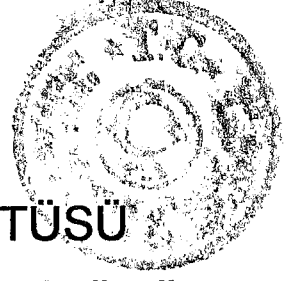


T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



134375

DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ METODU İLE
DEPREM İŞARETLERİNDE S-FAZI GELİŞ
ZAMANININ TESPİTİ

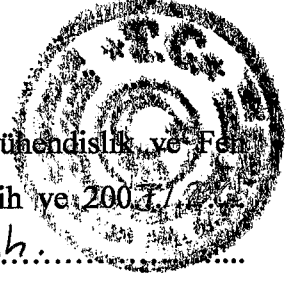
Kerim Özgür YALÇIN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Yrd.Doç.Dr. Oğuz KUCUR

GEBZE
2003

134375
T.C. YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

...Kemal Doğan YALVIN.....'ın tez çalışması, GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 16.10.2003.. tarih ve 2003/3.. sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından Elektrostatik msh..... Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



JÜRİ

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Oğuz KUCUR
(Tez Danışmanı)

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Hakan HOCAOĞLU

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Bülent AKBAŞ

ONAY

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 02.11.2003. tarih ve 2003/3/.... sayılı kararı.



ÖZET

Bu çalışmada, dalgacık dönüşümü metodu kullanılarak bir sismik dalganın S fazı geliş zamanının belirlenebildiği bir algoritma incelenmiştir.

Sismik bilgi, sismik bir olay hakkında bilgi içeren bileşenlerden oluşur. Fakat bazı aralıklarda bu bileşenler sadece gürültüden ibaret olabilir. Sismik bilgi içeren bir bileşene sismik işaret (deprem işareti) adı verilir. Deprem işaretleri faz adı verilen küçük enerji değişimlerinden oluşur. Bu fazlar; baskın frekans, genlik ve polarizasyon bakımından çeşitlilikler gösterebilirler. Fazlar arasında en belirgin S fazıdır. Bir depremde hasar verici etkiyi yapan S dalgalarıdır. S dalgalarının bu denli önemli olması sebebiyle bu çalışmada, üç bileşenli bir deprem işaretine ait S fazı tespiti yapan hızlı bir algoritma incelenmiştir. İncelenen algoritma sismolojide kullanılan klasik S fazı tespiti yöntemleri ile ayrı dalgacık dönüşümünün bir kombinasyonudur.

Dalgacık dönüşümü, gürültü temizleme ve sıkıştırma gibi işaret işleme uygulamalarında başarılı sonuçlar veren bir işaret dönüşüm tekniğidir. Dalgacıklar, bir ölçekleme fonksiyonu ve dalgacık fonksiyonu ile tanımlanmaktadır. Bu çalışmada beş farklı çeşit dalgacık kullanılmış ve herbirinde farklı sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar uzman faz tespit zamanlarıyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda en iyi sonucun Daubechies 4 dalgacık filtresiyle elde edildiği görülmüştür. Çalışmada uzman faz tespitlerinin yanısıra farklı bir algoritmayla elde edilen sonuçlarla da karşılaştırma yapılmıştır.

Oonincx'in algoritmasına ek olarak bu çalışmada iki türlü filtreleme metodu uygulanmıştır. Filtre uygulayarak elde edilen sonuçların filtresiz sonuçlardan çok farklı olmadığı görülmüştür.

SUMMARY

In this study, an algorithm which detects the S phase arrival time of seismic waves is examined by using wavelet transform method.

A seismic information is a set of components which contains information about seismic event. But in some intervals, these components can be just noise. A component consists of seismic information is called a seismic signal. Seismic signals are formed by short energy bursts, called phases. There are different types of phases according to their dominant frequency, amplitude and polarization. The most significant phase is S phase among the phases. S phase causes the damage in earthquakes. Since S phase is such important, in this study a fast algorithm which detects S phase arrival time is investigated. This approach is a combination of traditional S phase detection methods of seismology and the discrete wavelet transform.

Wavelet transform is a successful transformation method that is used in several signal processing applications such as noise filtering, compression. Wavelets are described by a scaling function and a wavelet function. In this study, five different types of wavelets are used. The S phase arrival time values for the same seismic events are different from each other for different wavelets. The experiment results are compared to the experts' evaluations. According to comparisons, it is seen that the best results are obtained with Daubechies 4. In addition, another comparison is made with the results obtained by another algorithm.

Besides Oonincx's algorithm, in this work two types of noise filtering methods are used. From the experiments, it is seen that the results obtained via filtering are close to the results obtained via Oonincx's algorithm without filtering.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda bana yol gösteren, hafta sonlarını dahi bu çalışma için ayıran, her konuda bilgisini paylaşan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Elektronik Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Oğuz Kucur'a, tez konusunu seçmem konusunda Sayın Yrd. Doç. Dr. Oğuz Kucur'dan sonra en büyük etkisi olan, daha önce benzer bir konuda tez çalışması hazırlamış ve her türlü tecrübesini benimle paylaşan sevgili arkadaşım Uğur ÇETİN'e, elimizdeki deprem verilerinin haricinde farklı verilerin teminini sağlayan Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nden Sayın Mehmet YILMAZER'e ve çalışmalarım için gerekli izni sağlayan kurumum Yapı Kredi Teknoloji'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam süresince bana destek olan sevgili eşim Deniz Özgür YALÇIN'a ve küçük kızım İpek Özgür YALÇIN'a anlayış ve destekleri için sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Tezin İçeriği	3
2. DEPREM İŞARETLERİ	4
2.1 Deprem Nedir, Nasıl Oluşur?	4
2.2 Faylanma Teorisi	4
2.2.1 Odak Noktası	4
2.2.2 Dış Merkez	5
2.2.3 Odak Derinliği	5
2.3 Fay Çeşitleri	5
2.4 Deprem Türleri	6
2.5 Deprem Şiddeti ve Büyüklüğü	7
2.5.1 Deprem Şiddeti	7
2.5.2 Deprem Büyüklüğü	8
2.6 Depremlerin Ölçülmesi	9
2.7 Deprem Dalgaları	10
2.7.1 P Dalgaları	10
2.7.2 S Dalgaları	10
2.7.3 Yüzey Dalgaları	11
2.8 Deprem İşaretlerinin İncelenmesi	12
3. DALGACIK ANALİZİ	14
3.1 Durağan Olmayan İşaretlerin Fourier Analizi	14

3.2 Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü	15
3.3 Dalgacık Dönüşümü	17
3.4 Sürekli Dalgacık Dönüşümü	18
3.4.1 Ölçekleme	20
3.4.2 Öteleme	21
3.5 Ayrık Dalgacık Dönüşümü	22
3.6 Çoklu Çözünürlük Analizi	24
3.7 Alt Bantlara Ayırma	25
4. ALGORİTMA	28
4.1 Kısa Zaman Ortalaması / Uzun Zaman Ortalaması	28
4.2 Enerji Oranı	29
4.3 Kovaryans Matrisi Temelli Karakteristik Fonksiyon	29
4.3.1 Düzgün Lineerlik	30
4.3.2 Düzlemsellik	31
4.3.3 Sapma Açısı	31
4.3.4 Polarizasyon Derecesi	31
4.4 Boyuna ve Enine Yönler	32
4.5 Karakteristik Fonksiyon ve Ayrık Dalgacık Dönüşümü	33
4.6 Ayrık Dalgacık Dönüşümü Analizi Düzenegi	35
4.6.1 Dalgacık Filtreleri	36
4.6.2 S Fazı Ölçekleri, J_s	36
4.6.3 Karakteristik Fonksiyonlar	36
4.6.4 Pencere Uzunluğu $N(m)$	36
4.6.5 Eşik Değeri	37
4.7 Anant ve Dowla'nın Algoritması	37
5. UYGULAMALAR	41
5.1 S Fazı Tespiti	41
6. SONUÇLAR	55
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	59
EKLER	
EK-1 İNCELENEN DEPREMLER	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklamalar
km	Kilometre
cm	Santimetre
mm	Milimetre
sn	Saniye
M.S.	Milattan sonra
Mb	Cisim dalgası büyüklüğü
Ms	Yüzey dalgası büyüklüğü
Md	Süre büyüklüğü
Mw	Moment büyüklüğü
%	Yüzde
DD	Dalgacık Dönüşümü
KZFD	Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü
ADD	Ayrık Dalgacık Dönüşümü
SDD	Sürekli Dalgacık Dönüşümü
f	Frekans
t	Süre
f_m	Merkez frekansı
f_s	Örnekleme frekansı
a	Ölçekleme çarpanı
m	Ölçekleme seviyesi
Δt	Zaman çözünürlüğü
Δf	Frekans çözünürlüğü
M	Depremi şiddeti
Db2	Daubechies 2 dalgacığı
Db4	Daubechies 4 dalgacığı
Db8	Daubechies 8 dalgacığı
Bior2.2	Biortogonal 2 dalgacığı
Coif1	Coiflet 1 dalgacığı
KZO	Kısa Zaman Ortalaması
UZO	Uzun Zaman Ortalaması

Hz	Hertz
İGO	İşaretin Gürültüye Oranı
i_p	P fazının geldiği örnek sayısı
i_s	S fazının geldiği örnek sayısı
N	Pencere uzunluğu
N(m)	Pencere fonksiyonu
E(m)	Depremi yaydığı enerji (Joule)
°	Derece
X(f)	x(t) işaretinin Fourier dönüşümü
$X(\tau, f)$	x(t) işaretinin kısa zamanlı Fourier dönüşümü
$\ v(i)\ $	v(i) işaretinin normu
$SDD(\tau, \alpha)$	Sürekli Dalgacık Dönüşümü
$\psi(t)$	Dalgacık fonksiyonu
e	Deprem işaretinin doğu bileşeni
n	Deprem işaretinin kuzey bileşeni
z	Deprem işaretinin dikey bileşeni

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sekil	Sayfa
2.1. (a) Normal faylar, (b)Ters Faylar, (c) Doğrultu atımlı faylar	6
2.2. (a) Çöküntü, (b) Yükselti	6
2.3. İlk sismograf	9
2.4. P dalgası	10
2.5. S dalgası	11
2.6. (a)Yüzey dalgaları, (b)Love dalgaları, (c)Rayleigh dalgaları, d)dalgalının yayılma yönü	11
2.7. Üç bileşenli sismogram	11
3.1. Bir fonksiyon ve Fourier dönüşümü	15
3.2. Bit işaret ve Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü	16
3.3. İşaretin farklı ölçek ve konumdaki dalgacıklara ayrılması	18
3.4. (a) KZFD'deki düzenli ayırım, (b) dalgacık dönüşümündeki logaritmik ayırım	19
3.5. (a) $f(t)=\sin(t)$; $a=1$, b) $f(t)=\sin(2t)$; $a=1/2$ ve c) $f(t)=\sin(4t)$; $a=1/4$ fonksiyonlarının dalga şekilleri	21
3.6. (a) $f(t)=\psi(t)$; $m=1$, b) $f(t)=\psi(2t)$; $m=2$, c) $f(t)=\psi(4t)$; $m=4$ dalgacıklarının dalga şekilleri.	21
3.7.(a) $\psi(t)$ dalgacık fonksiyonu, (b) $\psi(t)$ fonksiyonunun k kadar gecikmesi	22
3.8. Db13 dalgacığının a) alçak geçiren, b) yüksek geçiren analiz filtreleri	23
3.9. Ayırık zamanda çözünürlük ve ölçek değişimleri	24
3.10. Çoklu çözünürlüklü işaret analizinin blok diyagramı	25
3.11. Alt bandlara ayırma sistem şeması	26
4.1. Ek 1'deki 1 numaralı deprem için enerji dağılımı	34
4.2. Ek 1'deki 7 numaralı veriye ait radyal ve enine bileşenler ve C_1 fonksiyonu	39
5.1. Ek 1'deki 7 numaralı deprem işaretinin (a) doğu, (b) kuzey, (c) dikey, (d) polarizasyon derecesi, (e) sapma açısı, (f) enerji oranı, (g) karakteristik fonksiyon dalga şekilleri ($m=4$, $N=60$ ve Db4 dalgacığı kullanılmıştır)..	43
5.2 Ek 1'deki 7 numaralı deprem işaretinin (a) doğu, (b) kuzey, (c) dikey,	

- (d) polarizasyon derecesi, (e) sapma açısı, (f) enerji oranı,
(g) karakteristik fonksiyon dalga şekilleri ($m=4, N=60$ ve Db2 dalgacığı kullanılmıştır)



TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Şiddet ve Richter büyüklüğü arasındaki ilişki	9
4.1 Ek 1'deki deprem işaretlerine ait S fazı sonuçları	40
5.1 $m=4$, $N=60$ ve Db4 dalgacık filtresi kullanılarak elde edilen S fazı sonuçları	42
5.2 $m=4$, $N=60$ ve Db2 dalgacık filtresi kullanılarak elde edilen S fazı sonuçları	44
5.3 $m=4$, $N=60$ ve Db8 dalgacık filtresi kullanılarak elde edilen S fazı sonuçları	45
5.4 $m=4$, $N=60$ ve Biortogonal 2.2 dalgacık filtresi kullanılarak elde edilen S fazı sonuçları	45
5.5 $m=4$, $N=60$ ve Coiflet 1 dalgacık filtresi kullanılarak elde edilen S fazı sonuçları	46
5.6 Kullanılan dalgacık filtreleriyle elde edilen S fazı sonuçları	46
5.7 $m=4$, $N=30$ ve Db4 dalgacık filtresi kullanılarak elde edilen S fazı sonuçları	47
5.8 Deprem işaretine göre değişen m ve N değerleri ve Db4 dalgacık filtresi kullanılarak elde edilen S fazı sonuçları	48
5.9 Db4 dalgacık filtresi kullanılarak; $m=4$ ve $N=60$, $N=30$ ve algoritmanın hesapladığı m ve N değerlerine göre elde edilen S fazı sonuçları	48
5.10 Kullanılacak olan m seviyeleri ve $N=60$ için Db4 dalgacığıyla 1. method kullanılarak elde edilen S fazı sonuçları	49
5.11 $N=60$, $m=4$ ve Db4 dalgacığıyla, 2. method kullanılarak elde edilen S fazı sonuçları	50
5.12 1.metod ve 2.metodla elde edilen S fazı sonuçlarının karşılaştırılması	50
5.13 Gürültü temizleme uygulanmış ve uygulanmamış sonuçların karşılaştırılması	51
5.14 Db2 dalgacığı kullanılarak bulunan S fazı sonuçları	52
5.15 Db4 dalgacığı kullanılarak bulunan gürültüsü temizlenmemiş ve gürültüsü temizlenmiş olarak hesaplanan S fazı sonuçları	52
5.16 Bior2.2 dalgacığı kullanılarak bulunan S fazı sonuçları	53
5.17 Coiflet 1 dalgacığı kullanılarak bulunan S fazı sonuçları	53

1. GİRİŞ

Günümüzde işaret işleme pek çok mühendislik uygulamasında kullanılmaktadır. İşaret analizinin amacı, işareti işleyerek işaretten konuyla ilgili bilgiyi elde etmektir. Analiz edilebilecek çeşitli işaretler vardır; ses işaretleri, görüntü işaretleri, sismik işaretler gibi. Bu çalışmada sismik işaretler incelenecektir.

Sismik işaret bir takım küçük enerji değişimleriyle oluşmaktadır. Sismik deprem işareti ise farklı sismik dalgaların birleşimidir. Söz konusu dalgalar arasında en belirgin olanı S dalgasıdır. S dalgasının geliş zamanından depremin olduğu yer belirlenebilir. S dalgasının geliş zamanının belirlenmesinde deprem işaretlerinin farklı fazlarının (P fazı, S fazı gibi) fiziksel ayrımlarının incelenmesi esas alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan algoritma bir deprem işaretinin S fazının tespitine yönelik bir uygulamadır; P fazı geliş zamanının bilindiği varsayılarak S fazı geliş zamanı tespiti yapılacaktır.

Farklı işaretler için yine farklı analiz metodları vardır. Mesela; durağan işaretlerde işaretlerin özellikleri zamana göre değişmez; bu tip işaretler için Fourier dönüşümü en yaygın dönüşümdür. İşaretler değişik frekanslı sinüs bileşenlerinin toplamı şeklinde gösterilir ve Fourier dönüşümünde zaman bilgisi yer almamaktadır. İncelenen işaretin frekans bileşeni zamanla değişiyorsa bu analiz için Fourier dönüşümü yetersiz kalacaktır. Fourier dönüşümünün bu eksikliğini gidermek için Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (KZFD) kullanılmaktadır.

KZFD’nde işaret pencerelere ayrılarak Fourier dönüşümleri elde edilir. KZFD hem frekans hem de zaman bilgisini içermektedir; pencerenin konumu zaman bilgisini Fourier katsayıları da frekans bilgisini verir ve pencere uzunluğu sabittir. Zaman penceresi hep aynı uzunlukta seçildiği için frekans çözünürlüğü de hep aynıdır, bu da KZFD’nün en büyük dezavantajıdır.

Durağan olmayan işaretlerin analizinde genellikle Dalgacık Dönüşümü (DD) metodu tercih edilir. KZFD bir tek analiz penceresi kullanırken, DD yüksek frekanslarda kısa pencereler, düşük frekanslarda ise uzun pencereler kullanır. Dolayısıyla dalgacık dönüşümünün daha iyi bir zaman – frekans çözünürlüğü vardır. Fourier dönüşümünde temel fonksiyon olarak sinüs işareti kullanılırken dalgacık dönüşümünde kullanılan temel fonksiyonlar ise dalgacıklardır.

Faz tespiti için bugüne kadar yapılmış olan çalışmalarda yapay sinir ağları veya ayırık dalgacık dönüşümü gibi metodlar kullanılmıştır. Ayırık dalgacık dönüşümü ile üç bileşenli bir sismogram farklı frekans bandlarında analiz edilir. Bileşenlerin farklı frekans bandlarındaki analiziyle ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır:

Kanasewich, üç bileşenli deprem verisini kullanarak bir kovaryans matrisi oluşturmuş ve bu kovaryans matrisinden düzgünlük fonksiyonunu elde ederek P fazı geliş zamanının tespitinde kullanmıştır [KAN81].

K. Anant ve F. Dowla, çalışmalarında Kanasewich'in kullandığı kovaryans matrisini ve düzgünlük fonksiyonunu kullanmışlardır; fakat düzgünlük matrisini dalgacık dönüşümü metodunu kullanarak oluşturmuşlardır [ANA97].

Cichowicz, algoritmasında P fazı tespiti yapılmış bir işaretin S fazı geliş zamanının tespitini yapmıştır [CIC93]. S fazını tespitinde farklı karakteristik fonksiyonlar kullanmıştır; Kanasewich ve Jurkevics'in kullandığı karakteristik fonksiyonlarla birlikte kendi bulduğu karakteristik fonksiyonu da kullanmıştır.

Oonincx, incelediğimiz algoritmasında, Cichowicz'in kullanmış olduğu karakteristik fonksiyonları kullanarak, dalgacık dönüşümü metoduyla, P fazı belirlenmiş bir depremin S fazının tespitini yapmıştır [OON98].

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada P.J.Oonincx'in algoritması uygulanarak -depremin olduğu yeri belirleyen- S fazı tespiti yapılmaktadır. Algoritmada dalgacık dönüşümü metodu kullanıldığı için frekans bilgisinin zamana göre değişimi gözlenmiştir. Faz geliş zamanı tespitinde kullanılabilecek muhtemel beş tane karakteristik fonksiyondan S fazı özelliklerini belirginleştiren üç tanesi seçilerek bu üç fonksiyonun çarpımından bir karakteristik fonksiyon oluşturulmuştur. Oluşturulan karakteristik fonksiyondan elde edilen genliklerin maksimumu S fazı geliş zamanı olarak belirlenmiştir.

1.2 Tezin içeriği

Tez çalışmasında değinilen dört temel konu vardır. 2. Bölümde deprem işaretleri anlatılmıştır; deprem nedir, nasıl oluşur, faylanma teorisi, fay çeşitleri, deprem türleri, depremin şiddeti ve büyüklüğü ve deprem dalgaları konularına değinilmiştir.

3. Bölümde algoritmada kullanılan ve çalışmanın en önemli kısmını oluşturan dalgacık analizi konusu anlatılmıştır; Fourier analizi, kısa zamanlı Fourier dönüşümü, sürekli dalgacık dönüşümü (ölçeklendirme ve kaydırma), çoklu çözünürlük analizi, alt bantlara ayırma ve ayrık dalgacık dönüşümü konuları bu bölümde açıklanmıştır.

4. Bölümde ise S fazı tespiti için uyguladığımız P.J. Oonincx tarafından geliştirilen algoritma anlatılmıştır; karakteristik denklemleri elde etmek için kullanılacak olan kovaryans matrisi, düzgün lineerlik, düzlemsellik, sapma açısı, polarizasyon derecesi ve enerji oranı karakteristik denklemleri anlatılmıştır. Ayrıca S fazı tespitinde önemli rol oynayan ölçekleme değeri m , pencere uzunluğu N ve eşik değeri parametreleri bu bölümde açıklanmıştır.

5. Bölümde elimizdeki deprem işaretlerini kullanarak, söz konusu algoritmayla, farklı dalgacıklar kullanarak elde ettiğimiz sonuçlar ve bu sonuçların karşılaştırmaları bulunmaktadır.

Çalışmanın son bölümünde, elde edilen sonuçlar anlatılmış, ilerde yapılması muhtemel çalışmalarla ilgili değerlendirme yapılmıştır.

2. DEPREM

2.1 Deprem Nedir, Nasıl Oluşur?

Depremlerin önemli bir bölümü yeryüzünden yaklaşık 12 km derinliklere kadar uzanan elastik kısımda üst kabuk içinde meydana gelmektedir. Bu derinlikten daha derinliklerde sıcaklık 400 derecenin üzerinde olduğu için yer değiştirme hareketi depremsiz, krip denilen yavaş plastik şekil değiştirme enerjisi şeklinde yutulur. Buna karşılık elastik üst kısımda ise her yıl birkaç cm'lik yer değiştirme yüzyıllarca birikerek birkaç metre birden büyük bir depremle meydana gelmektedir. Depremler sırasında ilk kırılma başlangıcının bu elastik alan sınırında meydana geldiği anlaşılmaktadır [FIO98].

