

33786

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ \*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

ZAMAN ORTAMI POLARİZASYON SÜZGEÇLERİ

Jeofizik Müh. Süleyman Hasan BASA

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

"Jeofizik Yüksek Mühendisi"

Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04.04.1994

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 16.05.1994

Tezin Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Mithat Fırat ÖZER

Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr. İlhan OSMANŞAHİN

Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr. Ahmet YILMAZTÜRK

Enstitü Müdürü : Prof.Dr. Temel SAVAŞKAN

NİSAN-1994  
TRABZON

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DENEYİM MERKEZİ

## ÖNSÖZ

Zaman Ortamı Polarizasyon Süzgeçlerinin Deprem kayıtlarına uygulanması ile ilgili hazırlanmış olduğum çalışmanın, gelecekte bu konu üzerinde yapılacak olan diğer çalışmalara yararlı olacağını umuyorum. Başta tez danışmanlığımı üstlenerek gerek konu seçimi, gerekse çalışmaların yürütülmesi sırasında ilgisini esirgemeyen sayın hocam Yrd.Doç.Dr. Mithat Fırat ÖZER'e teşekkür etmeyi zevkli bir görev bilirim.

Yapıcı eleştirilerinden yararlandığım sayın hocam Prof.Dr.Özer Kenar ve Yrd.Doç.Dr. İlhan OSMANŞAHİN'e teşekkür ederim.

Tezin hazırlama süresince daima bana yardımcı olan Arş.Gör. Aysel ŞEREN, Arş.Gör. Nilgün SAYIL ve Arş.Gör. Erkan EMİR'e teşekkür ederim. Ayrıca bu tezi Yüksek Lisans Öğrenimim sırasında kaybettiğim ANNEM'e armağan ediyorum.

Trabzon, Mart 1994

Süleyman Hasan BASA

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	IV
SUMMARY.....	V
ŞEKİL LİSTESİ.....	VI
TABLO LİSTESİ.....	VIII
SEMBOL LİSTESİ.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amac ve Kapsam.....	1
1.2. Polarizasyon Çalışmaları.....	2
2. POLARİZASYON ÖZELLİKLERİ.....	6
2.1. Tanecik Hareketleri.....	6
2.2. Cisim Dalgalarının Polarizasyonu .....	9
2.2.1. P-Dalgasının Polarizasyonu.....	9
2.2.2. S-Dalgası Polarizasyonu.....	10
2.2.2.1. SH-Dalgasının Polarizasyonu.....	11
2.2.2.2. SV-Dalgasının Polarizasyonu.....	11
3. POLARİZASYON ANALİZİ.....	14
3.1. Yöntem.....	14
3.2. Yöntemin Testi.....	17
3.3. Gerçek Veriler.....	20
4. ZAMAN ORTAMI POLARİZASYON SÜZGEÇLERİ.....	31
4.1. Yöntem.....	31
4.3. Yöntemin Testi.....	33
4.4. Gerçek Veriler.....	36
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	48
KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ.....	53

## ÖZET

### ZAMAN ORTAMI POLARİZASYON SÜZGEÇLERİ

Çok iyi bilindiği gibi, herbir sismik dalga türü belirli tanecik hareketlerine sahiptir. Sismik dalgaların bu özellikleri üç bileşen sismogramlarda dalga fazlarının tanınmasında kullanılabilir. Bu özellikler, sinyal-gürültü oranının artırılmasında da temel bir yaklaşım oluşturabilir. Örneğin, cisim dalgaları doğrusal polarizasyon gösterirken gürültüler daha çok eliptik olarak polarize olurlar. Gürültüler bazen doğrusal polarizasyon gösterebilirler de bunların yönlenmeleri rasgeledir. Polarizasyon süzgeçleri sinyal ve gürültünün bu özelliklerinden yararlanılarak geliştirilmiştir.

Sismik dalgaların polarizasyonlarına ait bilgiler hem zaman hem de frekans ortamlarında elde edilebilir. Bu çalışmada hem sismik dalgaların polarizasyon analizinde hem de polarizasyon süzgeçlerinin düzenlenmesinde zaman ortamı yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşım seçilen bir uzunluktaki zaman penceresi içerisindeki veriye en küçük kareler anlamında en uygun elipsoidin belirlenmesine dayanır. Bunun için belirlenen zaman penceresi için kovaryans matrisi oluşturulur. Bu matrisin özdeğer ve özvektörlerinden doğrusallık, düzlemsellik, azimut ve geliş açısı gibi nitelikler hesaplanır. Daha sonra seçilen bir kaydırma aralığı için zaman penceresi kaydırılarak hesaplamalar sismogramların sonuna kadar tekrarlanır. Bu şekilde belirlenen polarizasyon nitelikleri, sismogramların içerdiği dalga fazlarının tanınması ve bunların varış zamanlarının duyarlı bir şekilde belirlenmesi gibi amaçlar için kullanılabilir.

Zaman ortamı polarizasyon süzgeçleri için sismik dalgaların yukarıda belirtilen özelliklerden doğrusallık ve yön fonksiyonları hesaplanır. Bu fonksiyonlar ve sismogramlar çarpılarak süzölmüş izler elde edilir. Doğrusallık ve yön fonksiyonları kaydırılan zaman pencereleri için elde edildiğinden noktadan noktaya kazanç kontrol gibi davranırlar. Bu nedenle zaman ortamı polarizasyon süzgeçlemesi doğrusal olmayan süzgeç türüdür.

