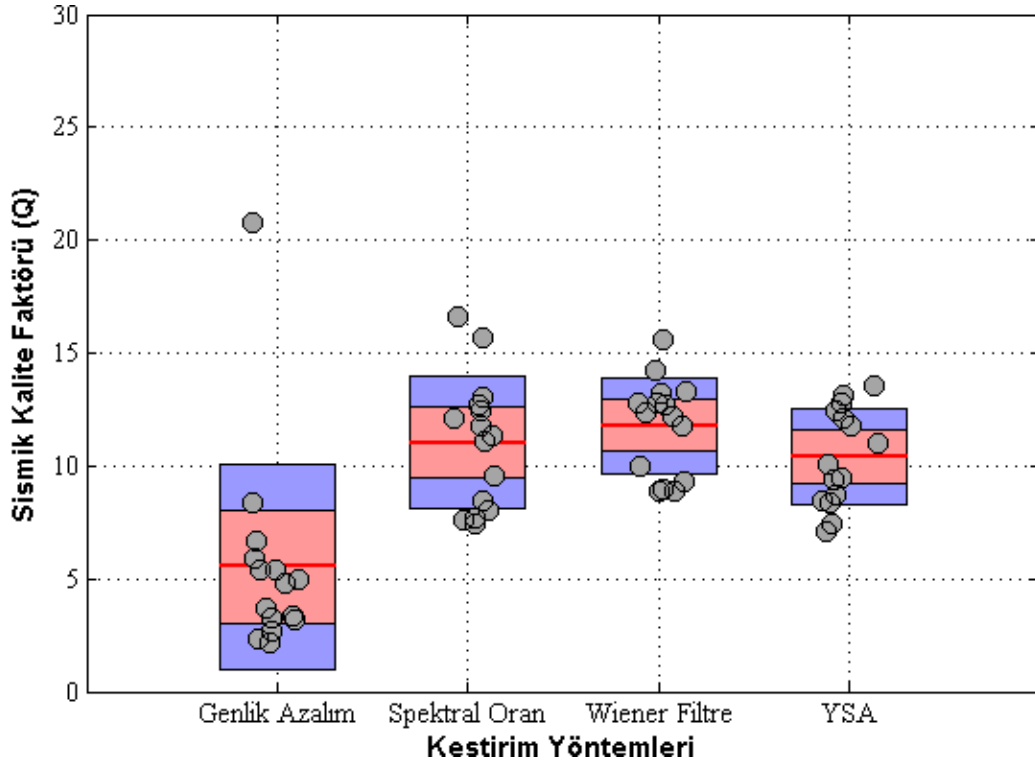
EK13. 13 Numaralı sismik yansımaya atış verisinden kestirilen sismik kalite faktörü (Q) ve kestirilen değerlerin standart sapma ve güven aralığı analizi