Deprem yer içinde fay olarak adlandırılan kırıklar üzerinde biriken biçim değiştirme enerjisinin aniden boşalması sonucunda meydana gelen yer değiştirme hareketinin sebep olduğu karmaşık elastik dalga hareketleridir. Bu yer değiştirme miktarı depremin büyüklüğü ile doğru orantılı olup özellikle sığ depremlerde belli bir büyüklükten sonra faylanma ile ilgili kırıklar yeryüzünde görülmektedir [AFO03].

2.2 Faylanma Teorisi

İki yönden sıkıştırılan kayanın bu kuvvet altında kırılmasıyla fay oluşur ve ortaya çıkan enerji deprem dalgaları halinde yayılır. Hareket yatay olduğu gibi düşey de olabilir. Kırılmanın olduğu noktaya odak / iç merkez denir. Odak noktasının düşey olarak yeryüzüne rastladığı noktaya dış merkez / merkez üssü denir [ITU03].

Herhangi bir depreme ait deprem parametreleri, yani odak noktası, dış merkez ve odak derinliği şu şekilde açıklanabilir:

2.2.1 Odak Noktası

Yer içerisinde deprem enerjisinin ortaya çıktığı noktadır. Aynı zamanda iç merkez olarak da isimlendirilir. Aslında odak noktası, bir nokta değil bir alandır; ancak uygulamalarda nokta olarak ifade edilmektedir.



2.2.2 Dış Merkez

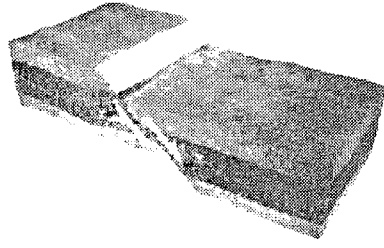
Yeryüzünde odak noktasına en yakın olan noktadır. Burası aynı zamanda depremin en çok hasar verdiği veya en kuvvetli olarak hissedildiği alandır.

2.2.3 Odak Derinliği

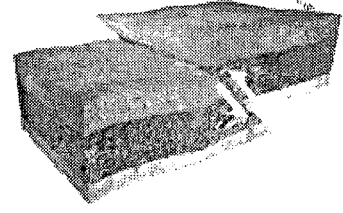
Deprem enerjisinin açığa çıktığı noktanın yeryüzüne olan en kısa uzaklığı, depremin odak derinliği olarak adlandırılır. Yani, odak noktası ile dış merkez arasındaki mesafedir. Depremler, odak derinliklerine göre sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırma, tektonik depremler (yerkabuğunun hareketi sonucu oluşan depremler) için geçerlidir. Yerin 0-60 km. derinliğinde olan depremler sığ deprem olarak nitelendirilir. Yerin 70-300 km. derinliklerinde olan depremler orta derinlikte olan depremlerdir. Derin depremler ise yerin 300 km.den fazla derinliğinde olan depremlerdir. Türkiye'de olan depremler genellikle sığ depremlerdir. Orta ve derin depremler daha çok bir yerkabuğu levhasının bir diğer yerkabuğu levhasının altına girdiği bölgelerde olur. Derin depremler çok geniş alanlarda hissedilir, buna karşılık yaptıkları hasar azdır. Sığ depremler ise dar bir alanda hissedilirken bu alan içinde çok büyük hasar sınırını aştığı anda da kırılma (faylanma) olur ve biriken enerji açığa çıkar. Levha hareketleri yüzünden birikmiş gerilme enerjisinin aniden boşalmasına deprem denir [ITU03]. Ayrıca aktif volkanların içindeki hareketlilik sebebiyle oluşan ve yapıları farklı olan küçük depremler de vardır.

2.3 Fay Çeşitleri

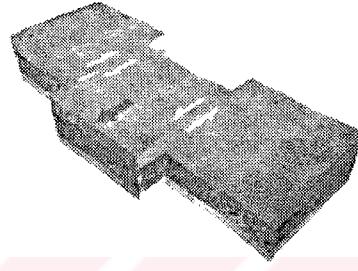
Normal faylanma genelde yerkabuğunun yatay çekme kuvveti sonucu oluşur. Ters faylanma basınç kuvveti sonucu oluşur. Yatay sıyrılmalı faylanmada, bloklar birbirlerine nazaran yatay hareket yaparlar. Yatay faylanma hareketinin sağ veya sol atımlı olduğu faya üstten bakılarak anlaşılabilir. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi üstten bakıldığında, yer değiştirme nispeten sağa doğru ise sağ atımlı, sola doğru ise sol atımlı olarak adlandırılır [ARZ03].



a)



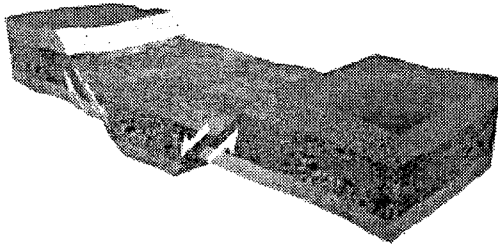
b)



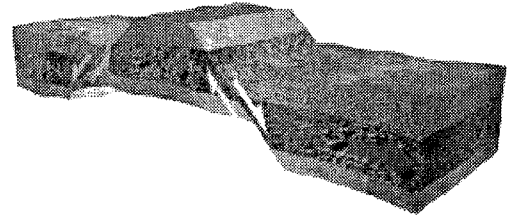
c)

Şekil 2.1 a) Normal faylar, b)Ters Faylar, c) Doğrultu atımlı faylar.

Normal faylanma arasındaki blok çökerse buna çöküntü (graben) denir. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi iki ayrı normal faylanma arasında bir yükselti bloğu kalırsa buna yükselti (horst) denir.



a)

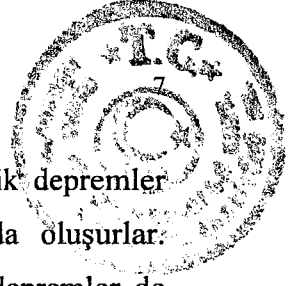


b)

Şekil 2.2 a) Çöküntü, b) Yükselti.

2.4 Deprem Türleri

Depremler oluş sebeplerine göre değişik türlerde olabilir. Dünyada olan depremlerin büyük bir bölümü yukarıda anlatılan biçimde oluşmakla birlikte az miktarda da olsa başka sebeplerle oluşan deprem türleri de bulunmaktadır. Yukarıda



anlatılan levhaların hareketi sonucu olan depremler genellikle tektonik depremler olarak nitelenir ve bu depremler çoğunlukla levhaların sınırlarında oluşurlar. Yeryüzünde olan depremlerin %90'ı bu gruba girer. Türkiye'de olan depremler de büyük çoğunlukla tektonik depremlerdir. İkinci tip depremler volkanik depremlerdir. Bunlar volkanların püskürmesi sonucu oluşurlar. Yerin derinliklerindeki magma tabakasının yeryüzüne çıkışı sırasındaki fiziksel ve kimyasal olaylar sonucunda oluşan gazların yapmış oldukları patlamalar sonucu meydana gelirler. Bunlar da yanardağlarla ilgili olduklarından mahallidirler ve önemli zarara sebep olmazlar. Japonya ve İtalya'da oluşan depremlerin bir kısmı bu gruba girmektedir. Türkiye'de aktif yanardağ olmadığı için bu tip depremler olmamaktadır [DEP03].

Bir başka tip deprem de çöküntü depremleridir. Bunlar yer altındaki boşlukların (mağara), kömür ocaklarında galerilerin, tuz ve jipsli arazilerde erime sonucu oluşan boşlukların tavan bloğunun çökmesi ile oluşurlar. Hissedilme alanları mahalli olup enerjileri azdır, fazla zarar vermezler. Büyük heyelanlar ve gökten düşen meteorların da küçük sarsıntılara sebep olduğu bilinmektedir.

2.5 Depremin Şiddeti ve Büyüklüğü

Depremlerin büyüklüğü (magnitude) ve şiddeti (intensity) genellikle birbirine karıştırılan iki kavramdır. Bu iki kavramı aşağıdaki gibi açıklayabiliriz:

2.5.1 Depremin Şiddeti

Herhangi bir derinlikte olan depremin, yeryüzünde hissedildiği bir noktadaki etkisinin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Depremin şiddeti; depremin yapılar, doğa ve insanlar üzerindeki etkilerinin bir ölçüsüdür. Bu etki; depremin büyüklüğü, merkez uzaklığı, yapıların depreme karşı gösterdiği dayanıklılık gibi sebeplerle değişiklik gösterebilmektedir. Şiddet, ölçümlere değil; tamamen gözleme dayalıdır. Sismografların olmadığı dönemlerde depremin ölçüsünü belirlemek amacıyla depremlerin etkileri sınıflandırılmış ve şiddet adı verilen bu ölçek ortaya çıkmıştır [AFS03]. Ülkemizde de kullanılan bu ölçek, 12 şiddet grubuna ayrılmıştır:

Şiddet 1, 2, 3,4'te; sallantılar olsa bile binalar ve eşyalar zarar görmez.

Şiddet 5'te; mutfak eşyalarından ve pencere camlarından bir kısmı kırılabilir.

Şiddet 6'da; deprem herkes tarafından duyulur. Pencere camları ve cam eşyalar kırılır. Ağır eşyalardan bir bölümü yerinden oynar. Sıvalarda çatlaklar oluşur.



Şiddet 7’de; ayakta durmak zorlaşır. Asılı cisimler düşer. Eşyalar hasar görür. D türü yapılarda (kerpiç, taş gibi zayıf malzeme, kötü harç kullanılan, standart dışı işçilikle yapılmış binalar) çatlak ve hasarlar oluşur. C türü yapılarda (alelade işçilik ve harçla yapılmış binalar) çatlaklar oluşur.

Şiddet 8’de; araba kullanmak zorlaşır. C türü yapılarda kısmen yıkılma, B türü yapılarda (iyi işçilik ve harçla yapılmış binalar) az hasar oluşur. A türü yapılarda (iyi işçilik, harç ve tasarımla yapılmış binalar) hasar olmaz. Zayıf duvarlar ve heykeller, kuleler ve bacalar yıkılır. Ağaç dalları kırılır. Ağır eşyalar ters döner. Kayalar düşer ve heyelanlar olabilir.

Şiddet 9’da; D türü yapıların tümü yıkılır. C türü yapılar ağır hasara uğrar. B türü yapılar önemli derecede hasar görür. Yeryüzünde büyük yarık ve çatlaklar oluşur. Yeraltındaki borular kopar.

Şiddet 10’da; B, C ve D türü yapıların büyük çoğunluğu yıkılır. İyi yapılmamış ahşap karkas ve iyi yapılmamış betonarme yapılarda büyük hasar görülür. Baraj ve bentlerde önemli hasarlar oluşur. Yeryüzünde büyük çatlaklar ortaya çıkar, raylar bükülür, heyelanlar olur.

Şiddet 11’de; pek az yapı ayakta kalır. Köprüler yıkılır. Yeryüzünde büyük çatlaklar oluşur. Yumuşak zeminde yer kaymaları olur. Raylar çok fazla eğilir.

Şiddet 12’de; bütün yapılar yıkılır. Deprem bölgesindeki yeryüzü biçimi değişir. Cisimler havaya fırlar. Yeryüzünde deprem dalgalarının ilerleyişi görülür. Ufuk ve yataylık kavramı yok olur.

2.5.2 Depremın Büyüklüğü

Depremde açığa çıkan enerjinin bir ölçüsüdür. Prof. Richter, merkez üssünden 100 km. uzaklıkta ve sert zemine yerleştirilmiş özel bir sismografla (2800 büyütme, özel periyodu 0,8 saniye ve %80 sönümü olan bir Wood-Anderson torsiyon sismografi ile) kaydedilmiş zemin hareketinin mikron cinsinden (1 mikron= 10^{-3} mm) ölçülen maksimum genliğinin 10 tabanına göre logaritmasını bir depremin büyüklüğü olarak tanımlamıştır [IBB03]. Logaritmik olduğu için büyüklükteki 1 birim artış, yer hareketlerinde 10 katlık fark yapmaktadır. Günümüzde birkaç değişik büyüklük hesabı yapılmaktadır.

M_l - Lokal Büyüklük: Richter’in orijinal bağıntısına göre hesaplanır. Sığ, yakın ve küçük depremler için kullanılır.

Mb -Cisim Dalgası (P ve S dalgaları) Büyüklüğü: P dalgalarının genliği esas alınarak hesaplanır.

Ms -Yüzey Dalgası (dünyanın yüzeyi boyunca yayılan dalgalar) Büyüklüğü: Yüzey dalgalarının genliği esas alınarak hesaplanır.

Md-Süre Büyüklüğü: Çok küçük ve yakın depremlerin süresi kullanılarak hesaplanır.

Mw-Moment Büyüklüğü: Açığa çıkan enerjinin sismik momenti esas alınarak hesaplanır.

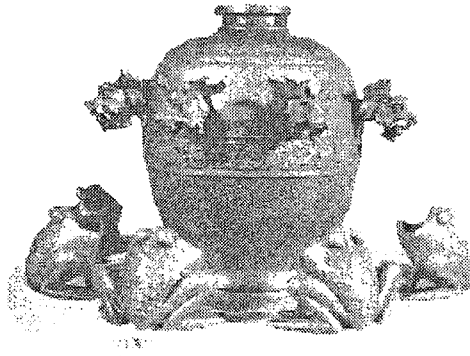
Şiddet ve Richter büyüklüğü arasındaki ilişki Tablo 2.1 'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1 Şiddet ve Richter büyüklüğü arasındaki ilişki.

Şiddet	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Richter Büyüklüğü	4,0	4,5	5,1	5,6	6,2	6,6	7,3	7,8	8,4

2.6 Depremlerin Ölçülmesi

Depremlerin ölçülmesine yönelik ilk cihaz, M.S. 132 yılında Çinli filozof Chang Heng tarafından icad edilmiştir [BOG03]. Bu cihaz Şekil 2.3'te görüldüğü gibi ayaklı bir vazo üzerine eşit aralıklarla yerleştirilmiş 8 tane ejderha başı ile vazunun ayağı üzerine yerleştirilmiş 8 tane kurbağadan oluşur. Kurbağaların açık olan ağızları ejderhalara doğru dönüktür. Deprem sırasında ejderlerden bazıları ağızlarındaki bilyeyi kurbağaların ağzına düşürür. Hangi ejderin bilyesi düşmüşse sarsıntının doğrultusu o yöndedir. Aletin kendi bulunduğu yerde hissedilemeyen yaklaşık 750 km uzaklıklardaki depremleri algılayabildiği söylenmektedir ve gövdesini oluşturan vazunun içerisinde ne tür bir düzenek olduğu bilinmemektedir. Bu konudaki en yaygın görüş, vazo içerisine çok duyarlı bir sarkacın yer aldığı görüşüdür.



Şekil 2.3 İlk sismograf.

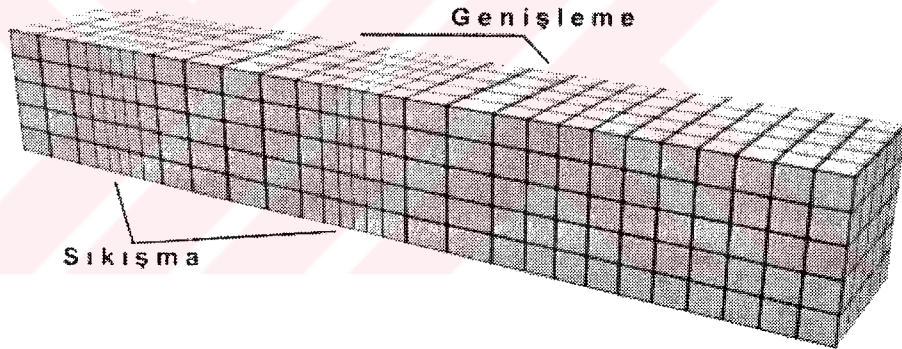
Günümüzde deprem ölçümleri, modern sismograflarla yapılmaktadır. Bugünkü anlamda ilk sismograflar IX. yüzyılın son çeyreğinde Filippo Cecchi, James Ewing ve Thomas Gray gibi sismologlarca geliştirilmiştir [BOG03].

2.7 Deprem Dalgaları

Deprem anında merkezden çevreye doğru yayılırlar. Deprem dalgaları P, S ve yüzey dalgaları olarak üç gruba ayrılır.

2.7.1 P dalgaları

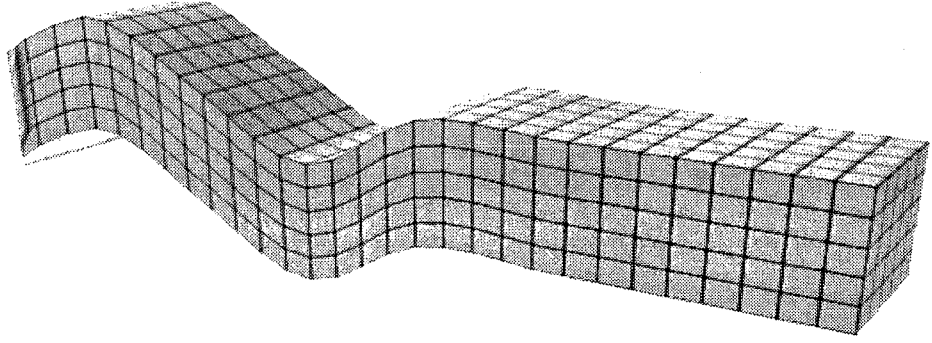
Kayıtçılara ilk ulaşan deprem dalgasıdır. Hızı, kabuğun yapısına göre 1,5 ile 8 km/sn arasında değişir. Tanecik hareketleri yayılma doğrultusuna paraleldir (bu yüzden boyuna dalgalar olarak da isimlendirilirler). Yıkım etkisi düşüktür. Şekil 2.4'te P dalgası görülmektedir.



Şekil 2.4 P dalgası.

2.7.2 S dalgaları

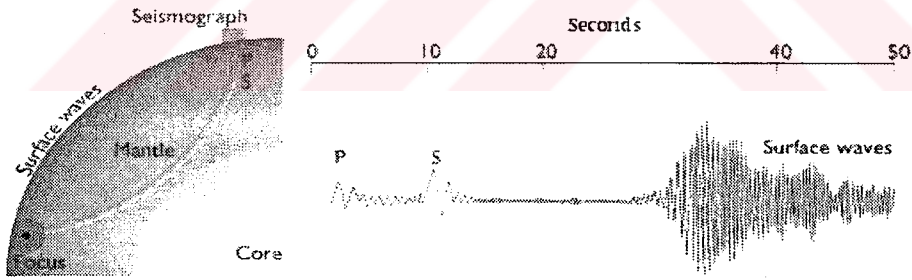
Kayıtçılara ikinci olarak ulaşan deprem dalgasıdır. Hızı P dalgasının hızının %60'ı ile %70'i arasında değişir. Tanecik hareketleri yayılma doğrultusuna dik ya da çaprazdır (bu yüzden enine dalgalar olarak da isimlendirilirler). Yıkım etkisi yüksektir. Şekil 2.5'te S dalgası görülmektedir.



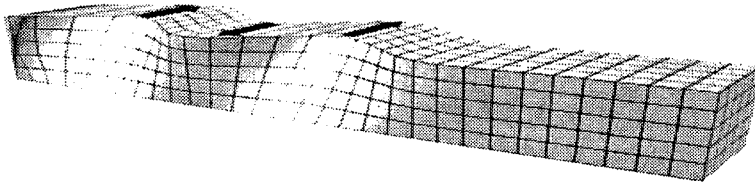
Şekil 2.5 S Dalgası.

2.7.3 Yüzey dalgaları

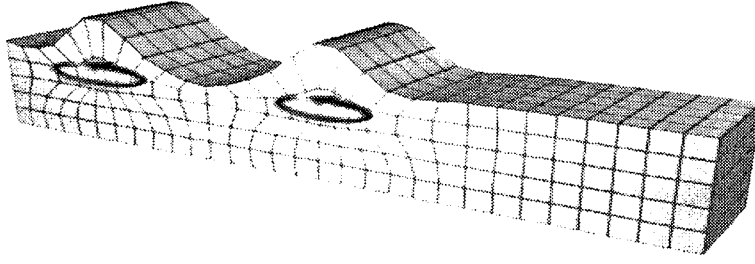
Dünyanın yüzeyi boyunca yayılan, P ve S dalgalarından sonra kayıtçılara gelen ve depremlerde esas hasarı yapan dalgalardır. Cisim dalgalarına göre daha yavaş yayılırlar; ancak genlikleri daha büyüktür. Hızı daha fazla olan Love ve genliği daha büyük olan Rayleigh dalgaları olarak ikiye ayrılırlar. Yapılarda yıkıma yol açan dalgalar S dalgaları ile yüzey dalgalarıdır. Yüzey dalgaları Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



a)



b)



c)



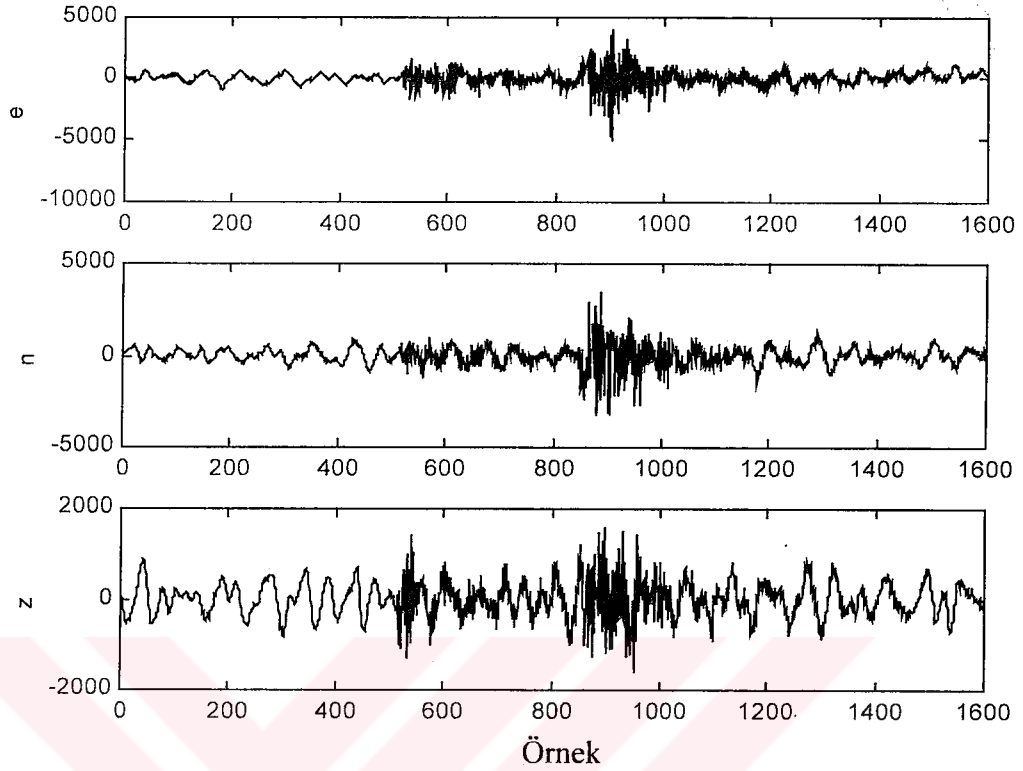
d)

Şekil 2.6 a)Yüzey Dalgaları, b)Love dalgaları, c)Rayleigh Dalgaları, d)dalgaların yayılma yönü.