Polarizasyon nitelikleri kaydırılan bir zaman penceresi için hesaplandığından, sonuçların duyarlılığı ve duraylılığı zaman penceresinin boyuna ve kaydırma miktarına bağlıdır. Bundan dolayı bu çalışmada önce bu parametrelerin seçimi için genel bir ölçüt bulunmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, yöntem önce yapay verilere uygulanmıştır.

Benzer şekilde, zaman ortamı polarizasyon süzgeci de yapay verilere uygulanarak süzgeç parametreleri için en uygun değerler belirlenmeye çalışılmıştır. Son olarak yakın alan ve uzak alan deprem verilerine uygulanarak sonuçlar tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tanecik hareketi, polarizasyon analizi, polarizasyon süzgeçleri.

## SUMMARY

### TIME DOMAIN POLARIZATION FILTERS

As well known, each type of seismic waves has a specific particle motion. This property of seismic waves could be used to identify the wave phases in three component seismograms, and to construct the basic construction the approximation for enhance of the signal-noise ratio. For instance, noises generally have elliptic polarization while body waves show linear polarization. Noises some time may have linear polarization, but their direction is random. Polarization filters have been developed using these properties of signal and noise.

Information of the seismic wave polarization can be obtain both in time and in frequency domain. In this study, both to analyse of the seismic wave polarization and to design the polarization filters have been used the time domain approximation. This technique bases on to determine an ellipsoid that best fits the data points over the time window in least square sense. For this purpose, covariance matrix is obtained for the specified time window. The attributes such as rectilinearity, planarity, azimuth and incidence angles of waves are calculated from eigenvalues and eigenvectors of this matrix. After that, these calculations are repeated for windows that are moved for chosen the moving interval, until end of seismograms. The polarization attributes that are obtained as above could be used to determine the phases that are including seismograms and their arrival times.

The rectilinearity and directivity functions calculate from polarization attributes of seismic waves to design the time domain polarization filters. The filtered traces obtain with multiplication of these functions and seismograms. Since rectilinearity and directivity functions obtain for moving time windows, these functions act as a point by point gain control. For this reason, the polarization filtering is a non-linear filtering.

Since polarization attributes are calculated for moving time window, sensitivity and stability of results are depend on length and moving interval of window. For this reason, in this study, firstly it has been tried to find a general criterion to choose these parameters. For this purpose, the technique firstly applied synthetic data. Similarly, the time domain polarization filter applied synthetic data to determine the optimum filter parameters. Finally, both of these techniques applied local and far field earthquake data and discussed their results.

**Key Words:** Particle motion, polarization analysis, polarization filters.

## ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil 1. Bir katı cismin denge ve deformasyona uğramış tanecik pozisyonları.
- Şekil 2. Tanecik hareketinin doğrusal, eliptik ve dairesel polarizasyon şekilleri.
- Şekil 3.  $I_0$  açısıyla bir arayüze gelen S dalgasının SH ve SV bileşenleri.
- Şekil 4. Gelen ve yansıyan SV dalgası ile yansıyan P dalgası için tanecik yerdeğiştirmeleri ve ışın yolları.
- Şekil 5. Tanecik hareket diyagramlarında  $\gamma$  ve  $\delta$  açıları.
- Şekil 6. Tanecik elipsoidi.
- Şekil 7. Farklı kaydırma ve pencere boyları için doğrusallık (üstte) ve düzlemsellik (altta) değerlerinin kontur haritası. Koyu bölgeler %10'dan büyük hataları göstermektedir.
- Şekil 8. Farklı kaydırma ve pencere boyları için azimut (üstte) ve geliş açısı (altta) değerlerinin kontur haritası. Koyu bölgeler %10'dan büyük hataları göstermektedir.
- Şekil 9. Azimut ve geliş açısı  $30^\circ$  olan doğrusal polarizasyona sahip bir sinyal için S/G oranının fonksiyonu olarak polarizasyon nitelikleri.
- Şekil 10. Farklı genlik ve peryodlu sinüslerden oluşan üç bileşen yapay veri (üstte), 0.4sn pencere boyu ve % 33 kaydırma miktarı için polarizasyon nitelikleri (altta) (S/G=20, gürültünün frekans bandı 0.5-5Hz).
- Şekil 11. Farklı genlik ve peryodlu sinüslerden oluşan üç bileşen yapay veri (üstte), 0.4sn pencere boyu ve % 33 kaydırma miktarı için polarizasyon nitelikleri (altta) (S/G=20, gürültünün frekans bandı 0.5-10Hz)
- Şekil 12. Farklı genlik ve peryodlu sinüslerden oluşan üç bileşen yapay veri (üstte), 0.4sn pencere boyu ve % 33 kaydırma miktarı için polarizasyon nitelikleri (altta) (S/G=3, gürültünün frekans bandı 0.5-5Hz)
- Şekil 13. Farklı genlik ve peryodlu sinüslerden oluşan üç bileşen yapay veri (üstte) 0.4sn pencere boyu ve % 33 kaydırma miktarı için polarizasyon nitelikleri (altta) (S/G=3, gürültünün frekans bandı 0.5-10Hz)
- Şekil 14. Farklı genlik ve peryodlu sinüslerden oluşan üç bileşen yapay veri (üstte), 0.1sn pencere boyu ve %10 kaydırma miktarı için polarizasyon nitelikleri (altta) (S/G=3, gürültünün frekans bandı 0.5-10Hz).