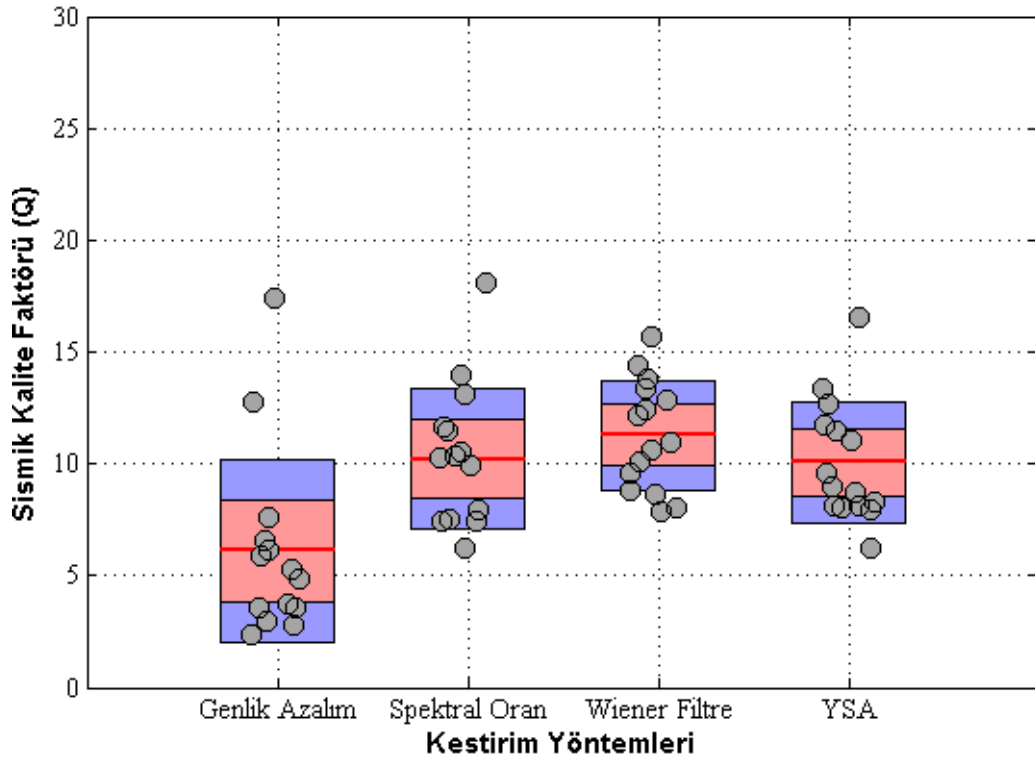
EK14. 14 Numaralı sismik yansımaya atış verisinden kestirilen sismik kalite faktörü (Q) ve kestirilen değerlerin standart sapma ve güven aralığı analizi



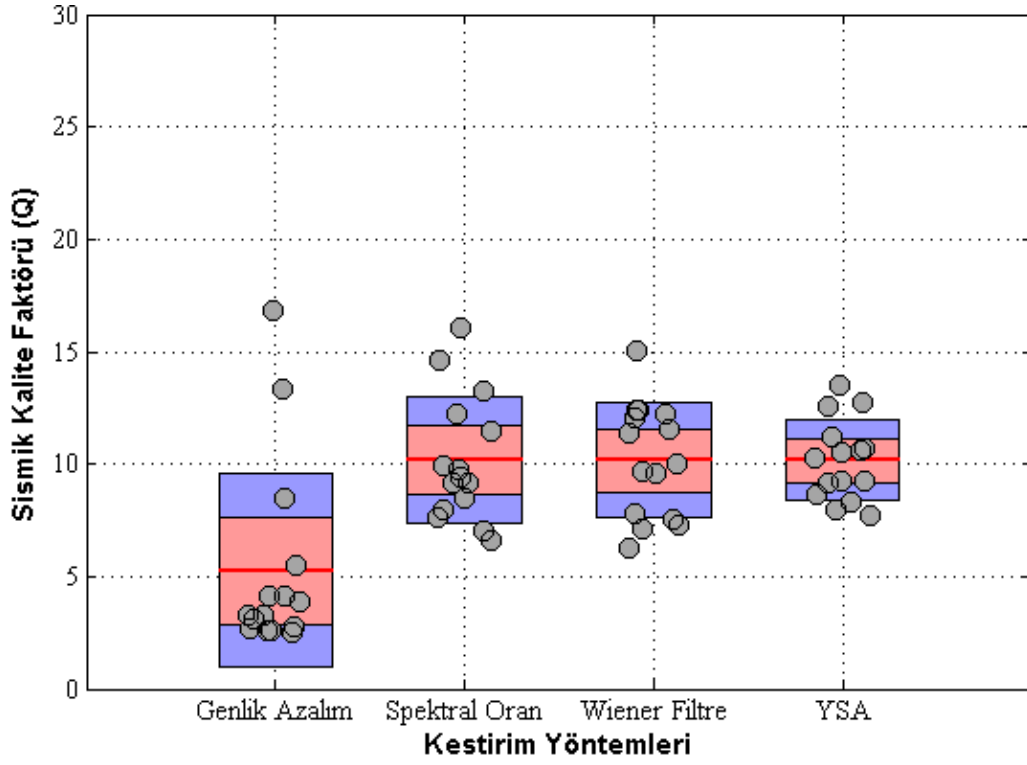
EK15. 15 Numaralı sismik yansımaya atış verisinden kestirilen sismik kalite faktörü (Q) ve kestirilen değerlerin standart sapma ve güven aralığı analizi