2.8 Deprem İşaretlerinin İncelenmesi

Sismik bir işaret kendisini karakterize eden farklı fazlardan (dalgalardan) meydana gelir. Bu çalışmada söz konusu fazlardan en belirgin olan S fazı ele alınacaktır. P fazı geliş zamanının bilindiği var sayılarak S fazının geliş zamanı tespit edilmeye çalışılacaktır. Bu geliş zamanlarının doğru bilinmesi depremin olduğu yerin belirlenmesi açısından önemlidir.

S fazı geliş zamanı, üç bileşenli bir sismogramda belirlenir. Bu birbirine ortogonal üç bileşenden ikisi yatay yönde (x-y düzleminde) ve diğeri de dikey yöndedir (z düzleminde). Şekil 2.7’de üç bileşenli bir sismogram görülmektedir.

Genlik (N/mm²)

Şekil 2.7 Üç bileşenli sismogram

S fazının geliş zamanının tespitinde P fazıyla S fazı arasındaki fiziksel farklılıklar esas alınmıştır. Algoritmada kullanılan ilk özellik geliş zamanındaki gecikmedir. Herhangi bir deprem oluştuğunda, S fazı yerküreye P fazından daha geç ulaşır. Ayrıca S parçacık hareketi, yani S fazının yerküreye eriştiği andaki yönü P parçacık kuvvetinin yönüne dik bir düzlemde yer alır ki bu düzleme S düzlemi denir. P fazı deprem dalgasının hareket yönü boyunca ilerler. İki fazın frekans tayfları karşılaştırıldığında P fazının S fazına göre daha yüksek frekanslarda ortaya çıktığı görülür. Bu çalışmada ele alınan S fazı tespiti algoritması bilinen metodlarla ayırık dalgacık dönüşümünün birleşimidir. Ayırık dalgacık dönüşümü ile üç bileşenli bir sismogram farklı ölçeklerde (frekans bandlarında) analiz edilmektedir.

3. DALGACIK ANALİZİ

Dalgacık (wavelet) teorisi işaret işlemede kullanılan birçok analiz yöntemi bütünleştiren bir çatı oluşturur. Bu matematiğin temelleri Joseph Fourier'in 19.yüzyılda yapmış olduğu çalışmalara dayanmaktadır. Dalgacık konusundan ilk olarak 1909 yılında Alfred Haar yapmış olduğu tez çalışmasında bahsetmiştir. Günümüzdeki haliyle genel kavram olarak dalgacıklar Fransa'da Jean Morlet ve Alex Grossmann'ın yönetiminde çalışan Marseille Teorik Fizik Merkezi (Marseille Theoretical Physics Center) tarafından önerilmiştir. Dalgacık teorisi ile ilgili metodlar Y. Meyer ve meslektaşları tarafından geliştirilmiştir. Stephane Mallat'ın 1988'deki çoklu çözünürlük analizi (multiresolution analysis) [STE88] ve Daubechies'in ortogonal dalgacıklar hakkındaki çalışmalarından sonra dalgacıklar işaret işlemede önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir.

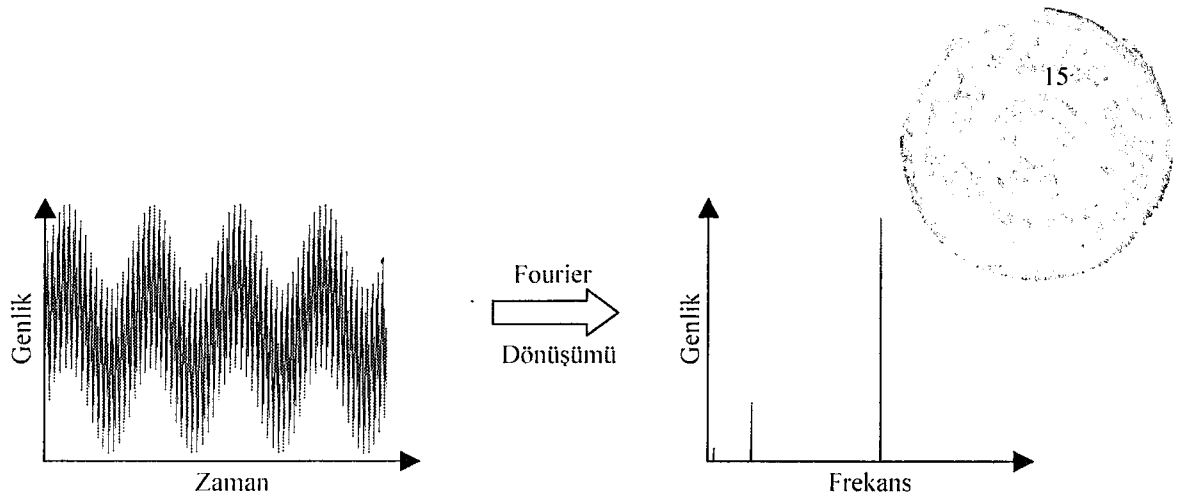
Dalgacık teorisi, Fourier dönüşümü ve Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (KZFD)'nün yetersiz kaldığı analizler için geliştirilen işaret işleme tekniklerinden biridir. Dalgacık teorisi konusuna girmeden önce kısaca Fourier analizi ve KZFD'nden bahsedilecektir.

3.1 Durağan Olmayan İşaretlerin Fourier Analizi

İşaret analizinin amacı, işareti işleyerek işaretten konuyla ilgili bilgiyi elde etmektir. Durağan işaretlere uygulanan benzer dönüşümlerde işaretlerin özellikleri zamana göre değişmez. Bu tip işaretler için Fourier dönüşümü en yaygın dönüşümdür. Bir $x(t)$ işaretinin Fourier dönüşümü (3.1) denklemi ile ifade edilmiştir:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (3.1)$$

Fourier dönüşümündeki analiz katsayıları (yani $X(f)$), $x(t)$ 'nin sonsuz süredeki temel sinüs fonksiyonlarıyla iç çarpımlarıdır. Dolayısıyla, $x(t)$ sinüs fonksiyonları gibi durağan işaretlerden ibaretse Fourier analizi en iyi analiz metodudur. Şekil 3.1'de birden çok sinüs işaretinin toplamından oluşan bir fonksiyonun Fourier dönüşümü görülmektedir.



Şekil 3.1 Bir fonksiyon ve Fourier dönüşümü.

Bununla birlikte, durağan olmayan bir $x(t)$ işaretindeki herhangi bir ani değişiklik $X(f)$ 'deki bütün frekans ekseninden dışa yayılır. Bu durumda, durağan olmayan işaretlerin analizinde Fourier dönüşümünden daha iyi bir dönüşüme ihtiyaç vardır. Bu konudaki genel yaklaşım Fourier dönüşümünde lineerliği bozmadan zaman bağımlılığını ortaya çıkarmaktır. Bu da pencerelemeye (windowing) dayalı KZFD'dir.

3.2 Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü

Fourier dönüşümünde zaman bilgisi yer almamaktadır. İncelenen işaretin frekans bileşeni zamanla değişmiyorsa söz konusu analiz için Fourier dönüşümü yeterli olacaktır, fakat zamanla değişiyorsa bu analiz için Fourier dönüşümü yetersiz kalacaktır. Fourier dönüşümünün bu eksikliğini gidermek için KZFD'ü kullanılmaktadır. KZFD hem frekans hem de zaman bilgisini içermektedir.

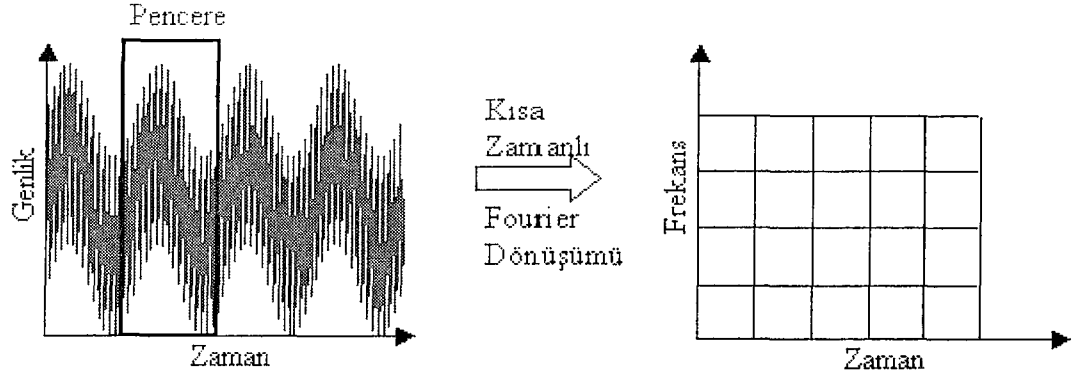
Dennis Gabor, Fourier dönüşümünü belli bir zamanda işaretin sadece belli bir kısmını analiz edebilmek için geliştirmiştir. Bu tekniğe işareti pencereleme adı verilir. Gabor'un bu yöntemine Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (Short Time Fourier Transform) denir ve bu yolla; işaret, zaman ve frekans bileşeni olan iki bileşenli bir işaret haline dönüşür. Gabor, orijinal ifadesinde sadece sentez kısmını tanımlamıştır; fakat analiz kısmı da (3.2) ifadesinde basitçe verilmiştir:

$$X(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)g(t - \tau)e^{-2\pi jft} dt \quad (3.2)$$

Denklem (3.2)'de $g(t)$ pencere fonksiyonu, τ da öteleme parametresidir. Buradaki f parametresi ise Fourier dönüşümü frekansıdır. KZFD analizinde kritik nokta, $g(t)$ penceresinin uygun olarak seçilmesidir. (3.2) ifadesi işareti belirli bir f frekansında, bütün t değerleri için dürtü cevabı o frekansta modüle edilmiş pencere

fonksiyonu olan band geçiren filtre ile filtreler. Böylece KZFD modüle edilmiş bir filtre bankası olarak düşünülebilir.

KZFD'ü yapılan bir işaretin zaman – frekans çözünürlüğü Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2 KZFD'nin zaman – frekans çözünürlüğü

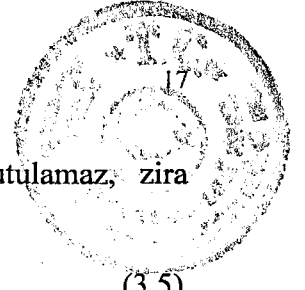
KZFD'nde pencere uzunluğu küçük olduğunda zaman çözünürlüğü iyi, frekans çözünürlüğü kötü; tersi durumda, pencere uzunluğu büyük olduğunda frekans çözünürlüğü iyi zaman çözünürlüğü kötü olacaktır. Pencere büyük tutulduğunda düşük frekanslı bileşenler, küçük tutulduğunda ise yüksek frekanslı bileşenler görülebilir. KZFD'nde, Şekil 3.2'de de görüldüğü gibi, zaman penceresi hep aynı uzunlukta seçildiği için frekans çözünürlüğü de hep aynıdır, bu da KZFD'nin en büyük dezavantajıdır. Bu yüzden zaman ve frekans tespitinde daha kesin sonuçların alınabileceği değişebilir pencere büyüklükleri seçilebilmelidir.

Frekans çözünürlüğü, KZFD'de kullanılan $g(t)$ pencere fonksiyonu ve bunun Fourier Dönüşümü $G(f)$ cinsinden (3.3) ifadesiyle gösterilebilir:

$$\Delta f^2 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} f^2 |G(f)|^2 df}{\int_{-\infty}^{\infty} |G(f)|^2 df} \quad (3.3)$$

(3.3) ifadesine benzer şekilde, zaman çözünürlüğü de (3.4) ifadesindeki gibi Δt ile gösterilmektedir:

$$\Delta t^2 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} t^2 |g(t)|^2 dt}{\int_{-\infty}^{\infty} |g(t)|^2 dt} \quad (3.4)$$



Zaman ve frekanstaki çözünürlük keyfi olarak küçük tutulamaz, zira çarpımlarının (3.5) ifadesinde gösterildiği gibi bir alt sınırı vardır:

$$\text{Zaman} - \text{Band Genişliği çarpımı} = \Delta t \Delta f \geq 1/4 \pi \quad (3.5)$$

(3.5) ifadesi Belirsizlik Prensibi (uncertainty principle) veya Heisenberg eşitsizliği olarak bilinir [GOS99]. Δt zaman penceresi, Δf frekans penceresi olmak üzere; şayet frekansta çözünürlük önemliyse zamanda çözünürlükten fedakarlık edilmesi gerekecektir, aynı şekilde eğer uygulamada zamanda çözünürlük önemli ise frekans çözünürlüğünden feragat etmek gerekecektir. (3.5) eşitliğiyle verilen sınırın korunması sebebiyle KZFD’nde sıklıkla Gauss pencereleri kullanılmaktadır [GAB46]. KZFD için kullanılacak olan pencere büyüklüğü seçildikten sonra (3.3), (3.4) ve (3.5) denklemlerinde verilen zaman-frekans çözünürlüğü ifadeleri tüm zaman düzlemi için belirlenmiş olur ve bundan sonra tüm frekanslar için aynı pencere büyüklüğünün kullanılması gerekir.

3.3 Dalgacık Dönüşümü

Dalgacık Dönüşümü (DD) özellikle durağan olmayan (non-stationary) işaretlerin analizinde kullanılır, çünkü DD klasik Kısa-Zamanlı Fourier Dönüşümü (KZFD) (Short-Time Fourier Transform) veya Gabor Dönüşümü (Gabor Transform) bu tür işaretlerde iyi çözüm üretmezler [GAB46]. Aralarındaki temel fark şudur: KZFD bir tek analiz penceresi kullanırken, DD yüksek frekanslarda kısa pencereler, düşük frekanslarda ise uzun pencereler kullanır. Dolayısıyla dalgacık dönüşümünün daha iyi bir zaman-frekans çözünürlüğü vardır. Fourier dönüşümünde temel fonksiyon olarak sinüs işareti kullanılırken dalgacık dönüşümünde kullanılan temel fonksiyonlar ise dalgacıklardır. Uygulamaların çeşitliliğine göre pek çok farklı DD kullanılmaktadır. Sürekli zamanlı işaretler için zaman ve ölçek parametreleri sürekli olan Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD) (Continuous Wavelet Transform) , ayrık zamanlı işaretler için tanımlanmış Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) (Discrete Wavelet Transform) kullanılabilir. Dalgacık teorisinin çok geniş bir çalışma alanı vardır; sürekli ve ayrık zaman durumlarının her ikisini de ele alır. İşaret işlemede pek çok probleme uygulanabilecek çok genel teknikleri içerir.



3.4 Sürekli Dalgacık Dönüşümü

SDD, Fourier katsayılarının hesaplanmasına benzer şekilde; kaydırılmış ve ölçeklendirilmiş dalgacık fonksiyonlarının tüm zamandaki işaretlerle çarpımının toplamıdır. Bu ilişki (3.6) ifadesinde gösterilmektedir.

$$SDD(b,a) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi_{b,a}^*(t) dt \quad (3.6)$$

Burada $x(t)$ dalgacık dönüşümü yapılacak fonksiyon, $\psi(t)$ ise ana dalgacıktır. Yavru dalgacık $\psi_{b,a}(t)$ fonksiyonundaki parametrelerden b öteleme (pozisyon), a ise ölçekler. Ölçek, dalgacığın büyüklüğünü, öteleme ise dalgacığın zaman eksenindeki yerini belirler. (3.6) ifadesinde görüldüğü üzere SDD, farklı ölçek ve pozisyon fonksiyonlarından oluşan pek çok dalgacığın katsayısıdır. Her katsayının ayrı ayrı ölçeklenmiş ve ötelenmiş dalgacıkla çarpımlarının toplamı $x(t)$ işaretini vermektedir. Şekil 3.3'te bir işareti temsil edebilecek farklı ölçek ve konumdaki dalgacıklar gösterilmiştir.



Şekil 3.3 İşaretin farklı ölçek ve konumdaki dalgacıklara ayrılması

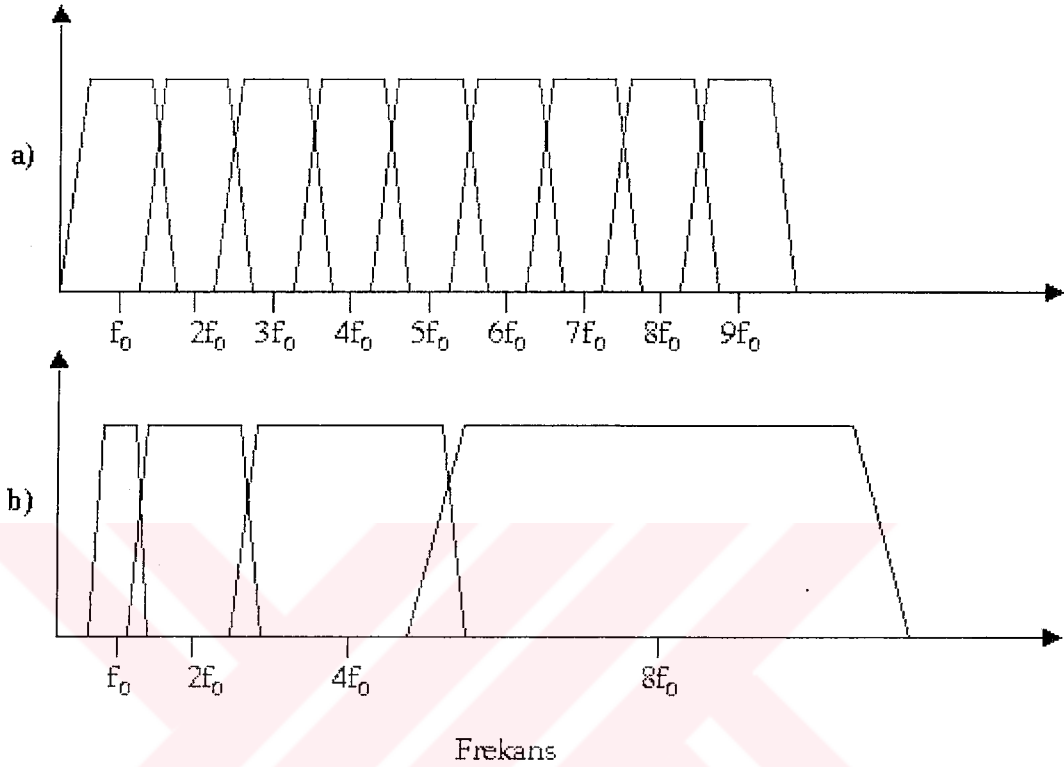
KZFD'deki çözünürlük engelini aşmak için Δt ve Δf çözünürlükleri, çoklu çözünürlük elde etmek amacıyla, zaman ve frekans düzleminde değiştirilebilir. Bu analiz, filtre bankası gibi düşünülürse zaman çözünürlüğü Δt arttığında, analiz filtrelerinin merkez frekansı (f_m) da artmalıdır. C bir sabit olmak üzere Δf ve f_m arasındaki orantı (3.7) eşitliğinde görülmektedir.

$$C = \frac{\Delta f}{f_m} \quad (3.7)$$

Analiz filtre bankası sabit nisbi (relative) bandgenişlikli ("constant-Q" analizi) band geçiren filtrelerden oluşmuştur. Diğer bir deyişle; KZFD'deki analiz filtresinin frekans eksenini boyunca düzgün bir şekilde dizilmiş frekans cevabına



karşılık dalgacık dönüşümünde logaritmik bir ölçeğe muntazam bir yayılım gözlenmektedir. Bu yayılım Şekil 3.4'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4. a) KZFD'deki düzenli ayırım, b) Dalgacık dönüşümündeki logaritmik ayırım

(3.7) ifadesine bakıldığında Δf 'nin analiz filtresinin merkez frekansı ile değiştiği görülmektedir. Elbette Heisenberg eşitsizliği halen sağlanmaktadır; fakat şimdi zaman çözünürlüğü yüksek frekans değerlerinde iyiyken frekans çözünürlüğü ise düşük frekans değerlerinde daha iyidir. Farklı frekanslardaki çözünürlük değişikliklerinin genelleştirilmesiyle dalgacık paketleri elde edilir [WIC89]. Öyle ki işarete bağlı olarak keyfi zaman-frekans çözünürlükleri seçilmektedir.