- Şekil 15. 06.11.1989 tarihli yakın alan depremine ait üç bileşen kayıt (üstte) ve 0.2sn pencere boyu ve %10 kaydırma miktarı için hesaplanan polarizasyon nitelikleri (altta).
- Şekil 16. 23.01.1981 tarihli uzak alan depremine ait üç bileşen kayıt (üstte) 20sn pencere boyu ve %10 kaydırma miktarı için hesaplanan polarizasyon nitelikleri (altta).
- Şekil 17. 0.4sn pencere boyu ve %33 kaydırma miktarı,  $n=1,2,3$  ve 10 için süzölmüş izler ( $S/G=20$ , güröltünün frekans bandı 0.5-5Hz).
- Şekil 18. 0.4sn pencere boyu ve %33 kaydırma miktarı,  $n=1,2,3$  ve 10 için süzölmüş izler ( $S/G=3$ , güröltünün frekans bandı 0.5-5Hz).
- Şekil 19. 0.4sn pencere boyu ve %33 kaydırma miktarı,  $n=1,2,3$  ve 10 için süzölmüş izler ( $S/G=3$ , güröltünün frekans bandı 0.5-10Hz).
- Şekil 20. 0.4sn pencere boyu ve %33 kaydırma miktarı için, Tablo 2'deki parametrelere göre oluşturulan üç bileşen sinyal (üstte), değişik azimut ve geliş açılara ( $30^\circ, 50^\circ, 70^\circ, 25^\circ, 170^\circ, 45^\circ$ ) ve  $n=3$  değeri için süzölmüş üç bileşen yapay izleri (altta) ( $S/G=20$ , güröltünün frekans bandı 0.5-10Hz)
- Şekil 21. 0.4sn pencere boyu ve %33 kaydırma miktarı için, Tablo 2'deki parametrelere göre oluşturulan üç bileşen sinyal (üstte), değişik pencere boyu değeri (0.2, 0.4, 1, 2) ve  $n=3$  değeri için süzölmüş üç bileşen yapay izler (altta) ( $S/G=20$ , güröltünün frekans bandı 0.5-10Hz).
- Şekil 22. 0.4sn pencere boyu ve %33 kaydırma miktarı için, Tablo 2'deki parametrelere göre oluşturulan sinyal (üstte), değişik kaydırma oranları (%1, %10, %60 %100) ve  $n=3$  değeri için süzölmüş üç bileşen yapay izler (altta) ( $S/G=20$ , güröltünün frekans bandı 0.5-10Hz).
- Şekil 23. 01.12.1989 yakın alan depremine ait üç bileşen kayıt (üstte), 0.2sn pencere boyu, %10 kaydırma miktarı ve  $n=3$  için süzölmüş izler (altta).
- Şekil 24. 06.11.1981 yakın alan depremine ait üç bileşen kayıt (üstte), 0.2sn pencere boyu, %10 kaydırma miktarı ve  $n=3$  için süzölmüş izler (altta).
- Şekil 25. 23.01.1989 uzak alan depremine ait üç bileşen kayıt (üstte), 0.2sn pencere boyu %10 kaydırma miktarı ve  $n=3$  için süzölmüş izler (altta).

## TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Polarizasyon niteliklerinin incelenmesinde kullanılan yapay izlerin içerdği sinyallere ait parametreler.

Tablo 2. Gözlemsel verilerin odak parametreleri.

Tablo 3. Değişik azimut ve geliş açısı değerlerine bağlı olarak oluşturulan 5-adet sinyal içeren yapay veriye ait parametreler.





## SEMBOL LİSTESİ

$\Delta$	Episantr uzaklığı.
$L$	Denge (referans) konum vektörü.
$u$	Tanecik yer değiştirme alanı.
$\omega$	Açısal frekans.
$\gamma$	$U_H - U_R$ diyagramlarında elipsin uzun ekseninin $U_R$ eksenine ile yaptığı açı.
$\delta$	$U_H - U_Z$ diyagramlarında elipsin uzun eksenine ile $U_Z$ arasındaki açı.
$U_{SH}, U_{SV}$	SH ve SV dalgalarının genlikleri.
$u_{SH}, u_{SV}$	SH ve SV bileşenleri nedeniyle oluşan yüzey tanecik hareketleri.
$\bar{I}_0$	P-dalgasının görünür geliş açısı.
$I_0$	P-dalgasının gerçek geliş açısı.
$a_0$ ve $b_0$	Serbest yüzeydeki P ve S dalga hızları.
$U_H, U_R$ ve $U_Z$	Yüzey tanecik hareketinin enine, radyal ve düşey bileşenleri.
$u_H, u_R$ ve $u_Z$	Enine, radyal ve düşey yerdeştirmeler.
$r_0$	Yerin yarıçapı.
$\bar{J}_0$	S-dalgasının görünür geliş açısı.
$J_0$	S-dalgasının gerçek geliş açısı.
$c$	Yüzey faz hızı.
$S$	Kovaryans matrisi.
$\alpha_m$	Mantodaki P-dalga hızı.
$\alpha_1$	Kabuksal P-dalga hızı.
$\epsilon$	Polarizasyon açısı.
$F_h$ ve $F_v$	Yer modeline, frekansa ve geliş açılara bağlı sabitler.
$N$	Nokta sayısı.
$T$	Transpoze.
$\lambda$	Özdeğer.
<i>rect</i>	Doğrusallık.
$E$	Özvektör.
$t_0$	Zaman penceresinin orta noktasına karşılık gelen zaman.
$P^0$	Polarizasyon matrisi.
$T_e$	Toplam enerji.