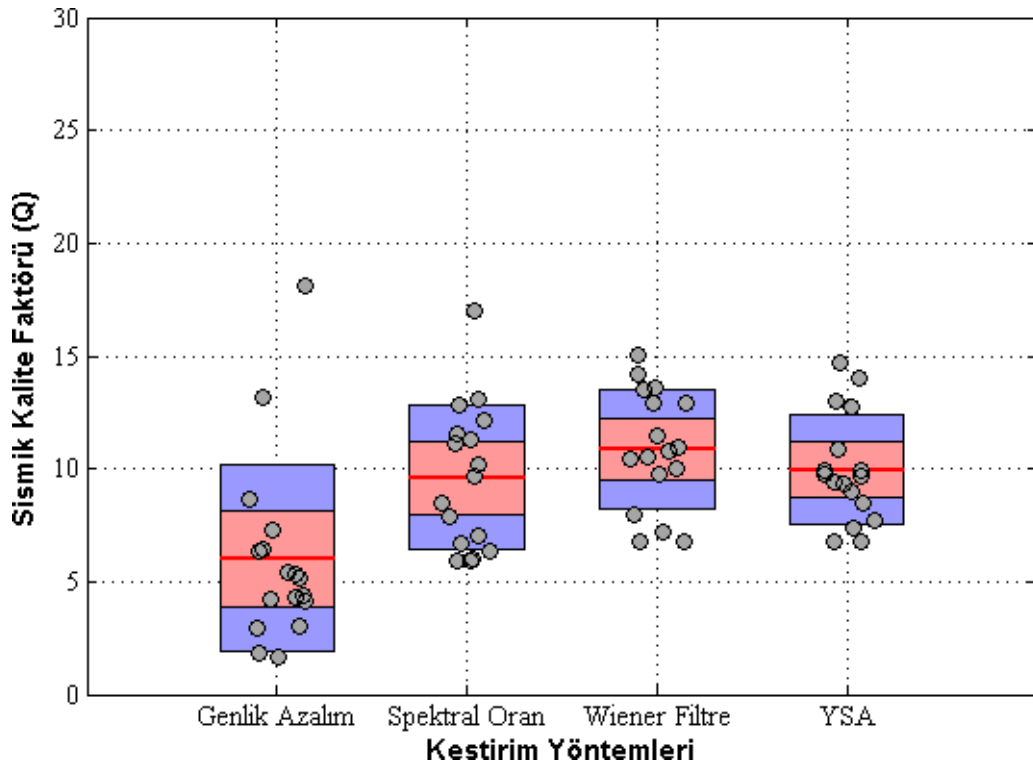
EK16. 16 Numaralı sismik yansımaya atış verisinden kestirilen sismik kalite faktörü (Q) ve kestirilen değerlerin standart sapma ve güven aralığı analizi