Filtre bankalarının tüm dürtü cevapları a ölçek çarpanı ile ölçeklendirildiğinde (3.8) ifadesi ortaya çıkmaktadır.

$$h_a(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} h\left(\frac{t}{a}\right) \quad (3.8)$$

Burada $\frac{1}{\sqrt{a}}$ sabiti enerjiyi normalize etmek için kullanılır. (3.8) ifadesindeki dürtü

cevabı (3.6) denkleminde yerine konursa SDD eşitliği (3.9)'daki gibi olur:

$$\text{SDD}(b,a) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) h^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad (3.9)$$

(3.9) ifadesi (3.6)'ya göre düzenlenecek olursa sürekli dönüşüm için dalgacık fonksiyonu $\psi_{b,a}(t)$ (3.10)'daki gibi olur:

$$\psi_{b,a}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi \left(\frac{t-b}{a} \right) \quad (3.10)$$

Aynı örnekte $h(t)$ ana dalgacık olarak adlandırılır ve tüm filtre dürtü cevapları için kullanılır. KZFD'de kullanılan modüle edilmiş pencere ilişkisini daha anlaşılır kılmak için (3.9) ifadesindeki $h(t)$ ana dalgacığı (3.11)'deki gibi modüle edilmiş pencere olarak seçilebilir:

$$h(t) = g(t) e^{-2j\pi ft} \quad (3.11)$$

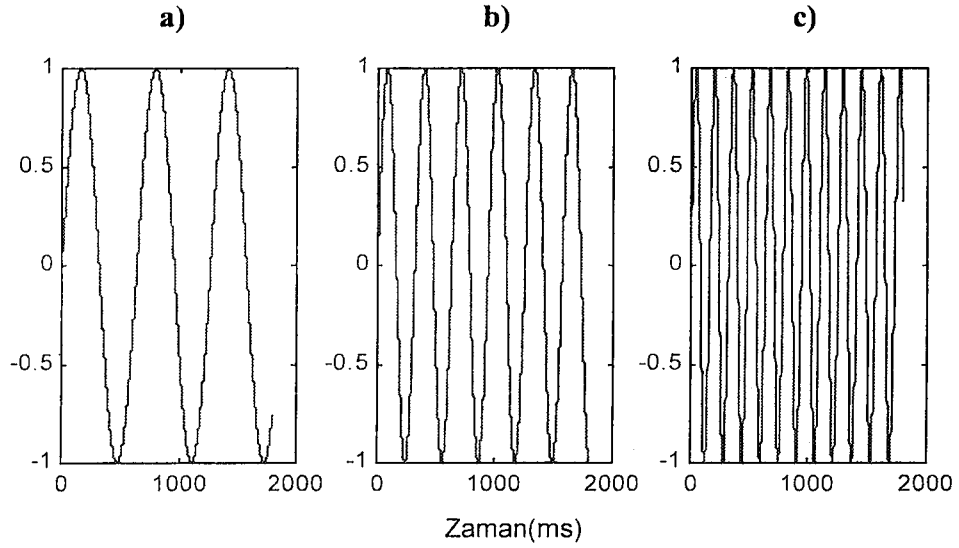
Analiz filtresinin frekans cevabı (3.7) ifadesine benzer şekilde aşağıdaki ifadeyi verir:

$$a = \frac{f_0}{f} \quad (3.12)$$

$f_0 = af$ lokal frekansı (ana dalgacığa bağlı) artık bundan sonra frekans modülasyonu ile bağlantılı değil, zaman ölçeklemeleriyle bağlantılıdır. Bu aynı zamanda SDD'nde ölçek kavramının frekans kavramına neden tercih edildiğini de açıklamaktadır.

3.4.1 Ölçekleme

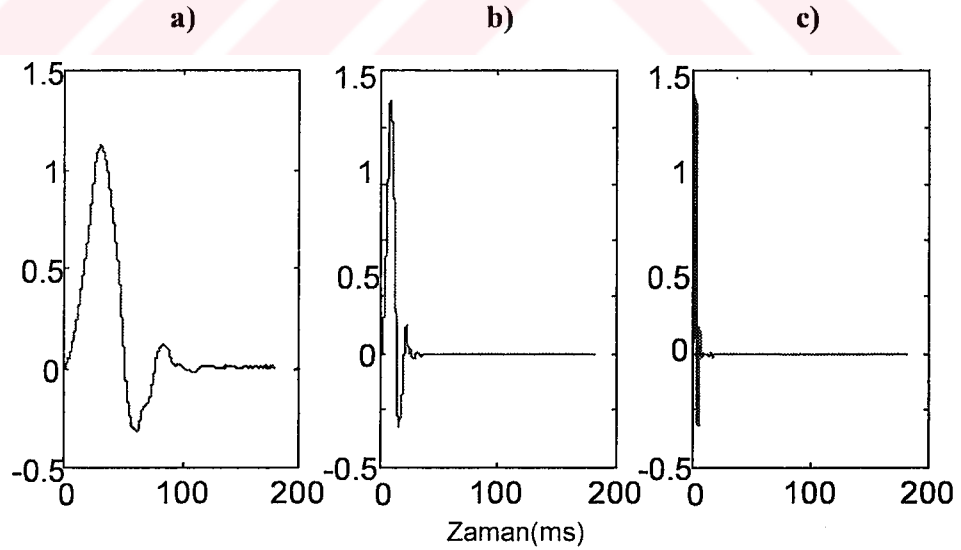
Bir dalgacığı ölçeklemek (Scaling) basitçe o dalgacığı açmak veya sıkıştırmak anlamına gelir. Dalgacık dönüşümünde ölçek, dalgacığın büyüklüğünü belirler. Şekil 3.5'te sinüs işareti, ölçekleme çarpanına örnek olarak verilmiştir.



Şekil 3.5 a) $f(t)=\sin(t)$; $a=1$, b) $f(t)=\sin(2t)$; $a=1/2$ ve c) $f(t)=\sin(4t)$; $a=1/4$

Şekil 3.5'ten de açıkça görüleceği gibi işaretin ölçekleme çarpanı 'a' frekans ile ters orantılıdır.

Ölçekleme çarpanı dalgacıklarda da sinüs işaretine benzer şekilde uygulanır. Ölçekleme çarpanı ne kadar küçük olursa dalgacık o kadar sıkışır. Şekil 3.6'da Daubechies 4 (Db4) dalgacığının ölçeklenmesi gösterilmiştir, a ölçekleme seviyesidir.



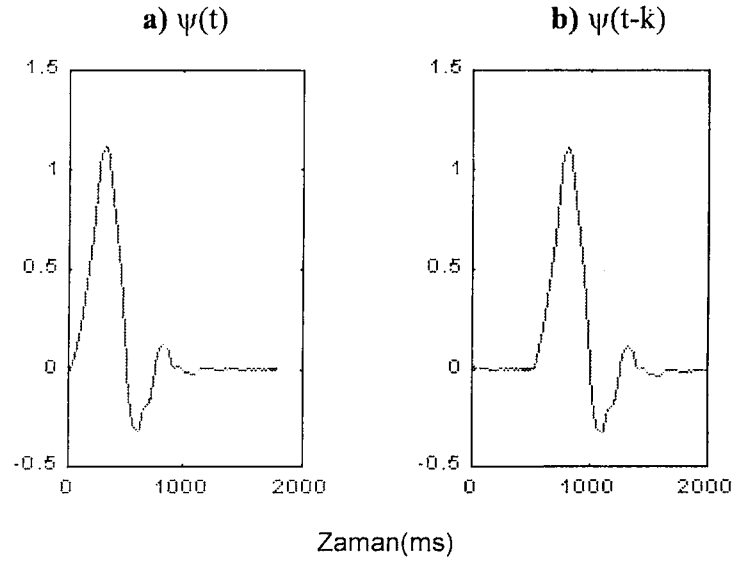
Şekil 3.6 a) $f(t)=\psi(t)$; $a=1$, b) $f(t)=\psi(2t)$; $a=2$, c) $f(t)=\psi(4t)$; $a=4$ 'tür.

3.4.2 Öteleme

Matematiksel olarak bir $f(t)$ fonksiyonunu geciktirmek $k>0$ için $f(t-k)$ olarak ifade edilebilir. Bir dalgacığı öteleme (Shifting) basitçe o dalgacığı geciktirmek veya

ilerletmektir, öteleme dalgacığının zaman eksenindeki yerini belirlemek için kullanılır.

Şekil 3.7’de Db4 dalgacığının k kadar ötelenmesi görülmektedir.



Şekil 3.7 a) $\psi(t)$ dalgacık fonksiyonu, b) $\psi(t)$ fonksiyonunun k kadar gecikmesi.

3.5 Ayırık Dalgacık Dönüşümü

Her ölçek için dalgacık katsayılarını hesaplamak hem çok miktarda iş hem de çok fazla bilgi demektir. Eğer ölçekler ikinin katları baz alınacak şekilde seçilirse bu analizlerin daha hızlı ve verimli olmasını sağlayacaktır. Ayırık Dalgacık Dönüşümünde (ADD) (Discrete Wavelet Transform) ölçek değerleri ikinin katları şeklinde kullanılmaktadır. SDD’nde (3.10) ifadesinde kullanılan a ölçek değeri 2^j ve b öteleme değeri $k2^j$ olarak kullanılır ve bu değerler (3.10)’da yerine konursa ayırık dalgacık dönüşümü için temel dalgacık fonksiyonu (3.13) ifadesindeki gibi olur [OLI93] :

$$\begin{aligned}\psi_{j,k}(t) &= \frac{1}{\sqrt{2^j}} \psi\left(\frac{t - k2^j}{2^j}\right) \\ &= 2^{-j/2} \psi(2^{-j}t - k) \quad j, k \in \mathbf{Z}\end{aligned}\quad (3.13)$$

Dalgacık dönüşümü katsayıları da $\psi_{j,k}(t)$ işaretinin $x(t)$ ile iç çarpımlarıdır ve (3.14) ifadesiyle gösterilmiştir:

$$\psi_k^j = \int x(t) \psi_{j,k}^*(t) dt \quad (3.14)$$

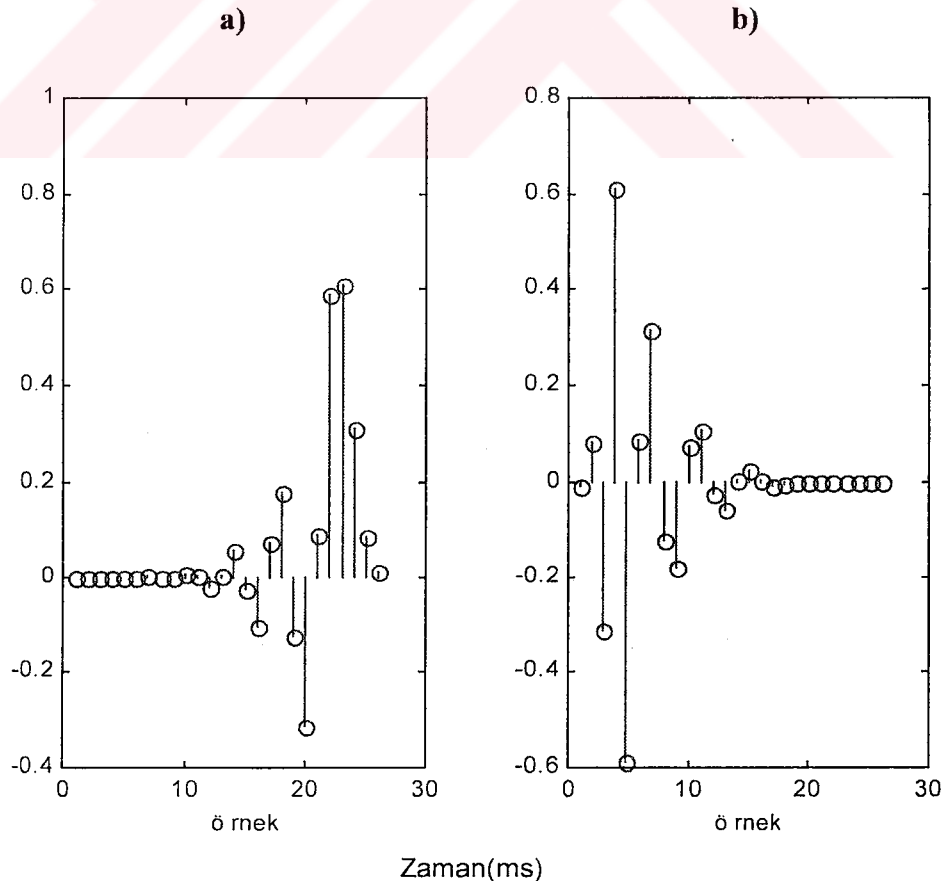
Dalgacık dönüşümünde frekans bandında logaritmik bir ölçeğe göre muntazam bir yayılım gözlenmektedir. Şekil 3.4 b)’de görüldüğü gibi (3.13) ifadesindeki j dalgacık ölçeği azaldıkça dönüşüm seviyesi 2 kat artmakta ve frekans

bandı yarıya düşmektedir. Şekil 3.4 a)'da (KZFD'ünde) frekans bandının sıfır noktasına geldiği görülmektedir. Fakat dalgacık dönüşümünde, j dalgacık ölçeğini düşürmek yoluyla, dalgacık fonksiyonunun frekans bandını sıfır yapmak mümkün değildir. Bu eksikliği aşabilmek için bir alçak geçiren filtre karakterinde olan ölçek fonksiyonu $\varphi_k(t)$ kullanılmaktadır. Dalgacık dönüşümü yapılacak bir $x(t)$ işaretinin ölçek fonksiyonu kullanılarak elde edilen matematiksel ifadesi (3.15)'te verilmiştir:

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c(k)\varphi_k(t) + \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} d(j,k)\psi_{j,k}(t) \quad (3.15)$$

Burada $d(j,k)$ ayrıntı, $c(k)$ ise yaklaşıklık katsayılarıdır. j ölçeğe, k ise ötelemeye karşı gelmektedir.

Pek çok işaret için alçak frekans içeriği çok önemlidir, bu işaretin kimliğini belirler. Yüksek frekans içeriği ise ayrıntıyı verir. Dalgacık analizinde yaklaşıklık ve ayrıntılardan sıkça bahsedilir; yüksek ölçek ve işaretin alçak frekans bileşeni yaklaşıklık, yüksek frekans bileşeni ve alçak ölçek ise ayrıntılardır. Şekil 3.8'de Daubechies 13 (Db13) dalgacığı için alçak geçiren ve yüksek geçiren analiz filtreleri gösterilmiştir:



Şekil 3.8 Db13 dalgacığının a) alçak geçiren, b) yüksek geçiren analiz filtreleri.

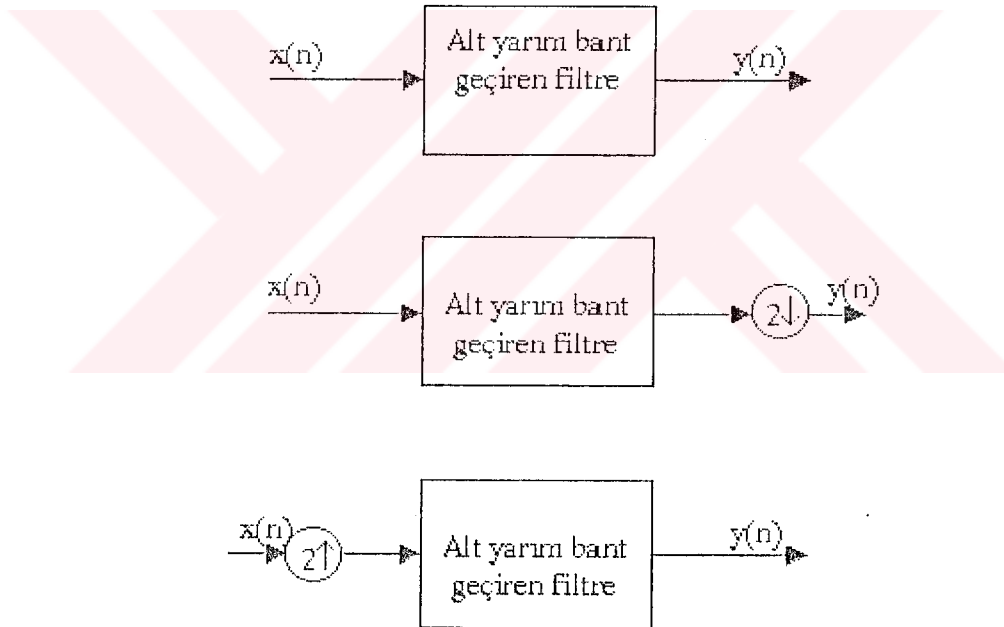
Ayrık dalgacık dönüşümü için temel olarak alt bandlara ayırma veya çoklu çözünürlük analizi yöntemleri kullanılır.

3.6 Çoklu Çözünürlük Analizi (Multiresolution Analysis)

$X(n)$ işareti, $g(n)$ dürtü cevaplı bir yarım-band alçak geçiren filtreden geçirilerek düşük çözünürlüklü bir işaret elde edilir. Nyquist kuralına göre, bu işaret (3.16)'daki gibi ikiyle aşağı örneklenerek ölçek iki katına çıkartılabilir [OLI91].

$$y(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} g(k).x(2n - k) \quad (3.16)$$

Burada çözünürlükteki değişim alçak geçiren filtreyle elde edilmiş olur. Yapılan işlemin blok diyagramı Şekil 3.9'de gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Ayrık zamanda çözünürlük ve ölçek değişimleri

$x(n)$ 'nin alçak geçiren filtreden geçirilmiş ve aşağı örneklenmiş halinden orijinal $x(n)$ ifadesine yakın $a(n)$ fonksiyonunu bulmak için ilk olarak ikiyle yukarı örnekleme, daha sonra da (3.17)'deki $y'(n)$ 'i $g'(n)$ dürtü cevaplı filtreyle (3.18)'deki gibi interpolasyon yapmak gerekir.

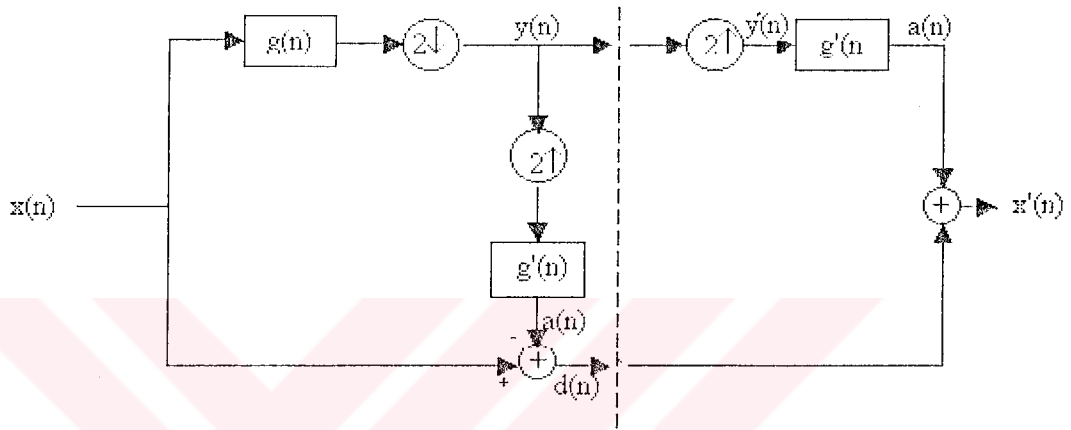
$$y'(n) = y(n) , y'(2n+1) = 0 \quad (3.17)$$

$$a(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} g'(k)y'(n-k) \quad (3.18)$$

İşaretin giriş ve çıkışı arasında oluşan faz farkından dolayı $a(n)$ ifadesi $x(n)$ ifadesine eşit olmayacaktır. Bu nedenle $a(n)$ ile $x(n)$ arasındaki fark denklemi (3.19) ile verilmiştir.

$$d(n) = x(n) - a(n) \quad (3.19)$$

(3.19)'da görüldüğü gibi $x(n)$, $d(n)$ ve $a(n)$ 'in toplanmasıyla elde edilebilmektedir ve bütün işlem Şekil 3.10'da gösterilmektedir.



Şekil 3.10 Çoklu çözünürlüklü işaret analizinin blok diyagramı.

f_s örnekleme frekanslı $x(n)$ işareti, f_s örnekleme frekanslı $d(n)$ ve $f_s/2$ örnekleme frekanslı $y(n)$ olmak üzere iki işarete ayrılmıştır. Şekil 3.10'da da görüldüğü gibi alçak geçiren filtrelemeyi takip eden iki ile alt örneklere ayırmayla orijinal işaretin yarısı çözünürlüklü ve iki katı ölçeklemeli yeni bir işaret elde edilir [ROS84]. $x(n)$; $a(n)$ ve $d(n)$ 'in toplamı olarak ifade edildiğinden yukarıdaki işlemin sonunda elde edilen $x'(n)$ işareti orijinal işarettten düşük çözünürlüklüdür ve işaretin örnek sayısı toplamda %50 kadar daha artmış olur. Örnek sayısı 1,5 kat artmış olan işaret $g(n)$ ve $g'(n)$ filtreleri kullanılarak orijinal haline getirilebilmektedir.

3.7 Alt Bantlara Ayırma (Subband Coding)

Alt bantlara ayırma ilk olarak ses sıkıştırma kullanılmıştır [CRI76,CRO83,EST77].

Alt band kodlama yöntemi işaretin, bir analiz filtre bankasından ($h(n)$ ve $g(n)$) geçirilerek frekans bölgesinde alt bantlara ayrılması esasına dayanır. Alt bantlarına ayrılan işaret, bilgi miktarının azaltılması için, alt örnekleme (decimation) işlemine tabi tutulur ((3.20) ifadesindeki $y_0(n)$ ve (3.21) ifadesindeki $y_1(n)$).

$$y_0(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k)g(2n-k) \quad (3.20)$$

$$y_1(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k)h(2n-k) \quad (3.21)$$

Bu işlem sırasında; filtre yapılarının ideal olmamasından kaynaklanan örtüşme (aliasing) etkileri ortaya çıkar. Alt örnekleme uygulanan her bir alt band, kendi istatistiksel özellikleri dikkate alınarak sınıflandırılır, kodlanır ve iletilirler. Alıcı tarafta elde edilen işaretler çözüldükten sonra alt örneklemenin tersi bir işlem olan yukarı örnekleme (interpolation) tabi tutulurlar. Bu işlem sırasında da, frekans bölgesinde bir daralma ve istenmeyen frekans görüntüleri (images) meydana gelir. İşaret; oluşan bu etkilerin ve alt örnekleme sırasında ortaya çıkan örtüşme (aliasing) etkilerinin giderilmesi için, analiz filtrelerine ($h(n)$ ve $g(n)$) bağımlı olarak tasarlanan sentez filtre bankalarından ((3.22) ifadesindeki $h'(n)$ ve (3.23) ifadesindeki $g'(n)$) geçirilir.