**F(t)**  
**plan**

**Süzgeç fonksiyonu.**  
**Düzlemsellik.**



# 1. GİRİŞ

## 1.1. Amaç ve Kapsam

Bilindiği gibi sismogramlar daima, gürültü olarak adlandırılan, istenmeyen sinyallerce kirletilirler. Bu gürültülerin kaynakları daha çok, genel olarak çevresel gürültü olarak adlandırılan, insanlar ve doğal kaynaklı olaylardır. Bunlar dışında birde sinyallerin kendilerinin oluşturduğu gürültüler vardır. Sinyal kökenli bu gürültüler kabuksal arayüzeyler ve homojen olmayan ortamlardaki P ve S dalgalarının yüzey dalgalarına yerel dönüşümleri ile meydana gelirler. Bu tür gürültüler daha çok alıcı altındaki yapıda oluşur. Daha çok ana mod ve yüksek mod Rayleigh dalgalarından oluştuğu düşünülen bu mikrosismik gürültüler, 5-8sn peryodlu keskin pikler şeklindedir [1]. Mikrosismik gürültü spektrumunda keskin pikin oluşturulmasından dolayı frekans ortamı band-geçişli süzgeçleme ile giderilebilirler. Frekans ortamı süzgeçlerin en çarpıcı uygulamaları genellikle sinyalden farklı frekans içeriğine sahip olan çevresel gürültülerin temizlenmesinde görülür. Çünkü, frekans ortamı süzgeçlemede esas olan sinyal ve gürültünün frekans içeriklerinin farklılığıdır.

Frekans süzgeçlerine benzer ilkeli bir başka süzgeç türünde hız-süzgeçleridir. Hız süzgeçlerinin temel ilkesi sinyal ile mikrosismik gürültülerin hızları arasındaki farklılıktır. Bu tür süzgeçler hem uzun hemde kısa peryodlu verilerde mikrosismik çevresel gürültünün giderilmesinde çok etkinseler de, genellikle, sinyal kökenli gürültülerle sinyal arasında bir ayırım yapamazlar. Çünkü bunların hızları sinyallerin hızlarına yakındır. Bu durumda sismik olayların polarizasyon özelliklerinden yararlanılır.

Bölgesel olaylarda ( $\Delta \leq 20^\circ$ ) gözlenen fazlar büyük geliş açalarına sahiptir ve dolayısıyla enerjileri bileşenler arasında nisbeten daha eşit paylaşılır. Bu nedenle bölgesel fazların tanınması nisbeten güçlüdür. Bölgesel olaylarda, cisim dalgalarının yerel olarak yüzey dalgalarına dönüşümleri, kabuksal ara yüzeylerden olan ardışık yansımalar, yanal heterojenliklerden kaynaklanan kırınma ve saçılmalar sismogramları daha da karmaşık hale getirir. Özellikle küçük magnitüdü yerel olayların kayıtlarında fazların tanınması oldukça zorlaşmaktadır.

Elastik dalgalar belirli polarizasyon niteliklerine sahiptir. Sinyal kökenli gürültüler ya polarize değillerdir, yada polarizasyonları sinyallerinkinden farklıdır. Bu fark gürültü ve sinyalin ayrımında önemli bir parametre olarak kullanılabilir. Nitekim, polarizasyon süzgeçlerinin temel ilkesi bu farklılıktır.

Bu çalışmada önce elastik dalgaların polarizasyon niteliklerinin belirlenmesine yönelik zaman ortamı polarizasyon yöntemleri incelenerek, bunların dalga fazlarının tanınmasında nasıl kullanılabilecekleri gösterilmiştir. Daha sonra zaman ortamı polarizasyon süzgeçleri incelenerek bir zaman ortamı polarizasyon süzgeci düzenlenmiş, yapay ve gerçek verilere uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlarla yöntemin etkinliği tartışılmıştır.

Çalışmanın kapsamı şöyledir: 1. Bölümde daha önce yapılmış polarizasyon çalışmaları hakkında genel bilgi verilmiştir. 2. Bölümde tanecik hareketleri ve cisim dalgalarının polarizasyonları ile ilgili genel bilgiler anlatılmıştır. Polarizasyon niteliklerinin hesabı ve bunlardan yararlanarak sismik dalga fazlarının sismogramlardan tanınmasına ilişkin uygulamalar bölüm 3'de verilmiştir. 4. Bölümde ise yapay ve gerçek veriler için polarizasyon süzgecinin çalışma şekli uygulamalarla gösterilerek gerçek verilerde dalga fazlarının ayırımında nasıl uygulanabileceği gösterilmeye çalışılmıştır. 5. Bölümde inceleme sonuçları ve öneriler sunulmuştur.