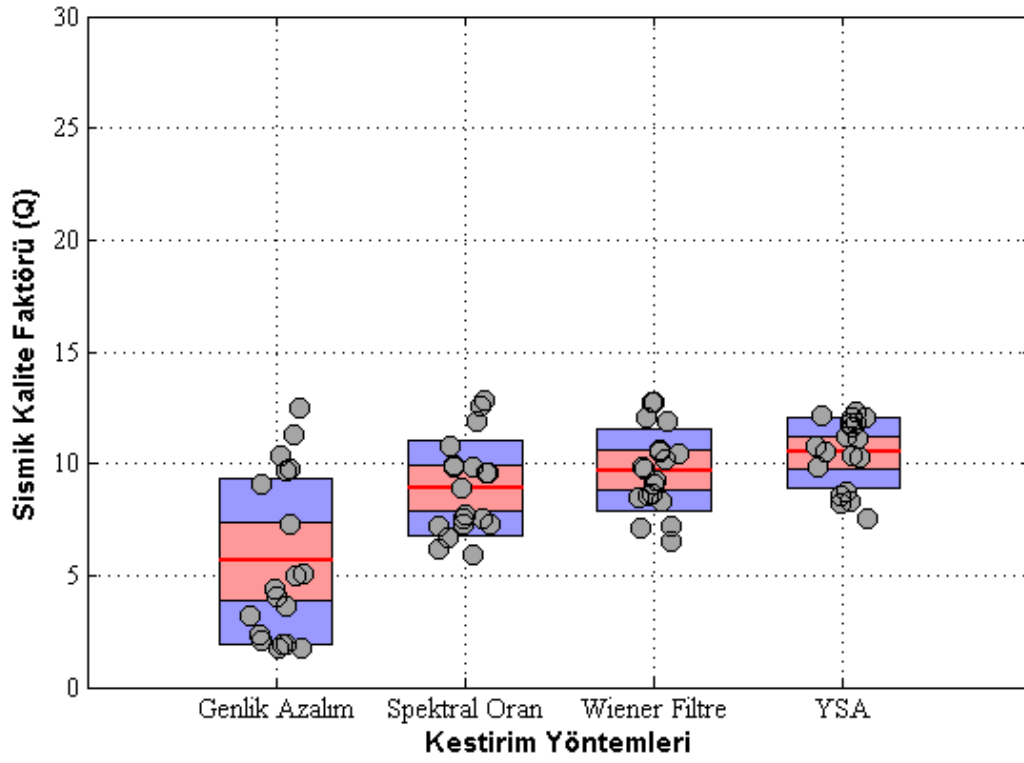
EK17. 17 Numaralı sismik yansımaya atış verisinden kestirilen sismik kalite faktörü (Q) ve kestirilen değerlerin standart sapma ve güven aralığı analizi



EK18. 18 Numaralı sismik yansıma atış verisinden kestirilen sismik kalite faktörü (Q) ve kestirilen değerlerin standart sapma ve güven aralığı analizi



EK19. 19 Numaralı sismik yansıma atış verisinden kestirilen sismik kalite faktörü (Q) ve kestirilen değerlerin standart sapma ve güven aralığı analizi



EK20. 20 Numaralı sismik yansımaya atış verisinden kestirilen sismik kalite faktörü (Q) ve kestirilen değerlerin standart sapma ve güven aralığı analizi

## ÖZGEÇMİŞ

Eray YILDIRIM, 15.11.1977 tarihinde Van ili Erciş ilçesinde doğdu. İlk ve orta eğitimini Alanya’da, lise eğitimini ise 1994 yılında Tunceli’de tamamlayarak aynı yıl Kocaeli Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. Lisans eğitimini 1998 yılında tamamladı. 1998-1999 eğitim yılında Adapazarı Namık Kemal İ.Ö.O’da vekil İngilizce öğretmenliği yaptı. Kasım 1999 - Haziran 2000 döneminde askerlik görevini yerine getirdi. 2000- 2002 yılları arasında özel sektörde Jeofizik Mühendisi olarak çalıştı. 2002 yılında SAÜ Jeofizik Mühendisliği bölümüne Araştırma Görevlisi olarak atandı. Yüksek lisans eğitimini 2005 yılında tamamladı. 2005 yılında SAÜ İnşaat Mühendisliği Geoteknik anabilim dalında başladığı doktora eğitimini 2009 yılında bırakarak SAÜ Jeofizik Mühendisliği bölümünde doktora eğitimine başladı. Halen SAÜ Jeofizik Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.