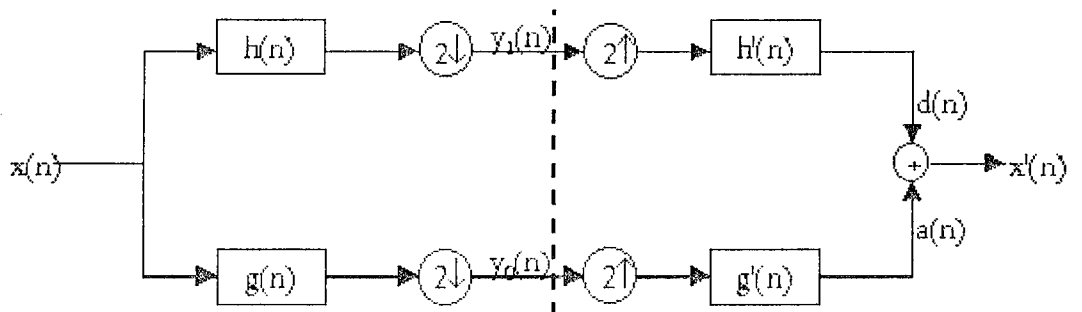
$$h'(n) = (-1)^{n+1} g(n) \quad (3.22)$$

$$g'(n) = (-1)^n h(n) \quad (3.23)$$

Bu işlem sonrasında her bir alt band işareti, $d(n)$ ve $a(n)$, (3.24) ifadesindeki gibi toplanarak orijinal işaret elde edilir.

$$x'(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} [y_0(k)g(-n+2k) + y_1(k)h(-n+2k)] \quad (3.24)$$

Buraya kadar anlatılan alt bantlara ayırma işleminin blok diyagramı Şekil 3.11'de verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi $x(n)$ işareti çoklu çözünürlükten farklı olarak dürtü cevabı $h(n)$ olan bir yüksek geçiren filtreden daha geçirilmektedir (bunun yanı sıra alçak geçiren filtre ve aşağı örnekleme alt bantlara ayırmada da kullanılmaktadır). Bu yöntemle çoklu çözünürlükteki gibi bir $d(n)$ artık bilgi işareti alt bantlara ayırmada ortaya çıkmamış olur.



Şekil 3.11 Alt bantlara ayırma sistem şeması

Ayrık dalgacık dönüşümü de bir çeşit alt bandlara ayırmadır. İşaret alçak ve yüksek geçiren filtrelerden geçirilerek örneklenip frekans bandlarına ayrılmaktadır.



4. ALGORİTMA

Bu kısımda Oonincx [OON98] tarafından geliştirilen bir deprem işaretinin S fazının tespitine yönelik bir algoritma incelenecektir. Algoritmanın bazı kısımları günümüzde deprem analizinde çok kullanılmaktadır. Bunlar sismogramın istatistiki ve fiziki özelliklerini temel alırlar; fakat dalgacık dönüşümündeki ölçekleme kısmıyla ilgilenmezler.

Faz geliş zamanlarını tespitteki genel strateji bir veya daha çok karakteristik denklem kurmaktır. Bunlar faz geliş zamanlarında kendine özgü bazı özellikler gösteren ayrık-zamanlı fonksiyonlardır. Oonincx'in algoritmasında bu klasik yöntemlerle DD birleştirilmiştir. Algoritmayı özetlemeden evvel bazı karakteristik fonksiyonları inceliyelim.

4.1 Kısa Zaman Ortalaması / Uzun Zaman Ortalaması

u 'nın tek bileşenli bir deprem verisi olduğunu varsayalım. $i \geq 1$ ve $C_u(i)$ sürekli olarak, $u(0), \dots, u(i)$ 'ye bağlı bir zamana bağlı parametre olmak üzere, aşağıdaki gibi bir karakteristik fonksiyon oluşturulabilir:

$$\kappa(i) = u(i)^2 + C_u(i) \cdot (u(i) - u(i-1))^2 \quad (4.1)$$

Daha sonra $\kappa(0) = u(0)^2$ olarak tanımlanırsa, (4.1) ifadesine göre u işaretinin Kısa Zaman Ortalaması (KZO) ve Uzun Zaman Ortalaması (UZO) aşağıdaki denklemlerle ifade edilir:

$$KZO(i) = C_1 \kappa(i) + (1 - C_1) KZO(i-1) \quad (4.2)$$

$$UZO(i) = C_2 \kappa(i) + (1 - C_2) UZO(i-1) \quad (4.3)$$

Burada $i \geq 1$ ve $KZO(0) = UZO(0) = \kappa(0)$ dir. $0 < C_1 < 1$ ve $0 < C_2 < 1$ sabitlerinin değerleri sismik olayın türüne bağlıdır. 1'e yakın büyük C_1 değerleri için KZO'nun işaretin lokal davranışını ölçtüğü gözlenmektedir. 0'a yakın küçük C_2 değerleri için UZO işaretin ayrıntılı davranışını ölçer.

Baer ve Kradolfer [BEA87] C_1 sabitini yerel olaylar için 0,67, telesismik olaylar için 0,65 olarak kullanmışlardır. Aynı makalede C_2 sabiti için de 0,015 ve 0,008 değerleri kullanılmıştır. İşaretlerin örnekleme frekansı 64 Hz'tir. İlk olayın geliş zamanı; yani P fazı geliş zamanı $C_3 > 1$ sabiti için şu şekildedir:

$$i_p = \inf \{ i \in \mathbb{N} \mid KZO(i)/UZO(i) > C_3 \} \quad (4.4)$$

[BEA87]'de yerel ve telesismik olaylar için $C_3=9$ ve $C_3=10$ kullanılmıştır. Bu yöntemle P fazı geliş zamanı için yaklaşık bir değer elde edilebilir. Bu yöntem işaretteki yüksek frekansların ani artışına dayanır. Bu sebeple Baer ve Kradolfer'in elde ettiği sonuçlar yerel olaylar için tatmin edicidir. Ancak Allen yakalayıcısı geliş zamanlarında frekansların değil büyüklüklerinde artış gösteren pekçok telesismik işaretin P geliş zamanlarını yakalayamamıştır [BEA87]. Yetersiz kalan bir diğer nokta da (4.4) ifadesindeki keskin bir eşik değerinin kullanılmasıdır. İşaretin gürültüye oranı (İGO) düşük olan işaretlerin geliş zamanlarını yakalamak için adaptif bir eşik kullanılması daha uygun olur. Bu problemleri aşmak için Baer ve Kradolfer daha karışık bir algoritma geliştirmişlerdir. Buradaki fikir Allen yakalayıcısına benzemektedir.

4.2 Enerji Oranı

Üç bileşenli sismik veriyle çalışırken iki boyutlu düzlemde uygun bir sismik hareketi algılamak için bir karakteristik fonksiyon oluşturulabilir. $\mathbf{u} = (\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \mathbf{u}_3)$ üç bileşenli sismik işareti ele alalım. Burada $\mathbf{u}_1$ deprem işaretinin doğu bileşenini, $\mathbf{u}_2$ kuzey bileşenini ve $\mathbf{u}_3$ ise dikey bileşenini göstermektedir, $N \in \mathbb{N}^+$ için yatay düzlemdeki enerjinin herhangi bir i örnekleme zamanındaki toplam enerjiye oranı aşağıdaki denklemle ile verilmiştir.

$$\kappa(i) = \frac{\sum_{n=i}^{i+N-1} (\mathbf{u}_1(n)^2 + \mathbf{u}_2(n)^2)}{\sum_{n=i}^{i+N-1} (\mathbf{u}_1(n)^2 + \mathbf{u}_2(n)^2 + \mathbf{u}_3(n)^2)} \quad (4.5)$$

Denklem (4.5)'te N , örnekleme hızına ve sismik işaretin türüne bağlı olan bir pencere uzunluğudur. Bu sebeple sismik enerji xy düzleminde toplanmışsa, κ 1'e yaklaşır; eğer sismik enerjinin büyük bir kısmı dikey yönde toplanmışsa κ küçüktür.

P parçacık hareketinin yönü, yani P fazının yerküre yüzeyine ulaştığı andaki yönü bilirse, bu karakteristik fonksiyon daha gelişmiş bir şekilde kullanılabilir. Mesela S fazının P parçacık hareketi yönüne dik olarak geldiği bilindiğinden, enine düzlemdeki (P parçacık hareketine dik yöndeki düzlem) enerjinin işaretin enerjisine oranı kullanılabilir [OON98].

4.3 Kovaryans Matrisi Temelli Karakteristik Fonksiyon

Üç bileşenli $\mathbf{u}$ sismik işaretini ele alarak hem P fazını hem de S fazını yakalamak için bazı karakteristik fonksiyonlar oluşturalım. Bütün bu fonksiyonlar zamana bağlı kovaryans matrisi ile ifade edilir [OON98]:

$$\mathbf{M}(i) = \begin{pmatrix} \langle \mathbf{u}_1, \mathbf{u}_1 \rangle_i & \langle \mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2 \rangle_i & \langle \mathbf{u}_1, \mathbf{u}_3 \rangle_i \\ \langle \mathbf{u}_2, \mathbf{u}_1 \rangle_i & \langle \mathbf{u}_2, \mathbf{u}_2 \rangle_i & \langle \mathbf{u}_2, \mathbf{u}_3 \rangle_i \\ \langle \mathbf{u}_3, \mathbf{u}_1 \rangle_i & \langle \mathbf{u}_3, \mathbf{u}_2 \rangle_i & \langle \mathbf{u}_3, \mathbf{u}_3 \rangle_i \end{pmatrix} \quad (4.6)$$

Denklem (4.6)'da $\langle \mathbf{u}_n, \mathbf{u}_m \rangle_i$ iç çarpımı ifade etmektedir:

$$\langle \mathbf{u}_n, \mathbf{u}_m \rangle_i = \frac{1}{N} \sum_{k=i}^{i+N-1} u_n(k) \cdot u_m(k) \quad (4.7)$$

Denklem (4.7)'de N pencere uzunluğudur.

Pratikte sismik işaretin bileşenlerinin ortalaması işaretin kendisinden çıkartılarak her bileşende sıfır ortalamaaya sahip bir $\underline{u}$ işareti elde edilir. Bunu yapmamızın sebebi ölçüm aletlerinin ürettiği sismik olmayan bazı kaymaları (offset) ortadan kaldırmaktır.

$\mathbf{M}(i)$ pozitif tanımlı matris olduğundan $\mathbf{M}(i)$ 'nin öz-değerleri reel ve pozitif veya sıfırdır. Ayrıca öz-vektörler ortonormal bir temel oluşturacak şekilde seçilebilir.

Şimdi (4.6)'daki kovaryans matrisini temel alan bazı karakteristik fonksiyonları tanımlayabiliriz. Bu tanımlarda $\mathbf{M}(i)$ 'nin sıfıra eşit olmadığı kabul edilmiştir.

4.3.1 Düzgün lineerlik

$\lambda_1(i) \geq \lambda_2(i) \geq \lambda_3(i) \geq 0$ değerleri $\mathbf{u}$ işaretinin $\mathbf{M}(i)$ kovaryans matrisinin öz-değerleri olsun. Buna göre düzgün lineerlik (rectilinearity) fonksiyonu κ şu şekilde tanımlanır [KAN81]:

$$\kappa(i) = \frac{\lambda_1(i) - \lambda_2(i)}{\lambda_1(i)} \quad (4.8)$$

Bu fonksiyon üç bileşenli işaretin lineer polarizasyonunu hesaplar. Eğer P lineer olarak toplanırsa (polarized), fonksiyonun maksimum değerine i_p anında ulaştığı görülür ve bu an P fazının geliş zamanıdır. Bu sebeple düzgün lineerlik fonksiyonu P fazı tespitinde kullanılabilir. $\mathbf{M}(i)$ 'nin özdeğerleriyle farklı düzgün lineerlik fonksiyonları da tanımlanabilir [JUR88].

4.3.2 Düzlemsellik

Yine $\lambda_1(i) \geq \lambda_2(i) \geq \lambda_3(i) \geq 0$ olsun. Düzlemsellik fonksiyonu κ aşağıdaki gibi tanımlanır [JUR88]:

$$\kappa(i) = \frac{\lambda_1(i) + \lambda_2(i) - 2\lambda_3(i)}{\lambda_1(i) + \lambda_2(i)} \quad (4.9)$$

Bu fonksiyon düzlemdeki üç bileşenli işaretin polarizasyon derecesini ölçer.

S fazı parçacık hareketi bir düzlem içinde kalacaktır, fonksiyon maksimum değerine i_s anında ulaşır ve bu değer de S fazının geliş zamanıdır. Bu sebeple de düzlemsellik fonksiyonu S fazı tespitinde kullanılabilir.

4.3.3 Sapma Açısı

$\mathbf{v}_1(i)$, $\mathbf{M}(i)$ 'nin $\lambda_1(i)$ 'ye uygun öz-vektör olsun. Bu öz-vektör parçacık hareketinin i anındaki yönünü gösterir. P parçacığının hareketini $\mathbf{v}_1(i)$ olarak tanımlayalım, bu durumda sapma açısı bağıntısı aşağıdaki gibi olur:

$$\kappa(i) = \frac{2}{\pi} \arccos \left(\frac{|\langle \mathbf{v}_1(i), \mathbf{v}_1(i_p) \rangle|}{\|\mathbf{v}_1(i)\| \|\mathbf{v}_1(i_p)\|} \right) \quad (4.10)$$

S fazı parçacığının hareketi $\mathbf{v}_1(i)$ 'ye dik olduğundan, κ maksimum değerine S fazı geliş zamanı olan i_s 'de ulaşır.

4.3.4 Polarizasyon Derecesi

Yine $\lambda_1(i) \geq \lambda_2(i) \geq \lambda_3(i) \geq 0$ olsun. Polarizasyon derecesi (Polarization Degree) κ aşağıdaki gibi tanımlanır [SAM80]:

$$\kappa(i) = \frac{(\lambda_1(i) - \lambda_2(i))^2 + (\lambda_1(i) - \lambda_3(i))^2 + (\lambda_2(i) - \lambda_3(i))^2}{2(\lambda_1(i) + \lambda_2(i) + \lambda_3(i))^2} \quad (4.11)$$

Bu karakteristik fonksiyon hem P fazı geliş zamanı tespitinde hem de S fazı geliş zamanı tespitinde kullanılabilir. Her türlü sismik olay yüksek dereceli polarizasyon ortaya koyar. Bu şu anlama gelir: κ fonksiyonunda hem i_p hem de i_s anlarında maksimumlar oluşur.

Yukarıda ifade edilen κ karakteristik fonksiyonları (4.6)'da verilen kovaryans matrisine bağlıdır; kovaryans matrisine bağlı olması sebebiyle de pencere uzunluğuna (N) bağlıdır. Bölüm 4.6.4'te hangi işaret için hangi pencere uzunluğunun

uygun olduğu da anlatılacaktır. Ayrıca bu bölümde bahsedilen bütün karakteristik fonksiyonlar $\forall i \in N$ için $0 \leq \kappa(i) \leq 1$ şartını sağlamaktadır.

Bütün κ karakteristik fonksiyonlarının ulaştığı maksimum değerler en az bir fazın geliş zamanına karşılık gelmektedir. S fazını yakalamak için maksimum değerine sadece i anında ulaşan karakteristik fonksiyonların hesaplanması gerekir. Bu sebeple P fazı geliş zamanı hesabı için uygun olan (4.8) ifadesi bu algoritma için uygun değildir. Ayrıca bu bölümde tanımlanan karakteristik fonksiyonlardan anlaşılan, κ fonksiyonunun maksimumunun i_s 'yle mi yoksa sismik işaretin herhangi bir başka özelliğiyle mi ilgili olduğu açık değildir; yani deprem işaretinde faz geliş zamanları haricinde başka maksimum noktaları da olabilmektedir. Bu sebeple $L > 0$ değerleri için aşağıdaki karakteristik fonksiyon $\kappa_1, \dots, \kappa_L$ kombinasyonu kullanılmaktadır:

$$\prod_{m=1}^L \kappa_m^2(i) = \max_{n \in N} \prod_{m=1}^L \kappa_m^2(n) \Leftrightarrow i = i_s \quad (4.12)$$

Farklı karakteristik fonksiyonların çarpımlarının kullanılmasının sebebi her bir fonksiyonda elde edilen i_s maksimum değerini belirginleştirmek ve diğer (yerel) maksimumları azaltmaktır. Yani amaç maksimum S fazı gelişinin bulunabilmesi için uygun olan en iyi κ_m karakteristik denklemini seçmektir.

4.4 Boyuna ve Enine Yönler

Sismik işarettaki boyuna yön P fazının yönüdür. Enine yönler ise boyuna yöne dik ve karşılıklı ortogonaldır. Enine yöne aynı zamanda S düzlemi de denir, S parçacığının hareketi de S düzlemindeydir. Üç bileşenli $\mathbf{u} = (\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \mathbf{u}_3)$ sismik işaretini ele alalım. P fazının geliş zamanının hesabında $\mathbf{u}_3$ bileşeni esas alınmaktadır. P fazı geliş zamanının tespit edildiğini varsayarak (4.6) ifadesinde verilen konvolüsyon matrisini oluşturalım ve bu konvolüsyon matrisinden de üç bileşen için $\lambda_1(i_p) \geq \lambda_2(i_p) \geq \lambda_3(i_p) \geq 0$ öz-değerlerini ve bunlara uygun olan karşılıklı ortonormal öz-vektörleri $\mathbf{v}_1(i_p), \mathbf{v}_2(i_p), \mathbf{v}_3(i_p)$ hesaplayalım. Bu öz-değerler, uygun öz-vektörler tarafından verilen üç yön (doğu, kuzey ve dikey) boyunca yayılan enerji dağılımını belirtirler. Boyuna yönde i_p polarizasyon yönü, $\mathbf{v}_1$ vektörüyle verilen, en fazla sismik enerji miktarının bulunduğu ($\lambda_1(i_p)$) yöndür.

Boyuna yöne ortogonal iki enine yön ($\mathbf{v}_2, \mathbf{v}_3$) vardır. Söz konusu öz-vektörler S düzleminde aralıklı olarak yer alırlar. $V(i_p)$ ortonormal matrisinin öz-vektörlerle gösterimi (4.13) denklemiyle verilmiştir.

$$V(i_p) = (\mathbf{v}_1(i_p) \ \mathbf{v}_2(i_p) \ \mathbf{v}_3(i_p)) \quad (4.13)$$

Bölüm 4.3.1, Bölüm 4.3.2, Bölüm 4.3.3 ve Bölüm 4.3.4'te bahsedilen karakteristik denklemlerde kullanılacak şekliyle $\mathbf{u}$ deprem işaretinin üç bileşeni, boyuna ve enine yönlerde (algoritmada kullanacağımız adıyla; doğu, kuzey ve dikey yönde), aşağıdaki şekilde oluşturulur:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{u}_L(i) \\ \mathbf{u}_Q(i) \\ \mathbf{u}_T(i) \end{pmatrix} = V(i_p) \begin{pmatrix} \mathbf{u}_1(i) \\ \mathbf{u}_2(i) \\ \mathbf{u}_3(i) \end{pmatrix} \quad (4.14)$$

4.5 Karakteristik Fonksiyon ve Ayırık Dalgacık Dönüşümü

S fazı geliş zamanının ADD kullanılarak tespitinin ardında yatan fikri şöyle açıklayabiliriz: Üç bileşenli $\mathbf{u}$ sismik işaretinin farklı ölçeklerdeki çeşitli işaretlere ayrılmasıyla S fazını diğer ölçeklerde oluşan diğer fazlardan ayırtırmak mümkün olabilir. Bu ayırtırma, (4.15) ifadesinde de gösterildiği gibi, boyuna ve enine yönlere ayrılmış $\mathbf{u}$ işaretinin her bir bileşeninin ADD'nü alarak yapılır.

$$\mathbf{u}^{(m)} = \mathbf{u}_L^{(m)} \mathbf{v}_1(i_p) + \mathbf{u}_Q^{(m)} \mathbf{v}_2(i_p) + \mathbf{u}_T^{(m)} \mathbf{v}_3(i_p) \quad (4.15)$$

P fazının frekans tayfı S fazına göre daha yüksek frekanslarda ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple, S fazı P fazına göre genellikle daha yüksek ölçeklerde ortaya çıkacaktır. Burada amaçlanan, S fazının çoğunun görüldüğü ölçek seviyelerinin yer aldığı J_S ölçek kümesini belirlemektir. Her $m \in N$ için, $\mathbf{u}$ 'nun bir parçası olan w (4.16) ifadesi ile hesaplanır.