## 1.2. Polarizasyon Çalışmaları

Elastik dalgaların tanecik hareketlerindeki farklılıklara dayalı faz tanınması ve iyileştirilmesi çalışmalarını 1960'lı yıllarda başlar. Çünkü bu yıllar modern anlamdaki sismograf sistemlerinin gelişerek yaygınlaştığı yıllardır. Henüz sayısal kayıtçuların araştırma safhasında olduğu bu yılların en ileri teknolojisi manyetik teyplere sürekli (analog) kayıt alan sistemlerdi. Bu sistemler her ne kadar sürekli ise de, ya bugüne göre ilkel sayılabilecek sayısallaştırıcılar kullanılarak sayısal hale dönüştürülüyorlar, ya da kayıtlar play-back aşamasında elle sayısallaştırılabilecek şekilde kağıtlara aktarılıyorlardı. Ayrıca bunlar analog bilgisayarlarla da doğrudan işlenebilmekte idi. Bu nedenlerden dolayı kağıt kayıtçulara göre çok büyük yararlıklar sağlıyorlardı. Çünkü kağıt kayıtçularda elastik dalga fazlarının ayrıntılı bir şekilde incelenebilmeleri olanaklı olmamaktadır (özellikle yakın alan deprem fazlarının kısa-periyod sismograf kayıtları düşünülürse).

Elastik dalga fazlarının tanınmasına ilişkin literatürde karşılaşılan ilk çalışma Sutton ve Pomerey [2] tarafından yapılan "manyetik teyplerde kaydedilen sürekli sismogramların analiz"i başlıklı çalışmadır. Bu çalışmada sekiz adet uzak alan depremin, büyük bir nükleer patlatmanın ve bir fırtına tarafından oluşturulan mikrosismik gürültünün manyetik teyp kayıtlarına alçak-geçişli, yüksek-geçişli, band-geçişli ve band-durdurucu frekans süzgeçleri uygulanarak bunların faz ayırımı ve iyileştirilmesindeki yararlılıkları araştırılmıştır. Bu çalışmanın bizi ilgilendiren kısmı bunlara ek olarak sismogramlara uygulanan diğer bir işlemdir. Burada elastik dalgaların tanecik hareketlerindeki farklılıktan yararlanılması ve bunların elastik dalga fazlarının ayırımında kullanılabileceğini göstermeye çalışılması önemlidir. Uygulanan işlem oldukça basit olmasına karşın ilk oluşu önem taşır.

Burada, önce yatay bileşenler (N-S ve E-W) azimut açısına göre vektörel olarak döndürülerek (rotation) radyal ve teğetsel bileşenler hesaplanır. Daha sonra radyal ve düşey bileşenler birbirleri ile çarpılır. Radyal-Düşey (RZ) çarpım fonksiyonu P-dalgası hareketi için pozitif ve SV-tipi tanecik hareketi için negatif bir değere sahip olacaktır. Bazı geliş açılarında, gelen SV, Rayleigh tipi yüzey tanecik hareketi oluşturur. Bu basit özellik teğetsel yatay (T), boyuna yatay (R), sıkışma, düşey olarak polarize olmuş teğetsel ve boyuna eliptik (Rayleigh tipi) yüzey tanecik hareketlerini ayırır. Bu yöntemin gerektiğinde düşey eksen dışındaki eksenlerden oluşturulacak eksen grupları için de uygulanabileceği belirtilmiştir. Bu çarpıma ek olarak, cisim dalgaları için sinyal-gürültü oranını iyileştirmek için toplamları da (integrali) hesaplanmıştır. Çünkü, tamamen yüzey dalgası tipindeki mikrosismik gürültünün integralinin sıfır olacağı belirtilmiştir. Bu çalışmada bu yöntemin birkaç uzak-alan deprem kaydına uygulaması verilmiştir. Yöntemin çok basit olmasına karşılık sonuçlar oldukça başarılıdır. Örneğin İbrahim ve Nuttlı [3] uzun periyod S-dalgalarından üst manto yapısının belirlenmesi yayılma zamanı eğrilerinin elde edilmesine yönelik çalışmalarında S-dalgalarının varış zamanlarını duyarlı bir şekilde belirleyebilmek için düşey radyal bileşen çarpımları ve bunların toplamlarını kullanmışlardır. Tanecik hareket diyagramları ile birlikte kullandıkları bu yöntemde oldukça iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Bu konuda ikinci önemli çalışma 1964 yılında Shimsoni ve Smith [4] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada sinyal gürültü oranının iyileştirilmesi ve elastik dalga fazlarının tanınmasına yönelik tamamen tanecik hareketlerindeki farklılığa dayalı iki yöntem önerilmektedir. Bunlardan birincisi zaman, ikincisi frekans ortamı yöntemleridir. Bunları önemi, bugünkü, dalgaların polarizasyonlarına dayalı hem zaman hem de frekans ortamı yöntemlerin temellerinin verilmesindedir.