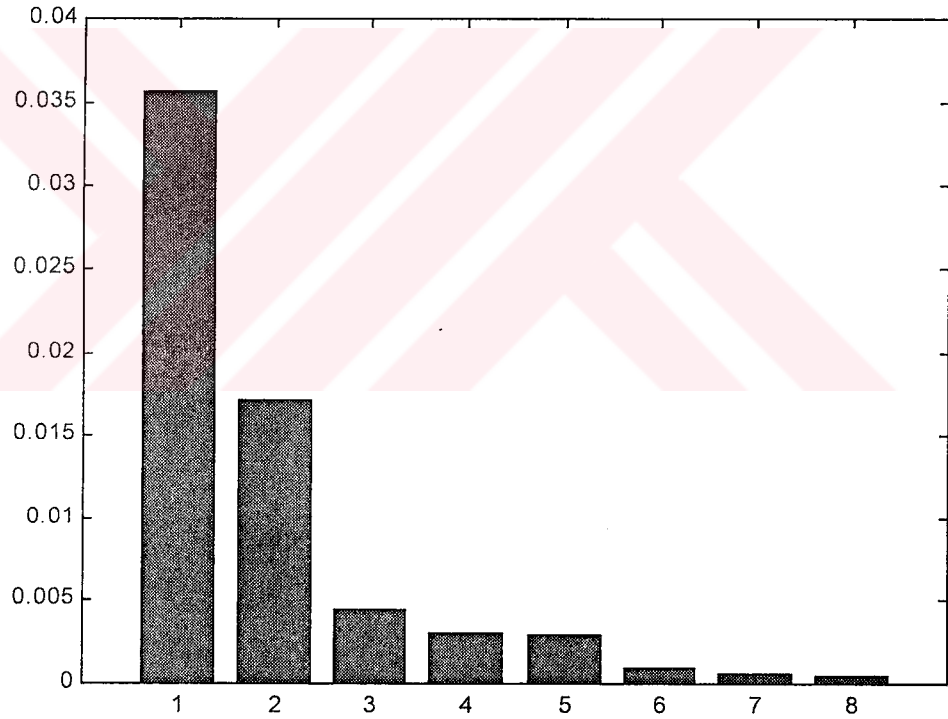
$$\mathbf{w}(i) = \mathbf{u}(i + i_p) \ , \ i = 0, \dots, T-1 \quad (4.16)$$

(4.16)'da f_s örnekleme frekansı olmak üzere $T = 25.f_s$ olarak alınmıştır. Böylelikle, P fazı geliş zamanından 25 sn. sonraki parçanın ADD'ü hesaplanmış olur. Yerel depremler için S fazı geliş zamanı bu süre içinde fark edilir. Yerel olmayan depremlerde $(i_s - i_p)$ farkı genellikle 25 sn.'den büyük olacaktır. Yerel ve yerel olmayan olaylar arasındaki diğer bir fark, fazların frekans davranışlarıdır. Yerel olayların P ve S fazları, yerel olmayan olayların P ve S fazlarına nazaran daha

yüksek frekanslardadır. Bu sebeple, $\mathbf{w}$ 'nin enerjisinin büyük bölümü yerel depremler için düşük, yerel olmayan depremler için ise daha yüksek ölçekleme seviyelerinde görülür. Ortonormal ölçekleme ve dalgacık fonksionları için $\mathbf{w}$ 'nin bütün ölçeklerdeki enerji dağılımı (4.17) ifadesinde verilmiştir. Burada $\|\cdot\|_2$ üç boyutlu düzlemde normu ifade etmektedir.

$$E(m) = \sum_{n=1}^3 \|\mathbf{w}_n^{(m)}\|_2^2 / \sum_{n=1}^3 \|\mathbf{w}_n\|_2^2 \quad (4.17)$$

Belli bir ölçekleme seviyesine yaklaşıldığında enerji dağılımı sıfıra yaklaşır. Bu noktada, daha yüksek ölçeklerde ADD'ü hesabı yapmanın geliş zamanı tespiti açısından çok fazla bir önemi yoktur. Şekil 4.1'de Ek 1'deki 1 numaralı depremin enerji dağılım grafiği görülmektedir.



Şekil 4.1 Ek 1'deki 1 numaralı deprem için enerji dağılımı.

Bu enerji dağılımını veren örnekte Db4 dalgacık filtresi kullanılmıştır [DAU92]. Şekil 4.1'de de görüldüğü gibi bu işaret için enerji dağılımının tamamı neredeyse ilk beş ölçekte yer almaktadır. Aynı sismik işaret için farklı dalgacık filtresi farklı dağılımları verecektir. Bu sebeple yerel ve yerel olmayan depremlerde ölçek seviyesi ancak seçilen dalgacık filtresiyle yapılacak denemeler sonucunda ortaya çıkacaktır. Enerji dağılımını incelemek için E 'nin maksimum değerini aldığı

$m_{\max}$ ölçeğini ele alalım: Yerel bir depremde $m_{\max}$, w 'daki enerjinin çoğunu içinde barındıran S fazına bağlıdır. Yerel olmayan bir depremde ise w 'da S fazı yer almadığı için $m_{\max}$, P fazına bağlıdır. Yerel bir depremde enerjinin çoğunun ilk m_{loc} ölçekte olduğunu varsayarsak şöyle bir genelleme yapabiliriz; eğer $m_{\max} \leq m_{\text{loc}}$ ise deprem yerel, şayet $m_{\max} > m_{\text{loc}}$ ise deprem yerel olmayandır. (4.18) ifadesinde görüldüğü gibi yerel depremler için $J_s = \{m_{\max}\}$, yerel olmayan depremler için $J_s = \{m_{\max} + 1, m_{\max} + 2\}$ olarak seçilir. Bu ifadelerden de anlaşılıyor ki S fazı, P fazından sonraki ölçeklerde görülmektedir.

$$J_s = \begin{cases} m_{\max} & ; m_{\max} \leq m_{\text{loc}} , \\ \{m_{\max} + 1, m_{\max} + 2\} & ; m_{\max} > m_{\text{loc}} . \end{cases} \quad (4.18)$$

S fazının geliş zamanının tespiti için (4.12) denklemini Bölüm 4.5'te anlatılanlara göre yeniden düzenleyecek olursak; $u^{(m)}$ deprem işareti, κ karakteristik denklem, $m \in J_s$ olmak üzere (4.19) ifadesi şu şekilde oluşur:

$$\prod_{m \in J_s} (\kappa(u^{(m)}))^2(i) = \max_{n \in N} \prod_{m \in J_s} (\kappa(u^{(m)}))^2(n) \Leftrightarrow i = i_s \quad (4.19)$$

Pratikte, (4.19) ile verilen maksimum değer yerine, i_s için bir eşik değeri belirlenmesi gerekir. Ancak S fazı ile P fazının birbirinden ayrılması durumunda bu eşik değerinin bulunması kolaylaşabilir.

Sismik işaretlerin analizinde karşılaşılan problemlerden biri de klasik yöntemlerde [CIC93], pencere uzunluğu N ile u 'nun frekans davranışı arasında bir bağıntı bulunmamasıdır. u 'nun çeşitli ölçeklerde ayrıştırılmasıyla birlikte pencere uzunluğu olarak m ölçek değerinin monoton artan bir fonksiyonu olan $N(m)$ kullanılabilir. Bu durumda $u^{(m)}$ 'i incelemek için kullanılan κ karakteristik fonksiyonunun tanımında pencere uzunluğu olarak $N(m)$ kullanılacaktır. $N(m)$ pencere uzunluğu bağıntısı Bölüm 4.6.4'te anlatılacaktır.

4.6 Ayırık Dalgacık Dönüşümü Analizi Düzenegi

Bölüm 4.5'te, üç bileşenli sismik işaret karakteristik fonksiyonlar ve ADD kullanılarak analiz edilmişti. Bu bölümde ise bu yöntem sismik işaretler üzerinde test edildikten sonra algoritmadaki bazı parametreler için ele alınacaktır.

4.6.1 Dalgacık Filtreleri

Ele alınacak olan ilk parametre dalgacık fonksiyonu ve bunla ilgili dalgacık filtreleridir. Algoritmada elde edilen en iyi sonuçların Db4 dalgacık filtresi kullanıldığında alındığı görülmüştür. Bunlar 8 uzunluğundaki sonlu dürtü cevaplı filtrelerdir (Finite Impulse Response Filters).

4.6.2 S Fazı Ölçekleri, Js

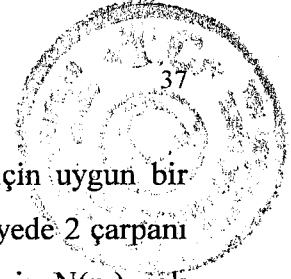
(4.18) ifadesine göre, algoritmada kullanılacak m ölçekleme seviyesinin belirlenmesi için m_{loc} değerinin belirlenmesi yeterli olacaktır. Belirlenen m_{loc} değerinden de depremin yerel veya yerel olmayan olmasına göre m_{max} değeri belirlenecektir. Belirlenen m ölçek seviyesini tespit için, Db4 dalgacık filtresi kullanılarak, hesaplamalarda kullanılacak olan deprem verileriyle (4.17) ifadesinde verilen enerji dağılımı hesaplanır. Oonincx algoritmasında bu enerji dağılımı ile yerel olaylar için $m_{max} \leq 4$ ve yerel olmayan olaylar için $m_{max} > 4$ değerleri hesaplanmıştır. Algoritmada kullanılan deprem verileri yerel veriler olduğu için $m_{max} = 4$ olarak seçilmiştir.

4.6.3 Karakteristik Fonksiyonlar

Algoritmayı uygulamaya başlamadan önce yapılması gereken diğer bir işlem de algoritmada (4.12) ifadesinde kullanılacak olan karakteristik fonksiyonları belirlemektir. Karakteristik fonksiyonlar belirlenirken dikkat edilmesi gereken bir husus vardır: (4.12)'ye eklenen her bir karakteristik fonksiyon S fazı geliş zamanı olan i_s 'yi belirlemede karşılaşılabilecek negatif etkileri ortadan kaldıracaktır; fakat diğer taraftan da algoritmanın hesaplama süresini uzatacaktır. Bu çalışmada kurulacak olan düzenek için biz de Cichowicz [CIC93]'in yolunu izleyerek üç güvenilir karakteristik fonksiyon kullanacağız. Bu fonksiyonlar Denklem (4.5) ile verilen Enerji Oranı, (4.10) ile verilen Sapma Açısı ve (4.11) ile verilen Polarizasyon Derecesi fonksiyonlarıdır.

4.6.4 Pencere Uzunluğu $N(m)$

u 'yu çeşitli $m \in N$ ölçekleme seviyelerinde incelemek için pencere uzunluğu $N(m)$ ölçekleme seviyesi m 'nin monoton artan bir fonksiyonu olmalıdır (yani



ölçekleme seviyesi arttıkça pencere uzunluğu da artmalıdır). $N(m)$ için uygun bir fonksiyon belirlerken iki hususu dikkate almak gerekir: İşaret her seviyede 2 çarpanı ile ölçeklenmektedir, ayrıca düşük ve yüksek ölçekleme seviyeleri için $N(m)$ çok küçük ya da büyük olmamalıdır, çünkü belli bir bölgede işareten bilgi elde etmek için $N(m)$ kullanılmaktadır. Bu anlatılanlar ışığında $N(m)$ pencere uzunluğu ifadesi (4.19) denklemindeki gibi oluşturulmuştur:

$$N(m) = \lceil 30 \cdot 2^{\max\{0, (m-4)/2\}} \rceil \quad (4.20)$$

Bu ifadeye göre ilk dört seviye için $N=30$ alınmıştır, daha sonraki seviyelerde N , $\sqrt{2}$ 'nin katları ile çarpılmıştır.

4.6.5 Eşik Değeri

S fazı geliş zamanını belirlemek için (4.19) kullanılabilir fakat pratikte κ , maksimum değerine ($\kappa_{\max}$) i_s anında ulaşmamaktadır. Bu sebeple algoritmada $\kappa_{\max}$ yerine $0 \leq \gamma \leq \kappa_{\max}$ gibi bir eşik değeri kullanılmaktadır. Değişik deprem işaretleri için değişen $\kappa_{\max}$ değerlerine göre γ da değişecektir. Bunun için $\gamma = c \cdot \kappa_{\max}$ eşitliği kullanılabilir. Onincox deneylerinde $0,6 < c < 0,9$ aralığındaki c değerleri için iyi sonuçlar elde etmiştir. $0,6 < c < 0,9$ aralığındaki değerler maksimum genlik değerine çok yakın olması sebebiyle bizim hesaplamalarımızda eşik değeri 0,5 ve 0,7 aralığı için hesaplanmıştır. Fakat $0,5 < c < 0,7$ eşik değerleri için hesaplanan değerler $0,6 < c < 0,9$ aralığındaki değerlerden çok farklı çıkmamıştır.

4.7 Anant ve Dowla'nın Algoritması

Bu çalışmada elde edilen sonuçları karşılaştırdığımız bir diğer algoritma da Uğur Çetin'in tez çalışmasında ele almış olduğu Anant ve Dowla'nın algoritmasıdır. Çetin'in çalışmasında Anant ve Dowla'nın çalışmasına ek olarak filtreleme adımı da eklenmiş ve karşılaştırmalarda kullanılan sonuçlar bu şekilde elde edilmiştir.

S dalgalarının enine bir parçacık hareketi sergilemesinden dolayı sismik işaretin enine bileşeni, radyal veya dikey bileşenine göre daha yüksek bir genlik değerine sahiptir. S fazının geliş zamanının tespitinde sismik işaretin bu özelliğinden faydalanılarak işaretin enine bileşeninin radyal bileşene oranı hesaplanır.



Algoritmanın bu bölümünde sismik işaretin doğu ve kuzey (**e** ve **n**) bileşenleri radyal ve enine (**sr** ve **st**) bileşenlere dönüştürülür.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{sr} [i] \\ \mathbf{st} [i] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\theta & \cos\theta \\ -\cos\theta & \sin\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{e} [i] \\ \mathbf{n} [i] \end{bmatrix} \quad (4.21)$$

Denklem 4.21’de θ , geri azimut (backazimuth) açısıdır ve üç bileşenli sismik işaretin kendisinden elde edilen **M** kovaryans matrisinin özdeğerleri kullanılarak bulunur [JUR88]:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{v_{21}}{v_{31}} \right) - \pi \quad (4.22)$$

Denklem (4.22)’de v_{jl} : $j=1,2,3$ P fazının geldiği andaki en büyük özdeğere (λ_1) karşılık gelen özvektör $\mathbf{v}_1$ ’in yön kosinüsleridir.

Radyal ve enine bileşenler elde edildikten sonra bu bileşenlerin ayrı dalgacık dönüşümü katsayıları ($\mathbf{d}_r^j$ ve $\mathbf{d}_t^j$) bulunur. Burada uygulanan dalgacık dönüşümü 10 seviyeli (j=10).

Daha sonra her bir ölçek için aşağıdaki fonksiyon elde edilir [ANA97]:

$$ttr^j = \frac{\text{env}(\mathbf{d}_t^j)}{\text{env}(\mathbf{d}_t^j) + \text{env}(\mathbf{d}_r^j)} \quad (4.23)$$

$$\text{env}(\mathbf{x}) = \sqrt{\mathbf{x}^2 + h^2(\mathbf{x})} \quad (4.24)$$

Denklem (4.24)’te $h(\mathbf{x})$, $\mathbf{x}$ işaretinin Hilbert dönüşümüdür.

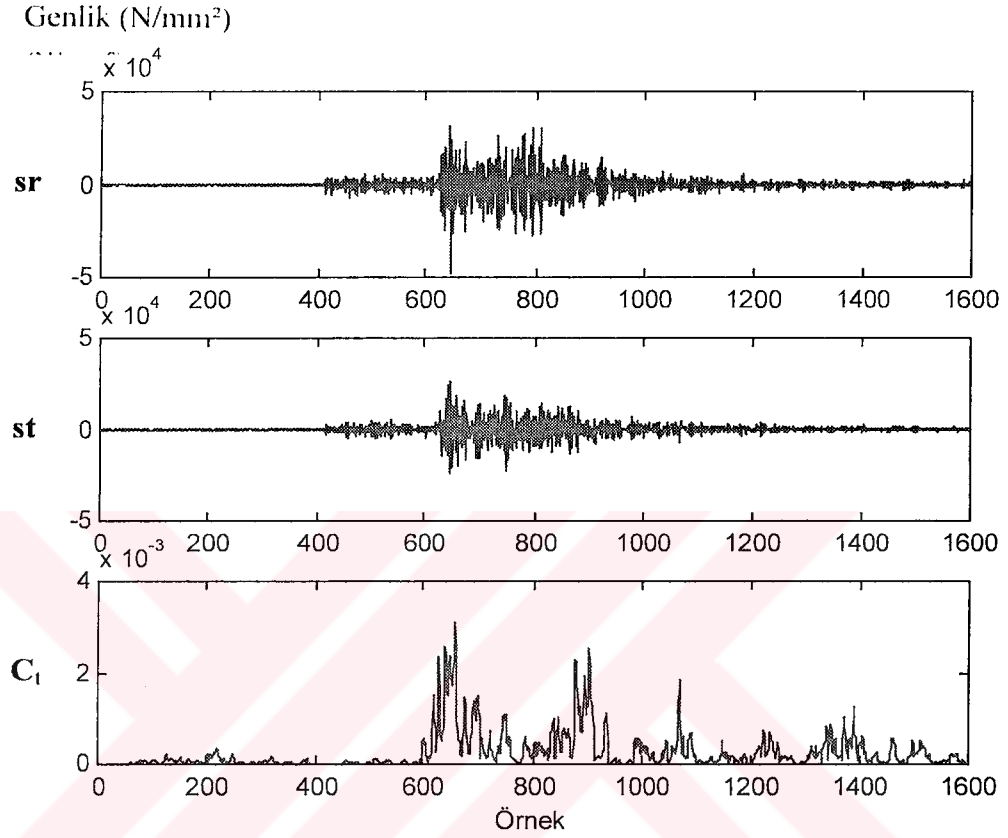
Son olarak ttr^j fonksiyonlarının çarpımından birleşik bir C_t fonksiyonu elde edilir [ANA97]:

$$C_t = \prod_j ttr^j \quad (4.25)$$

Algoritma, C_t fonksiyonunun P fazının gelişinden sonraki noktalarına bakarak karar verir. C_t ’nin bu kısımdaki maksimum değer en az yarısını aşan ilk nokta S fazının geliş anı olarak belirlenir. Şekil 4.2’de Ek 1’deki 7 numaralı sismogram



verisinden elde edilen radyal ve enine bileşenler ile bunlara ait C_1 fonksiyonu görülmektedir.



Şekil 4.2 Ek 1'deki 7 numaralı veriye ait radyal ve enine bileşenler ve C_1 fonksiyonu.

Çetin'in sonuçları elde ederken kullandığı iki çeşit gürültü temizleme yöntemi vardır. Birinci yönteme göre birim band genişliğine düşen en fazla gürültüye sahip üç filtre çıkışında hesaplanan karakteristik denklem, bileşik düzgünlük fonksiyonunun (C_F) hesaplanmasına dahil edilmemiştir. Böylece, C_F fonksiyonunda gürültülü filtre çıkışlarındaki işaretler kullanılmamıştır [UGU03].

Kullanılan ikinci yönteme göre $\mathbf{x}$ ($\mathbf{x}=\mathbf{e}, \mathbf{n}, \mathbf{z}$) işareti, dalgacık dönüşümü katsayıları kullanılarak yeniden elde edilmiştir. Yeniden elde etme işlemine, en fazla gürültüye sahip üç filtre çıkışındaki işaret dahil edilmemiştir. Faz tespit algoritmasında yeniden elde edilmiş, yani gürültüsü temizlenmiş işaret kullanılarak C_1 fonksiyonu elde edilmiştir [UGU03].

Ek 1'deki deprem işaretleri için Çetin'in farklı dalgacık filtreleri kullanılarak elde ettiği S fazı geliş zamanı sonuçları Tablo 4.1'deki gibidir.

Tablo 4.1 Ek 1'deki deprem işaretlerine ait S fazı sonuçları

DEPREM NO	KULLANILAN DALGACIK/HATA(sn)					
	Db 1	Db 2	Db 3	Db 4	Bior. 2.2	Coiflet 1
1	0,65	14,9	5,95	0,75	8,45	15,95
2	19,7	44,05	24,25	10,8	2,1	2,1
3	24,25	16,7	14,1	13,8	1,55	5,7
4	11,25	2,85	10,6	13,1	13,2	0,5
5	25,7	0,6	1,9	32,65	33,95	3,65
6	7,85	3,8	0,3	5,6	1,55	7,45
7	29,35	28,9	1,7	4	13	6,2
8	0,3	2,5	8,95	1,7	10,8	2,9
9	13,4	0,25	2,65	0,6	25,3	7,9
10	24,55	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
11	3,4	1,2	1,5	1,5	3,55	23,50
12	0,35	6,85	40,75	6,6	2,85	30,45

5. UYGULAMALAR

Bu bölümde, Bölüm 4'te anlatılan algoritmanın MATLAB programıyla kodlanmasının sonucunda elde edilen S fazı tespiti sonuçları gösterilecek ve elde edilen sonuçlar yine Bölüm 4'te anlatılan, Çetin tarafından bitirme tezi çalışması olarak gerçekleştirilen, Anant ve Dowla'nın algoritmasıyla elde edilen sonuçlarla karşılaştırılacaktır. Bu çalışmada kullanılan deprem verileri Çetin'in çalışmasında kullanılan deprem verileriyle aynıdır; veriler Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Sismoloji Laboratuvarı'ndan alınmıştır. Veriler Kandilli'deki istasyona (41.065° Kuzey, 29.059° Doğu) ait olup örnekleme frekansı $f_s = 20\text{Hz}$ 'tir.

5.1 S Fazı Tespiti

Bölüm 4'te de anlatıldığı gibi Oonincx algoritmasında üç ayrı karakteristik fonksiyon hesaplanmış ve S fazı tespitinde bu fonksiyonların çarpımını kullanmıştır. S fazının geliş zamanı tespitinde kullanılacak olan karakteristik denklemlerde öncelikli olarak hesaplanacak olan $M(i)$ kovaryans matrisidir, bu matris elde edilirken hesaplamalarda kullanılan N pencere uzunluğu ve P fazı geliş zamanı i_p , ayrıca dalgacık filtreleri uygulanırken filtre seviyesini tespit için kullandığımız "m" ölçek seviyesi değeri gibi parametreler bu algorithmada S fazının tespitini doğrudan etkileyen faktörlerdir. Konvolüsyon matrisinden üç bileşen için bulunan öz-değer ve öz-vektörlerin hesabında kullanılan i_p P fazı geliş zamanı Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nün sağladığı Scream 3.0 adlı programla tespit edilmiştir. Scream 3.0 programıyla deprem işareti çizdirilerek ölçek değişiklikleri yapmak suretiyle uygun dalga şekli elde edildiği anda faz geliş zamanları gözle tespit edilebilir duruma gelmektedir. Bu yolla tespit edilen P fazı geliş zamanı karakteristik fonksiyonların hesaplanmasında kullanılmış aynı zamanda algoritmanın ürettiği S fazı geliş zamanı da yine Scream 3.0 ile tespit edilen ve deprem uzmanı tarafından değerlendirilmiş veri kabul edilen S fazı değeriyle karşılaştırılarak hata oranları tespit edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan deprem işaretleri ve bu işaretlerin Scream 3.0 programı kullanılarak gözle hesaplanan P ve S fazı geliş zamanları Ek-1'de gösterilmiştir.