Shimsoni ve Smith [4] zaman ortamı yöntemini, yer hareketinin düşey ve radyal bileşenlerinin zaman-ortalama çapraz (vektörel) çarpımları olarak tanımlamışlardır. Burada amaçlanan sinyal ve gürültünün aynı frekans ve hız bandlarında olduklarında ayırımının yapılabilmesidir. Yani, ayırım için bu iki parametrenin dışında bir özellik olarak elastik dalgaların tanecik hareketleri temel alınmıştır. Bu çalışmada özellikle P ve SV-tipi dalgalar dikkate alınmıştır. Bunun için önce yatay bileşenler vektörel olarak döndürülerek radyal ve teğetsel bileşenler elde edilir. Daha sonra düşey ve radyal bileşenler üzerinde alınan N-noktadan oluşan zaman penceresi için işlem yapılır. Bir zaman penceresi içerisindeki tanecik hareketi doğrusal ise bunların özilişki fonksiyonları 1 (bir) değerine sahip olacaktır. Eğer yer homojen yarı sonsuz ise, P-dalgası için yer hareketinin düşey ve radyal bileşeni tamamen aynı fazlı olmalıdır. Bu durumda ilişki katsayısı +1 değerini almalıdır. Düşey olarak polarize olmuş S-dalgası (yani SV-dalgası) için ilişki fonksiyonu -1 değerini alır. Eğer yer tabakalı bir yapıya sahip ise dalganın geliş açısına bağlı olarak bileşenler arasında faz farkı oluşur.



Ancak, örneğin uzak alan P-dalgaları için, bu faz farkı ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Çapraz-çarpım fonksiyonunun seçilen zaman penceresi içerisindeki düşey ve radyal bileşen genliklerinin çarpımları şeklinde tanımlanmışlardır. Bilindiği gibi, özilişki fonksiyonu sinyalin toplam gücü ile ilişkili olmamasına karşılık, çapraz çarpımlar sinyal gücüne bağlıdır. Bu nedenle her pencere için bir ortalama alınması önerilmiştir. Bir pencere için bu şekilde hesaplanan çapraz-çarpım fonksiyonu ve bunun düşey ve radyal bileşenlerle çarpım fonksiyonları, doğrusal hareketin belirlenmesinde oldukça yararlı sonuçlar vermiştir.

Shimsoni ve Smith, tarafından sunulan diğer önemli bir yöntem ise, gelen bir elastik dalğanın geçişi sırasındaki tanecik yörüngelerini tanımlamak için değişik frekans bandlarında hareketin bileşenlerine ayrıştırılmasıdır (decomposition). Bu şekilde eşdeğer elipsin parametreleri her bir zaman anı için hesaplanır. Yani elipsin yarı-eksenleri, uzun eksenin düşeyle yaptığı açı yer hareketinin genlik ve faz spektrumlarından hesaplanarak P ve SV-tipi dalgaların ayırımı için kullanılır. Bu yöntemin önemi elastik dalgaların polarizasyon özelliklerinin belirlenmesi ve buna dayalı frekans ortamı polarizasyon süzgeçlerinin temel yaklaşımını yapmış olmasıdır.

Elastik dalgaların polarizasyon özelliklerinin ve polarizasyon süzgeçlerinin başlangıcı olarak kabul edilen çalışma Flinn [5] tarafından yapılmıştır. Belirlenen bir zaman penceresi içerisindeki yer hareketine en küçük kareler anlamında en uygun elipsoidin tanımlanması ilk kez bu çalışmada yapılmıştır. Zaman penceresi için elde edilen kovaryans matrisinin özdeğer ve özvektörlerinden doğrusallık ve yön hesaplanarak ilk zaman ortamı polarizasyon süzgeci düzenlenmiştir. Bu yöntemin ayrıntıları Bölüm 4' de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

Temel araştırmalardan birtanesi de Archanbeau ve Flinn'in [6] çalışmasıdır. Bu çalışmada REMODE (Rectilinear Motion Detector) süzgeçleri olarak bilinen, sismik dalgaların polarizasyon özelliklerine dayalı süzgeçlemenin temel çalışmasıdır. REMODE süzgecini frekans ortamında düzenleyerek polarizasyon niteliklerinin frekans ortamında elde edilmesinin temel ilişkilerini de vermişlerdir.

Kanasewich ve Montalbeti [7], ilk olarak Flinn [5] tarafından düzenlenen zaman ortamı polarizasyon süzgeçlerine bazı iyileştirmeler getirerek yeniden düzenlemişlerdir. Burada yapılan değişiklikler, yöntemin özünü oluşturan doğrusallık ve yön parametrelerinin hesabına ilişkin değil, yalnızca bu parametrelerden elde edilen süzgeç fonksiyonunun hesaplanmasına ilişkindir. Bu çalışma da Bölüm 3 da ayrıntılı olarak verilmiştir. Kanasewich ve Montalbeti'nin [7] bu çalışması faz ayırımında dalgaların polarizasyon özelliklerinin ne kadar başarılı olabileceğini iyi bir şekilde ortaya koymuştur. Bu nedenle pek çok araştırmada uzak alan cisim dalgası fazlarının belirlenmesinde uygulama alanı bulmuştur. Örneğin Dainty ve diğ. [8] Ay'ın iç yapısının sismik araştırmada Ay yüzeyine yerleştirilen sismografların kayıtlarında faz ayırımı için zaman ortamı polarizasyon süzgeçlerinden yararlanmışlardır. Bu

çalışmadan sonra gerek zaman ortamı gerekse frekans ortamı polarizasyon süzgeçlemesi veya bunların temel yaklaşımına dayalı değişik uygulaması gibi değerlendirilebilecek çok sayıda çalışma ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada ayrıntılı olarak incelenen ve bir çok hesaplamada temel alınan çalışma Bataille ve Chiu [9] tarafından yapılan çalışmadır. Bataille ve Chiu tarafından yapılan çalışmanın önemi, polarizasyon analizi ve süzgecinin yüksek frekanslı sismik verilerde başarı ile uygulanışının iyi bir örneğini oluşturmasıdır. Burada düzenlenen zaman ortamı polarizasyon süzgecinde, öz yine aynı olmak üzere, doğrusallığın biraz daha farklı hesaplanması ve süzgeç fonksiyonundaki farklılıktır. Bu çalışmada yöntem önce yapay verilerde test edilmiş daha sonra yakın alan deprem verilerine uygulanarak, özellikle kabuksal faz dönüşümlerinin belirlenmesinde kullanılabileceği gösterilmiştir.

Modern sismografların oldukça gelişerek yaygınlaştığı günümüzde sismik dalgaların polarizasyonlarına dayalı analiz ve süzgeçleme teknikleri oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Artık pek çok ülkede kayıtlar doğrudan sayısal olarak alınmakta, bu da sismogramların geçmişe göre çok daha ayrıntılı incelenebilmelerine olanak sağlamaktadır. Sismogramların sayısallaştırılması ve bundan doğabilecek hataların ortadan kalkması nedeniyle polarizasyona dayalı işlemler çok rahat uygulanabilmektedir. Bu uygulamalar bir istasyondaki üç bileşen kayıtlarına olabildiği gibi, çok istasyon üç bileşen kayıtları veya yöntem amaca uygun düzenlenerek, çok istasyon tek bileşen kayıtlarına uygulanabilmektedir. Örneğin Cichowicz [10] polarizasyon özelliklerine dayalı olarak S-fazlarının otomatik belirlenebileceği bir yöntem geliştirmiştir. Jurkewich [11] üç bileşen sismolojik istasyon dizinlerinde polarizasyon çözümlemesi, Jepsen ve Kennet [12] bölgesel sismogramların üç bileşen analizlerinin yaparak, sismolojik istasyon dizinlerinde sismik fazların azimut ve yavaşlıklarını (slowness) incelemiştir. Yine Crampin ve McGonigle [13], Ingate, ve diğ [14] ve Der, ve diğ [15] tarafından yapılan çalışmalar sismik dalgaların polarizasyon özelliklerinin değişik uygulamalarının ilginç örneklerindedir.



## 2. POLARİZASYON ÖZELLİKLERİ

### 2.1. Tanecik Hareketleri

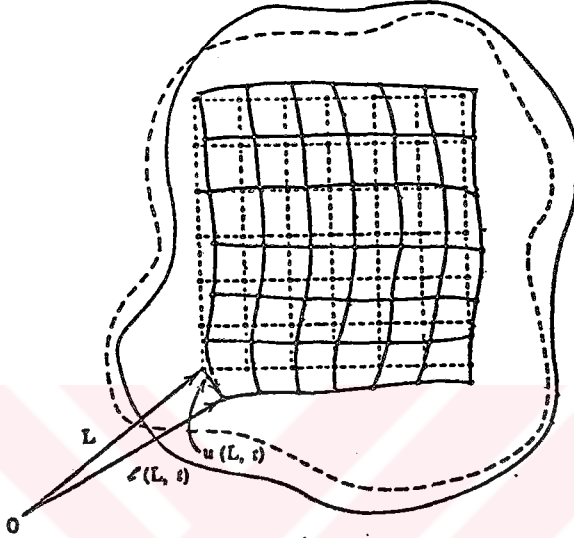
Bütün maddeler denge konumlarında titreşen atomlardan oluşur. Bu atomik düzeyde pek çok farklı titreşim şekilleri olabilir. Sismoloji, atomların bu tür hareketleri ile ilgilenmez. Sismoloji, çok sayıda atomun oluşturduğu taneciklerin hareketleri ile ilgilenir. Her bir tanecik içerisindeki atomların hareketleri birbirleriyle uyum içerisinde. Sismoloji, gözle görülebilir büyüklükteki olaylarla yani, ortamın mikroskopik seviyesi ile yalnızca ortamın gözlenebilir özelliklerini etkileyecek boyuttakilerine kadar ilgilidir.

Bir ortamın tanecikleri, denge konumlarından yerdeğiştirdiklerinde dengeleyici iç kuvvetler doğar. Bunlar, tanecikler arasındaki elastik dengeleme kuvvetleridir ve ortamın titreşim hareketi yapmasına yol açarlar. Yayılan dalgalar veya lokal titreşimler şeklinde olabilen bu titreşimlerin matematik tanımını veren formülasyonun yapılabilmesi için önce tanecik yerdeğiştirmesi (particle displacement), materyal deformasyonu (material deformation) ve iç dengeleyici (onarıcı) kuvvetlerin (internal restoring forces) nicel tanımlamaları yapılmalıdır [16]. Deformasyona uğrayan bir ortamdaki materyal taneciklerinin yerdeğiştirmeleri Şekil 1'de verilen çizimle gösterilebilir. Seçilen taneciklerin oluşturduğu düzgün ağı denge konumları dolu noktalarla, ve aynı taneciklerin yerdeğiştirmiş konumları küçük dairelerle gösterilmiştir. Her bir taneciğin, bir O orijin noktasından olan uzaklığı, denge konumu için  $L$ -vektörü ile, yer değiştirmiş konumu için  $\ell(L,t)$  vektörüyle gösterilsin. Yer değiştirmiş konum vektörü  $\ell$ , zaman değişken bir niceliktir ve aynı zamanda  $L$  vektörünün de bir fonksiyonu olarak görülür. Denge (veya referans) konum vektörü  $L$ , tanecik için yalnızca tanımlayıcı bir etiket olarak kullanılmıştır. Hem  $L$ , hem de  $\ell$  sürekli değişkenlerdir ve Şekil 1'de görülen ayrık değerlerle sınırlı değildir.