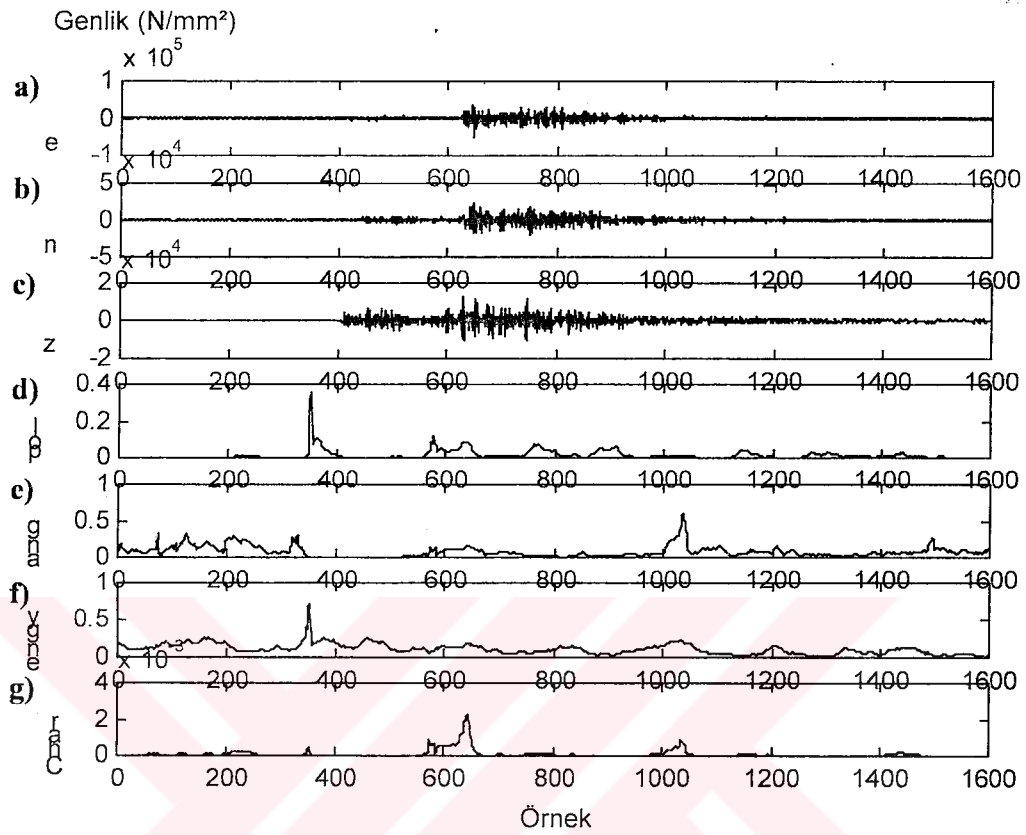
Algoritmanın uygulama aşamasında, karakteristik fonksiyonu oluşturmak için, Enerji Oranı (4.5), Sapma Açısı (4.10) ve Polarizasyon Derecesi (4.11) karakteristik denklemleri kullanılmıştır. Her bir fonksiyonda elde edilen i , maksimum değerini belirtmek ve diğer (yerel) maksimumları azaltıp maksimum S fazı geliş zamanını bulmak için uygun olan en iyi κ_m karakteristik fonksiyonunun seçilebileceği (4.19) ifadesi oluşturulmuştur. Bu ifadeyle elde edilen bütün genlik değerleri arasından maksimum olanı seçilerek bu genliğin geldiği örnek sayısı zaman cinsinden ifade edilmiştir ve buna da S fazının geliş zamanı denilmiştir. Bu çalışmada, S fazı geliş zamanının tespitinde, maksimum genlik değerlerinin yanısıra eşik değeri olan $\kappa_{max}.0,6$ ve $\kappa_{max}.0,9$ aralığına denk düşen genlikler de hesaplanmıştır.

Tablo 5.1'de Scream programı kullanarak hesaplanan P ve S fazı geliş zamanları örnek cinsinden gösterilmiştir, ayrıca $m=4$, $N=60$ değerleri ve Db4 dalgacığı kullanılarak hesaplanan S fazı geliş zamanları, örnek ve hata/sn. cinsinden, gösterilmiştir. Tabloda eksi (-) olarak gösterilen değerler; algoritmada hesaplanan S fazı geliş zamanının gerçek S fazı geliş zamanından daha önce olduğu anlamına gelmektedir. Tablo 5.1'deki S fazı geliş zamanları hem maksimum genlik değerlerinde hem de eşik değerlerinde hesaplanmıştır.

Tablo 5.1 $m=4$, $N=60$ ve Db4 dalgacık filtresi kullanılarak elde edilen S fazı sonuçları.

NO	Deprem Tarihi	P fazı Geliş Z. (Uzman)	S Fazı Geliş Z. (Uzman)	Oonnix (S Fazı) (max/thr)	Oonnix (Hata sn) (max/thr)
1	03.05.2000	510	850	809/806	-2,8/-2,2
2	05.05.2000	400	1036	1008/1005	-1,4/-1,55
3	05.05.2000	362	876	1162/1160	14,3/14,2
4	08.05.2000	452	576	542/539	-1,7/-1,85
5	18.05.2000	240	500	454/451	-2,3/-2,45
6	19.05.2000	322	488	P'den önce	??
7	20.05.2000	410	624	641/632	0,85/0,4
8	20.05.2000	672	1528	2844/2842	65,8/65,7
9	22.05.2000	350	622	586/566	-1,8/-2,8
10	29.05.2000	324	434	380/379	-1,55/-1,6
11	31.05.2000	374	490	?/436	?/-2,7
12	04.07.2000	450	566	518/517	-2,4/-2,54

Şekil 5.1’de 7 no’lu deprem işaretinin dalga şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Ek 1’deki 7 no’lu deprem işaretinin a) doğu, b) kuzey, c) dikey, d) polarizasyon derecesi, e) Sapma açısı, f) enerji oranı, g) karakteristik fonksiyon dalga şekilleri ($m=4$, $N=60$ ve Db4 dalgacığı kullanılmıştır).

Anlatılan şekliyle hesaplanan S fazı geliş zamanlarıyla gerçek geliş zamanları arasındaki hata oranları, Oonincx’in algoritmasında anlattığı hata oranlarıyla kıyaslanınca farkın fazla olduğu görülür.

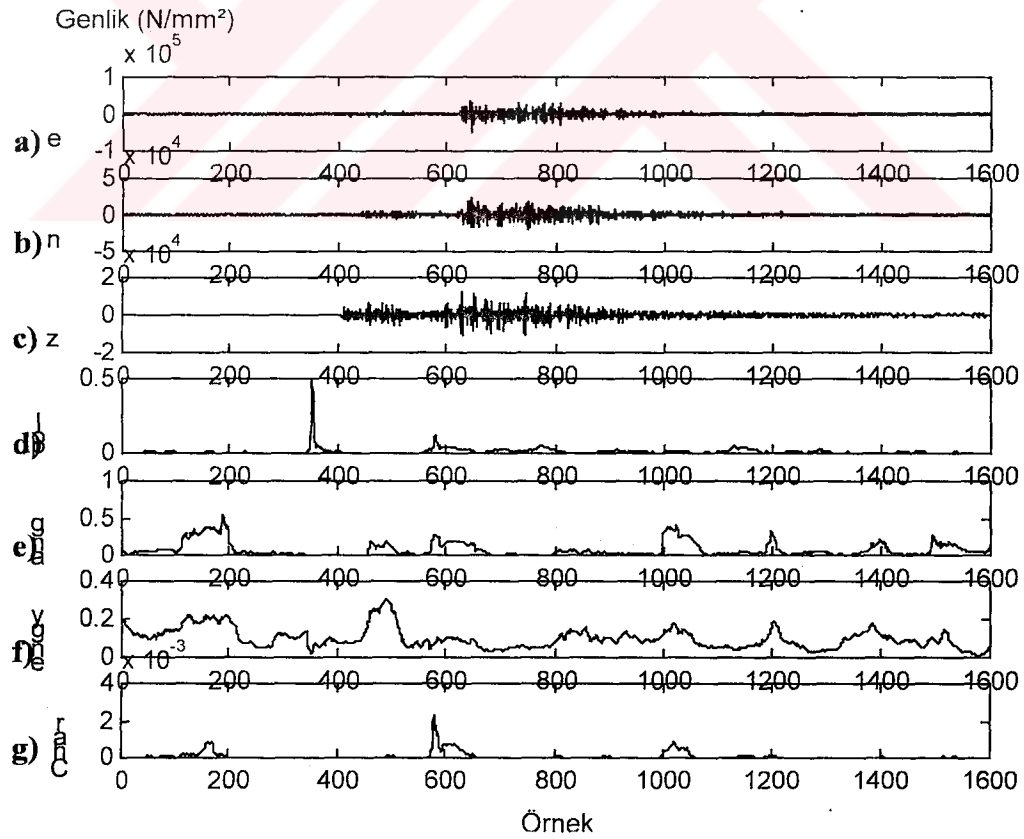
Algoritmada anlatılanlardan farklı olarak; farklı N pencere uzunlukları, farklı m ölçekleme seviyeleri ve farklı dalgacık filtreleri kullanılarak çeşitli deneyler yapılmıştır.

Tablo 5.2’de $m=4$, $N=60$ ve Db2 dalgacık filtreleri kullanılarak elde edilen S fazı geliş zamanları görülmektedir.

Tablo 5.2 $m=4$, $N=60$ ve Db2 dalgacık filtresi kullanılarak elde edilen S fazı sonuçları.

NO	Deprem Tarihi	S Fazı Geliş Z. (Uzman)	Oonnix (S Fazı) (max/thr)	Oonnix (Hata) (max/thr)
1	03.05.2000	850	808/	-2,1/?
2	05.05.2000	1036	1009/1005	-1,35/-1,55
3	05.05.2000	876	933/923	2,85/2,35
4	08.05.2000	576	543/549	-1,65/-1,35
5	18.05.2000	500	454/450	-2,3/-2,5
6	19.05.2000	488	P'den önce	?/?
7	20.05.2000	624	579/581	-2,25/-2,15
8	20.05.2000	1528	2742/2739	60,7/60,55
9	22.05.2000	622	582/573	-2/-2,45
10	29.05.2000	434	383/379	-2,55/-2,75
11	31.05.2000	490	437/432	-2,65/-2,9
12	04.07.2000	566	528/521	-1,9/-2,25

Ayrıca bu değerler için hesaplanan karakteristik fonksiyonların Ek-1'deki 7 numaralı deprem işareti için dalga şekilleri Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Ek 1'deki 7 no'lu deprem işaretinin **a)** doğu, **b)** kuzey, **c)** dikey, **d)** polarizasyon derecesi, **e)** Sapma açısı, **f)** enerji oranı, **g)** karakteristik fonksiyon dalga şekilleri ($m=4$, $N=60$ ve Db2 dalgacığı kullanılmıştır).

Tablo 5.3'te $m=4$, $N=60$ ve Db8 dalgacık filtreleri kullanılarak elde edilen S fazı geliş zamanları görülmektedir.

Tablo 5.3 $m=4$, $N=60$ ve Db8 dalgacık filtresi kullanılarak elde edilen S fazı sonuçları.

NO	Deprem Tarihi	S Fazı Gelişi (Uzman)	Oonnix (S Fazı) (max/thr)	Oonnix (Hata sn.) (max/thr)
1	03.05.2000	850	827/808	-1,15/-2,1
2	05.05.2000	1036	474/459	-28,1/-28,85
3	05.05.2000	876	1333/1308	22,85/21,6
4	08.05.2000	576	543/511	-1,65/-3,25
5	18.05.2000	500	463/449	-1,85/-2,55
6	19.05.2000	488	P'den önce/439	?/-2,45
7	20.05.2000	624	587/584	-1,85/-2
8	20.05.2000	1528	1518/1507	-0,5/-1,05
9	22.05.2000	622	753/751	6,55/6,45
10	29.05.2000	434	383/379	-2,55/-2,75
11	31.05.2000	490	433/430	-2,85/-3
12	04.07.2000	566	553/512	-0,65/-2,7

Tablo 5.4'te $m=4$, $N=60$ ve Biortogonal 2.2 dalgacık filtreleri kullanılarak elde edilen S fazı geliş zamanları görülmektedir.

Tablo 5.4 $m=4$, $N=60$ ve Biortogonal 2.2 dalgacık filtresi kullanılarak elde edilen S fazı sonuçları.

NO	Deprem Tarihi	S Fazı Gelişi (Uzman)	Oonnix (S Fazı) (max/thr)	Oonnix (Hata sn.) (max/thr)
1	03.05.2000	850	807/810	-2,15/-2
2	05.05.2000	1036	1726/1720	34,5/34,2
3	05.05.2000	876	1134/1131	12,9/12,75
4	08.05.2000	576	542/513	-1,7/-3,15
5	18.05.2000	500	863/859	18,15/17,95
6	19.05.2000	488	P'den önce	??
7	20.05.2000	624	594/580	-1,5/-2,2
8	20.05.2000	1528	1541/1512	0,65/-0,8
9	22.05.2000	622	717/698	-40,55/-41,5
10	29.05.2000	434	1019/991	29,25/27,85
11	31.05.2000	490	P'den önce/524	?/1,7
12	04.07.2000	566	515/yok	-2,55/?

Tablo 5.5'te $m=4$, $N=60$ ve Coiflet 1 dalgacık filtreleri kullanılarak elde edilen S fazı geliş zamanları görülmektedir.

Tablo 5.5 $m=4$, $N=60$ ve Coiflet 1 dalgacık filtresi kullanılarak elde edilen S fazı sonuçları.

NO	Deprem Tarihi	S Fazı Gelişi (Uzman)	Oonnix (S Fazı) (max/thr)	Oonnix (Hata sn.) (max/thr)
1	03.05.2000	850	1005/938	7,75/-4,4
2	05.05.2000	1036	1526/1524	24,5/24,4
3	05.05.2000	876	1098/1095	11,1/10,95
4	08.05.2000	576	543/538	-1,65/-1,9
5	18.05.2000	500	451/455	-2,45/-2,25
6	19.05.2000	488	P'den önce	??
7	20.05.2000	624	589/579	-1,75/-2,25
8	20.05.2000	1528	1554/1483	1,3/-2,25
9	22.05.2000	622	577/574	-2,25/-2,4
10	29.05.2000	434	1014/1008	29/28,7
11	31.05.2000	490	P'den önce/545	?/2,75
12	04.07.2000	566	515/513	-2,55/-2,65

Yukarıdaki tablolarda her dalgacık için elde edilen sonuçlar ayrı ayrı gösterilmiştir. Tablo 5.6'da ise bu dalgacıkların sonuçları bir arada gösterilmektedir.

Tablo 5.6 Kullanılan dalgacık filtreleriyle elde edilen S fazı sonuçları.

NO	KULLANILAN DALGACIK/HATA(sn)				
	Db2 N=60, m=4	Db4 N=60, m=4	Db8 N=60, m=4	Coif1 N=60, m=4	Bior2.2 N=60, m=4
1	-2,1/?	-2,8/-2,2	-1,15/-2,1	7,75/-4,4	-2,15/-2
2	-1,35/-1,55	-1,4/-1,55	-28,1/-28,85	24,5/24,4	34,5/34,2
3	2,85/2,35	14,3/14,2	22,85/21,6	11,1/10,95	12,9/12,75
4	-1,65/-1,35	-1,7/-1,85	-1,65/-3,25	-1,65/-1,9	-1,7/-3,15
5	-2,3/-2,5	-2,3/-2,45	-1,85/-2,55	-2,45/-2,25	18,15/17,95
6	??	??	?/-2,45	??	??
7	-2,25/-2,15	0,85/0,4	-1,85/-2	-1,75/-2,25	-1,5/-2,2
8	60,7/60,55	65,8/65,7	-0,5/-1,05	1,3/-2,25	0,65/-0,8
9	-2/-2,45	-1,8/-2,8	6,55/6,45	-2,25/-2,4	-40,55/-41,5
10	-2,55/-2,75	-1,55/-1,6	-2,55/-2,75	29/28,7	29,25/27,85
11	-2,65/-2,9	?/-2,7	-2,85/-3	?/2,75	?/1,7
12	-1,9/-2,25	-2,4/-2,54	-0,65/-2,7	-2,55/-2,65	-2,55/?

Tablo 5.6'da görüldüğü gibi aynı m ölçek değeriyle, aynı N pencere uzunluğuyla fakat farklı dalgacık filtreleriyle yapılan deneylerde algoritmada

söylendiği [OON98] gibi nisbeten iyi sonuçlar Db4 dalgacık filtresi kullanılarak elde edilmiştir. Yine Db4'le elde edilen sonuçlara yakın sonuçlar Daubechies 2 (Db2) dalgacık filtresiyle elde edilmiştir.

En iyi sonuçların alındığı Db4 dalgacık filtresi kullanılarak N pencere uzunluğu 30 alınarak yapılan bir diğer deneyde ise alınan sonuçlar Tablo 5.7'de gösterilmektedir.

Tablo 5.7 $m=4$, $N=30$ ve Db4 dalgacık filtresi kullanılarak elde edilen S fazı sonuçları.

NO	Deprem Tarihi	S Fazı Gelişi (Uzman)	Oonnix (S Fazı) (max/thr)	Oonnix (Hata sn.) (max/thr)
1	03.05.2000	850	P'den önce/836	?/-0,7
2	05.05.2000	1036	504/486	-26,6/-27,5
3	05.05.2000	876	724/726	-7,6/-7,5
4	08.05.2000	576	614/612	1,9/1,8
5	18.05.2000	500	980/974	24/23,7
6	19.05.2000	488	1570/1568	54,1/54
7	20.05.2000	624	604/602	-1/-1,1
8	20.05.2000	1528	1664/1656	6,8/6,4
9	22.05.2000	622	616/607	-0,3/-0,75
10	29.05.2000	434	410/407	-1,2/-1,35
11	31.05.2000	490	P'den önce	??
12	04.07.2000	566	548/547	-0,9/-0,95

Tablo 5.6 ile Tablo 5.7 karşılaştırıldığında en iyi sonuçların Db4 dalgacık filtresi kullanılarak ve $m=4$ ve $N=30$ değerleri alınarak elde edildiği görülmektedir.

Bölüm 4.6'da anlatılan ve Oonnix'in algoritmasında kullandığı, incelenen deprem işaretinin enerjisinden hesaplanan, m ve N değerleri Ek-1'deki deprem işaretleri ve Db4 dalgacığı için hesaplanmış, Tablo 5.8'de bu değerler ve bu değerlerle hesaplanan S fazı sonuçları verilmiştir. Algoritmada söylendiği şekliyle hesaplanan S fazı sonuçları $N=60$ ve $m=4$ değerleri için elde edilen S fazı sonuçlarından daha başarılıdır.

Tablo 5.8 Deprem işaretine göre değişen m ve N değerleri ve Db4 dalgacık filtresi kullanılarak elde edilen S fazı sonuçları.

NO	Deprem Tarihi	Db 4 N/m	S Fazı Gelişi (Uzman)	Algoritma (S Fazı) (max/thr)	Algoritma (Hata sn.) (max/thr)
1	03.05.2000	30/3	850	838/835	-0,6/-0,75
2	05.05.2000	30/3	1036	474/470	-28,1/-28,3
3	05.05.2000	30/3	876	1032/951	7,8/3,75
4	08.05.2000	30/3	576	P'den önce	?
5	18.05.2000	30/3	500	749/745	12,45/12,25
6	19.05.2000	30/4	488	1570/1568	54,1/54
7	20.05.2000	30/4	624	604/602	-1/-1,1
8	20.05.2000	30/3	1528	2000/1997	23,6/23,45
9	22.05.2000	30/4	622	616/607	-0,3/-0,75
10	29.05.2000	30/5	434	410/407	-1,2/-1,35
11	31.05.2000	30/3	490	P'den önce	??
12	04.07.2000	30/3	566	548/547	-0,9/-0,95

Tablo 5.9'da Db4 dalgacığı kullanılarak m=4 ve N=60, N=30 değerleri için hesaplanan S fazı sonuçları ve bunların algoritmada anlatılan m ve N değerleri ve Db4 dalgacığı kullanılarak hesaplanan S fazı değerleriyle karşılaştırılması gösterilmiştir.

Tablo 5.9 Db4 dalgacık filtresi kullanılarak; m=4 ve N=60, N=30 ve algoritmanın hesapladığı m ve N değerlerine göre elde edilen S fazı sonuçları.

NO	Deprem Tarihi	Db4 N=60, m=4 (max/thr)	Db4 N=30, m=4 (max/thr)	Algoritma (Hata sn.) (max/thr)
1	03.05.2000	-2,8/-2,2	?/-0,7	-0,6/-0,75
2	05.05.2000	-1,4/-1,55	-26,6/-27,5	-28,1/-28,3
3	05.05.2000	14,3/14,2	-7,6/-7,5	7,8/3,75
4	08.05.2000	-1,7/-1,85	1,9/1,8	?
5	18.05.2000	-2,3/-2,45	24/23,7	12,45/12,25
6	19.05.2000	??	54,1/54	54,1/54
7	20.05.2000	0,85/0,4	-1/-1,1	-1/-1,1
8	20.05.2000	65,8/65,7	6,8/6,4	23,6/23,45
9	22.05.2000	-1,8/-2,8	-0,3/-0,75	-0,3/-0,75
10	29.05.2000	-1,55/-1,6	-1,2/-1,35	-1,2/-1,35
11	31.05.2000	?/-2,7	??	??
12	04.07.2000	-2,4/-2,54	-0,9/-0,95	-0,9/-0,95

Db4 dalgacığı için elde edilen ve Tablo 5.9'da gösterilen sonuçlara bakıldığında algoritmada bahsedilen m ve N değerleri kullanılarak hesaplanan S fazı sonuçlarının nispeten diğerlerinden iyi olduğu görülmektedir.

Deneylerde; farklı dalgacıklar, farklı m ve N değerleri kullanılarak yapılan hesaplamaların yanı sıra, algoritmada bahsedilmeyen, iki farklı gürültü temizleme metodu da kullanılmıştır. Bu metodlardan biri Çetin'in çalışmasında kullandığı ve 1.yöntem olarak bahsettiği [UGU03], diğeri ise kendi geliştirdiğimiz bir diğeri gürültü temizleme metodudur. Çetin'in geliştirdiği filtre uygulanırken şu yol izlenmiştir: deprem işaretine 8 seviyeli bir dalgacık filtresi uygulanarak her bir seviye sonunda gürültünün enerjisi hesaplanmıştır. Hesaplanan bu enerji değerleri göz önüne alınarak diğerlerine oranınla gürültü enerjisi yüksek olan üç seviye S fazı tespiti algoritmasında hesaplamalara katılmamıştır. Bu yöntemle elde edilen S fazı sonuçları Tablo 5.10'da gösterilmiştir.

Tablo 5.10 Kullanılacak olan m seviyeleri ve N=60 için Db4 dalgacığıyla 1. metod kullanılarak elde edilen S fazı sonuçları.

NO	Deprem Tarihi	Kullanılacak m seviyeleri	Db4, N=60 (Hata sn.) (max/thr)
1	03.05.2000	1,2,5,6	-2,1/-2,25
2	05.05.2000	1,2,3,4,5	-1,4/-1,5
3	05.05.2000	1,2,3,4,5	14,3/13,7
4	08.05.2000	1,2,3	-1,7/-1,9
5	18.05.2000	1,2	-2,3/-2,45
6	19.05.2000	1,2	P'den önce
7	20.05.2000	1,2	P'den önce
8	20.05.2000	1,2,3,4,5	60,05/59,75
9	22.05.2000	1,2	-1,8/-1,9
10	29.05.2000	1,2	-2,7/-2,75
11	31.05.2000	1,2,3,7,8	P'den önce
12	04.07.2000	1,2	-2,4/-2,45

Çalışmada uygulanan kendi geliştirdiğimiz bir diğeri gürültü temizleme metodu ise şöyledir: Hesaplamalarda kullanılacak olan deprem işaretinin, henüz depremin P fazı gelmeden önceki genliklerinin tamamı gürültü olarak kabul edilip bu genlik değerlerinin aritmetik ortalaması alınmıştır. Bu ortalama değer deprem işareti boyunca var olan gürültü kabul edilerek depremin işaretinin tamamından çıkarılmıştır. Böylece işaretin P fazı gelmeden önceki kısmı sıfır değerine yaklaştırılmış olur.

İkinci gürültü temizleme metodu kullanılarak elde edilen S fazı sonuçları Tablo 5.11'de gösterilmiştir.

Tablo 5.11 N=60, m=4 ve Db4 dalgacığıyla, 2. metod kullanılarak elde edilen S fazı sonuçları.

NO	Deprem Tarihi	Db4, N=60, m=4 (Hata sn.) (max/thr)
1	03.05.2000	-2,05/-2,15
2	05.05.2000	-1,4/-1,45
3	05.05.2000	14,3/14,25
4	08.05.2000	-1,7/-1,85
5	18.05.2000	-2,3/-2,45
6	19.05.2000	P'den önce
7	20.05.2000	0,85/0,6
8	20.05.2000	65,8/65,6
9	22.05.2000	-1,8/-2
10	29.05.2000	-2,7/-2,8
11	31.05.2000	P'den önce
12	04.07.2000	-2,4/-2,45

Tablo 5.12'de 1.metod ve 2.metod ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması görülmektedir.

Tablo 5.12 1. metod ve 2. metodla elde edilen S fazı sonuçlarının karşılaştırması

NO	Deprem Tarihi	1. metod(Db4) (Hata sn.) (max/thr)	2. metod(Db4) (Hata sn.) (max/thr)
1	03.05.2000	-2,1/-2,25	-2,05/-2,15
2	05.05.2000	-1,4/-1,5	-1,4/-1,45
3	05.05.2000	14,3/13,7	14,3/14,25
4	08.05.2000	-1,7/-1,9	-1,7/-1,85
5	18.05.2000	-2,3/-2,45	-2,3/-2,45
6	19.05.2000	P'den önce	P'den önce
7	20.05.2000	P'den önce	0,85/0,6
8	20.05.2000	60,05/59,75	65,8/65,6
9	22.05.2000	-1,8/-1,9	-1,8/-2
10	29.05.2000	-2,7/-2,75	-2,7/-2,8
11	31.05.2000	P'den önce	P'den önce
12	04.07.2000	-2,4/-2,45	-2,4/-2,45

Tablo 5.12’de her iki gürültü temizleme metoduyla elde edilen sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Tablo 5.13’te gürültü temizleme yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlarla gürültü temizlenmeden elde edilen sonuçlar birlikte gösterilmiştir.

Tablo 5.13 Gürültü temizleme uygulanmış ve uygulanmamış sonuçların karşılaştırılması.

NO	Db2, N=60,m=4 (Hata sn.) (max/thr)	Db4, N=60,m=4 (Hata sn.) (max/thr)	Bior2.2, N=60,m=4 (Hata sn.) (max/thr)	Coiflet1, N=60,m=4 (Hata sn.) (max/thr)	1.metod(Db4) N=60,m (Hata sn.) (max/thr)	2.metod(Db4) N=60,m=4 (Hata sn.) (max/thr)
1	-2,1/?	-2,8/-2,2	-2,15/-2	7,75/-4,4	-2,1/-2,25	-2,05/-2,15
2	-1,35/-1,55	-1,4/-1,55	34,5/34,2	24,5/24,4	-1,4/-1,5	-1,4/-1,45
3	2,85/2,35	14,3/14,2	12,9/12,75	11,1/10,95	14,3/13,7	14,3/14,25
4	-1,65/-1,35	-1,7/-1,85	-1,7/-3,15	-1,65/-1,9	-1,7/-1,9	-1,7/-1,85
5	-2,3/-2,5	-2,3/-2,45	18,15/17,95	-2,45/-2,25	-2,3/-2,45	-2,3/-2,45
6	??	??	??	??	P’den önce	P’den önce
7	-2,25/-2,15	0,85/0,4	-1,5/-2,2	-1,75/-2,25	P’den önce	0,85/0,6
8	60,7/60,55	65,8/65,7	0,65/-0,8	1,3/-2,25	60,05/59,75	65,8/65,6
9	-2/-2,45	-1,8/-2,8	-40,55/-41,5	-2,25/-2,4	-1,8/-1,9	-1,8/-2
10	-2,55/-2,75	-1,55/-1,6	29,25/27,85	29/28,7	-2,7/-2,75	-2,7/-2,8
11	-2,65/-2,9	?/-2,7	?/1,7	?/2,75	P’den önce	P’den önce
12	-1,9/-2,25	-2,4/-2,54	-2,55/?	-2,55/-2,65	-2,4/-2,45	-2,4/-2,45

Tablo 5.13’teki tüm sonuçlar karşılaştırıldığında Db4 dalgacığı kullanılarak N=60 ve m=4 değerleriyle elde edilen sonuçların diğer sonuçlara göre nispeten daha iyi olduğu görülmektedir. Bu tablodan da anlaşılabileceği gibi; gürültü temizleme yöntemi bu algoritma için olumlu sonuçlar vermemiştir. Bu sonuçlardan bu algoritmanın gürültüden çok etkilenmediği anlaşılmaktadır. Aynı değerlendirmeyi Anant ve Dowla’nın algoritması için söylemek mümkün değildir.

Bu çalışmada yapılan çeşitli deneylerde elde edilen sonuçlar uzman S fazı tespiti sonuçlarıyla karşılaştırıldığı gibi aynı zamanda Çetin’in tez çalışmasında elde ettiği S fazı sonuçlarıyla da karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalardaki sonuçlardan bu çalışmadaki algoritmaya göre hesaplananlarda m=4 ve N=60 olarak kullanılmıştır. Karşılaştırmalar aşağıdaki tablolarda sırasıyla şu şekilde verilmiştir:

Db2 dalgacığı kullanılarak bulunan S fazı sonuçları Tablo 5.14’te gösterilmiştir. S fazının önceden tespit edilmesi tercih edilecek olması sebebiyle bu karşılaştırmada bu çalışmada kullanılan algoritmayla elde edilmiş olan sonuçların Db2 için daha başarılı olduğu görülmektedir.

Tablo 5.14 Db2 dalgacığı kullanılarak bulunan S fazı sonuçları.

NO	Deprem Tarihi	Db 2 Uğur Çetin (Hata sn.)	Db2, N=60,m=4 (Hata sn.) (max/thr)
1	03.05.2000	14,9	-2,1/?
2	05.05.2000	44,05	-1,35/-1,55
3	05.05.2000	16,7	2,85/2,35
4	08.05.2000	-2,85	-1,65/-1,35
5	18.05.2000	-0,6	-2,3/-2,5
6	19.05.2000	3,8	?/?
7	20.05.2000	28,9	-2,25/-2,15
8	20.05.2000	-2,5	60,7/60,55
9	22.05.2000	0,25	-2/-2,45
10	29.05.2000	-1,15	-2,55/-2,75
11	31.05.2000	1,2	-2,65/-2,9
12	04.07.2000	6,85	-1,9/-2,25

Db4 dalgacığı kullanılarak bulunan gürültüsü temizlenmemiş ve gürültüsü temizlenmiş olarak hesaplanan S fazı sonuçları Tablo 5.15'te gösterilmiştir. Db4 dalgacığı için N=60 ve m=4 değerleriyle elde edilen sonuçların nispeten daha iyi olduğu görülmektedir.

Tablo 5.15 Db4 dalgacığı kullanılarak bulunan gürültüsü temizlenmemiş ve gürültüsü temizlenmiş olarak hesaplanan S fazı sonuçları.

NO	Deprem Tarihi	Db 4 Uğur Çetin (Hata sn.)	Db4, N=60,m=4 (Hata sn.) (max/thr)	1.metod (Db4) (Hata sn.) (max/thr)	2.metod (Db4) (Hata sn.) (max/thr)
1	03.05.2000	0,75	-2,8/-2,2	-2,1/-2,25	-2,05/-2,15
2	05.05.2000	10,8	-1,4/-1,55	-1,4/-1,5	-1,4/-1,45
3	05.05.2000	13,8	14,3/14,2	14,3/13,7	14,3/14,25
4	08.05.2000	13,1	-1,7/-1,85	-1,7/-1,9	-1,7/-1,85
5	18.05.2000	32,65	-2,3/-2,45	-2,3/-2,45	-2,3/-2,45
6	19.05.2000	5,6	?/?	P'den önce	P'den önce
7	20.05.2000	4	0,85/0,4	P'den önce	0,85/0,6
8	20.05.2000	1,7	65,8/65,7	60,05/59,75	65,8/65,6
9	22.05.2000	-0,6	-1,8/-2,8	-1,8/-1,9	-1,8/-2
10	29.05.2000	-1,15	-1,55/-1,6	-2,7/-2,75	-2,7/-2,8
11	31.05.2000	-1,5	?/-2,7	P'den önce	P'den önce
12	04.07.2000	6,6	-2,4/-2,54	-2,4/-2,45	-2,4/-2,45

Biortogonal 2.2 dalgacığı kullanılarak bulunan S fazı sonuçları Tablo 5.16'da gösterilmiştir. Biortogonal 2.2 dalgacığı için bu çalışmada bulunan S fazı sonuçlarının daha başarılı olduğu görülmektedir.

Tablo 5.16 Bior2.2 dalgacığı kullanılarak bulunan S fazı sonuçları.

NO	Deprem Tarihi	Bior2.2 Uğur Çetin (Hata sn.)	Bior2.2 N=60,m=4 (Hata sn.) (max/thr)
1	03.05.2000	-8,45	-2,15/-2
2	05.05.2000	2,1	34,5/34,2
3	05.05.2000	1,55	12,9/12,75
4	08.05.2000	13,2	-1,7/-3,15
5	18.05.2000	33,95	18,15/17,95
6	19.05.2000	-1,55	??
7	20.05.2000	-13	-1,5/-2,2
8	20.05.2000	10,8	0,65/-0,8
9	22.05.2000	25,3	-40,55/-41,5
10	29.05.2000	-1,15	29,25/27,85
11	31.05.2000	3,55	?/1,7
12	04.07.2000	-2,85	-2,55/?

Coiflet1 dalgacığı kullanılarak bulunan S fazı sonuçları Tablo 5.17'de gösterilmiştir. Coiflet1 dalgacığı için de bu çalışmada bulunan S fazı sonuçlarının daha başarılı olduğu görülmektedir.

Tablo 5.17 Coiflet 1 dalgacığı kullanılarak bulunan S fazı sonuçları.

NO	Deprem Tarihi	Coiflet 1 Uğur Çetin (Hata sn.)	Coiflet 1 N=60,m=4 (Hata sn.) (max/thr)
1	03.05.2000	-15,95	7,75/-4,4
2	05.05.2000	2,1	24,5/24,4
3	05.05.2000	5,7	11,1/10,95
4	08.05.2000	0,5	-1,65/-1,9
5	18.05.2000	-3,65	-2,45/-2,25
6	19.05.2000	-7,45	??
7	20.05.2000	-6,2	-1,75/-2,25
8	20.05.2000	-2,9	1,3/-2,25
9	22.05.2000	7,9	-2,25/-2,4
10	29.05.2000	-1,15	29/28,7
11	31.05.2000	23,50	?/2,75
12	04.07.2000	30,45	-2,55/-2,65

Son dört tabloda verilen sonuçlar farklı dalgacıklar ayrı ayrı ele alınarak karşılaştırıldığında nispeten iyi tespitlerin bu çalışmada elde edilen sonuçlarla yapıldığı görülmektedir.



6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, genel olarak deprem konusuna değinilmiş ve deprem işaretlerinin özellikleri ve dalgacık dönüşümü incelenmiştir. Dalgacık dönüşümü metodu kullanılarak herhangi bir deprem işaretindeki S fazının geliş zamanı tespit edilmiştir. Bu çalışma sonunda ortaya çıkan genel sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Bir işaret, alt bantlarına ayrılarak analizi ve sentezi daha kolay hale getirilebilir.
- Bir sismik işaretin incelenmesinde zaman bilgisinin de korunuyor olması önemli bir parametredir ve bu sebeple sismik işaretlerin analizinde dalgacık dönüşümü etkili bir çözüm metodudur.
- Faz geliş zamanının hızlı ve doğru tespit edilmesi için m ölçekleme değeri ve pencere uzunluğunun doğru belirlenmiş olması gerekmektedir.
- Enerji dağılımıyla belirlenebilen m ölçekleme değerlerine göre oluşturulan karakteristik denklemler seçilirken istenilen fazın tespitini belirleyebilecek nitelikteki karakteristik denklemlerin belirlenmesi gerekmektedir. Belirlenen karakteristik fonksiyonların sayısı, algoritmanın hızlı çalışması için, nispeten az ve en etkili sonuçları verenler olmalıdır.
- Sismik işaretin üç bileşeninde ortak olan maksimum noktalar haricinde görülebilecek maksimumları elimine etmek için seçilen karakteristik denklemlerden bir bileşke fonksiyon oluşturulup, bu bileşke fonksiyonun maksimumu esas alınmalıdır.
- Dalgacık dönüşümünde kullanılan dalgacık filtresi algoritmanın faz tespitinin doğru yapılabilmesi açısından çok önemlidir. Bu çalışmada Db2, Db4, Db8, Biortogonal 2 ve Coiflet 1 dalgacık filtreleri kullanılmış, en iyi sonuçlar Db4 dalgacığ kullanıldığında elde edilmiştir.

- İncelenen algoritmada filtreleme yapıldığında alınan sonuçlar filtre uygulanmadan elde edilen sonuçlardan çok farklı değildir; yani bu algoritma gürültüyü bastırabilmektedir.

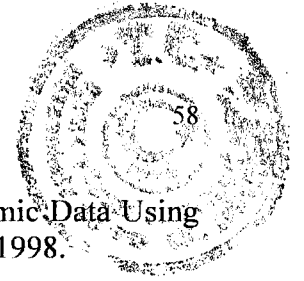
Bu sonuçlar ışığında; incelenen işarete en uygun dalgacık filtresini otomatik olarak seçilebilen bir mekanizmanın kurulması, ilerde yapılabilmesi muhtemel bir çalışma olabilir.





KAYNAKLAR

- [AFO03] <http://www.afet.gen.tr/deprem/olusumu.html>, son erişim tarihi: 16 Eylül 2003.
- [AFS03] <http://www.afet.gen.tr/deprem/siddetler.html>, son erişim tarihi: 16 Eylül 2003.
- [ANA97] K. S. Anant and F. U. Dowla, "Wavelet Transform Methods for Phase Identification in Three-Component Seismograms", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 87, No. 6, pp. 1598-1612, 1997.
- [ARZ03] <http://www.geocities.com/arzbilim/faynedr.htm>, son erişim tarihi: 16 Eylül 2003.
- [BEA87] M. Bear & U. Kradolfer, "An Automatic Phase Picker for Local and Teleseismic events", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 77(4), 1437-1445, 1987.
- [BOG03] http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/sss_tr.htm, son erişim tarihi: 16 Eylül 2003.
- [CIC93] A. Cichowicz, "An Automatic S Phase Picker", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83(1), 180-189, 1993.
- [CRI76] A. Croisier, D. Esteban, and C. Galand, "Perfect Channel Splitting by Use of Interpolation, Decimation, Tree Decomposition Techniques", *Int. Conf. on Information Sciences / Systems, Patras*, pp. 443-4463 August 1976.
- [CRO83] R. E. Crochiere, and L. R. Rabiner, "Multirate Digital Signal Processing", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1983.
- [DAU92] I. Daubechies, "Ten Lectures on Wavelets", SIAM, Philadelphia, 1992.
- [DEP03] <http://www.deprem.gov.tr/deprem.htm>, son erişim tarihi: 16 Eylül 2003.
- [EST77] D. Esteban and C. Galand, "Application of Quadrature Mirror Filters to Split-Band Voice Coding Schemes", *Int. Conf. Acoust., Speech, Signal Proc.*, Hartford, Connecticut, pp. 191-195, May 1977.
- [FIO98] Fiona Watt, "Depremler ve Yanardağlar", Tübitak Gençlik Kitapları, Tübitak Yayınları, 1998.
- [GAB46] D. Gabor, "Theory of Communication", *Journal of IEEE*, Vol. 93, pp. 429-457, 1946.
- [GOS99] J. C. Goswami and A. K. Chan, "Fundamental of Wavelets, Theory, Algorithms, and Applications", John Wiley & Sons, Inc., 1999.
- [IBB03] <http://www.ibst.gov.tr/deprem/deprem.htm>, son erişim tarihi: 16 Eylül 2003.
- [ITU03] <http://www.ins.itu.edu.tr/tdv/fay.htm>, son erişim tarihi: 16 Eylül 2003.
- [JUR88] A. Jurkevics, "Polarization Analysis of Three-Component Array Data", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 78, 1725-1743, 1988.
- [KAN81] E. Kanasewich, "Time Sequence Analysis in Geophysics", The University of Alberta Press, Alberta, 1981.



- [OON98] P.J. Oonincx, "An Automatic Phase Detection in Seismic Data Using The Discrete Wavelet Transform", CWI Report, PNA-R9811, 1998.
- [OLI91] Olivier Rioul and Martin Vetterli "Wavelets and Signal Processing", *IEEE SP Magazine*, October 1991.
- [OLI93] Olivier Rioul, "A Discrete - Time Multiresolution Theory", *Journal of IEEE*, Vol.41, No. 8, 1993.
- [ROS84] A. Rosenfeld ed., "Multiresolution Teshniques in Computer Vision", Springer-Verlag, Newyork 1984.
- [SAM80] J.Samson & J.Olson, "Some Comments on the Descriptions of the Polarization States of Waves", *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 61, 115-129, 1980.
- [STE88] Stephane Mallat: "Multiresolution Representations and Wavelets", University of Pennsylvania, Philadelphia, August 1988.
- [UGU03] Uğur Çetin, "Dalgacık Dönüşümü Metodu ile Deprem İşaretlerinde Faz Geliş Zamanlarının Tespiti", GYTE Yüksek Lisans Tezi, Gebze, 2003.
- [WIC89] M.V. Wickerhauser, "Acoustic Signal Compression with Wave Packets", preprint Yale University, 1989.



ÖZGEÇMİŞ

Kerim Özgür YALÇIN, 1976 yılında İzmir’de doğdu. İlköğrenimini Bornova Kars İlkokulu’nda, orta öğrenimini İzmir Özel Yamanlar Lisesi’nde ve lise öğrenimini de Nazilli Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 1994 yılında girdiği İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü’nden 1998 yılında mezun oldu. 2000 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Elektronik Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Yapı ve Kredi Bankası Teknoloji Geliştirme Direktörlüğü Host Sistemleri Bölümü’nde Online Sistemler Uzmanı olarak çalışmaktadır.





EK-1 İNCELENEN DEPREMLER

NO	TARİH	SAAT	ENLEM(°)	BOYLAM(°)	BÜYÜKLÜK	P FAZİ	S FAZİ
1	03.05.2000	20:49:24	40,70	27,63	2,9	20:49:45.5	20:50:02.5
2	05.05.2000	10:01:07	39,30	27,74	3,5	10:01:40.0	10:02:11.8
3	05.05.2000	23:43:40	39,00	29,51	3,1	23:44:18.1	23:44:43.8
4	08.05.2000	12:21:43	40,68	29,06	2,8	12:21:52.6	12:21:58.8
5	18.05.2000	14:28:33	40,81	30,27	3,0	14:28:52.0	14:29:05.0
6	19.05.2000	10:31:07	40,75	29,78	3,0	10:31:16.1	10:31:24.4
7	20.05.2000	03:37:54	40,79	30,02	3,1	03:38:10.5	03:38:21.2
8	20.05.2000	04:42:58	40,44	25,30	3,6	04:43:53.6	04:44:36.4
9	22.05.2000	01:33:37	40,84	30,31	3,0	01:33:57.5	01:34:11.1
10	29.05.2000	12:07:47	40,71	29,21	3,2	12:07:56.2	12:08:01.7
11	31.05.2000	17:27:40	40,72	29,26	2,6	17:27:48.7	17:27:54.5
12	04.07.2000	03:52:03	40,67	29,08	2,8	03:52:12.5	03:52:18.3