Denge durumundaki  $L$ 'de yer alan tanecik yerdeğiştirmesi, Şekil 1'e göre şu şekilde tanımlanır [16];

$$u(L,t) = \ell(L,t) - L \quad (1)$$

Tanecik yerdeğiştirme alanı  $u$ , bir ortamdaki bütün taneciklerin titreşim hareketlerini tanımlayan sürekli bir değişkendir. Eğer bir titreşim, tek bir frekansa ( $\omega$ ) sahip, zamanın sinüzoidal bir fonksiyonu ise, her bir tanecik için üç olası tanecik hareket şekli söz konusudur.



Şekil 1. Bir katı cismin denge ve deformatsiyona uğramış tanecik pozisyonları [16].

Tanecik düz bir yol boyunca yer deęiřtirebilir. Bu durumda yerdeğiştirme;

$$u(L,t)=A(L)\text{Sin}\omega t \quad (2)$$

şeklinde tanımlanır [16]. Bu '*doğrusal polarize olmuş*' tanecik hareketi olarak adlandırılır (Şekil.2.a). Eğer tanecik, aynı zamanlı, aralarında  $90^\circ$  zaman fazlı ve birbirlerine dik polarize olmuş iki doğrusal hareket yaparsa (Şekil 2.b), yerdeğiştirme alanı

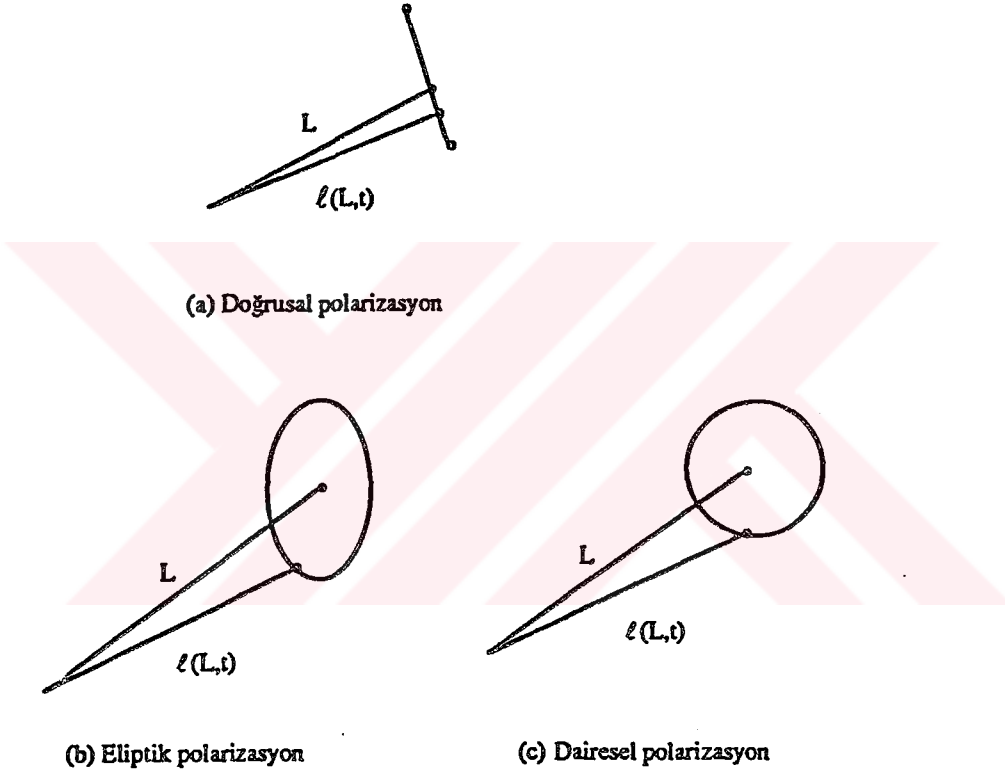
$$u(L,t)=A(L)\text{Sin}\omega t+B(L)\text{Cos}\omega t \quad (3)$$

şeklinde tanımlanır [16]. Bu durumda tanecik denge konumunun çevresinde eliptik bir yol izler;

$$u(L,t)=\left\{A^2(L)\text{Sin}^2\omega t+B^2(L)\text{Cos}^2\omega t\right\}^{1/2} \quad (4)$$

ve bu yerdeğiştirmeye '*eliptik polarize olmuş*' denir. Özel bir durum olarak (4) bağıntısında  $A=B$  olur ise tanecik yörüngesi daireseldir (Şekil 2c). Buna '*dairesel polarize olmuş*' yerdeğiştirme denir [16].

Tanecik hareket diyagramları istasyondaki büyük daire boyunca ve buna dik yatay ve düşey bileşenler için elde edilir. Bu iki yatay bileşen, düşey bileşenle birlikte üç tanecik hareket diyagramı oluştururlar. Elastik dalgaların polarizasyon şekilleri bu üç tanecik hareket diyagramından belirlenir. Örneğin P-dalgası tanecik hareketi diyagramı, bu dalganın yayınım özelliği gereği olarak, yayınım doğrultusu boyunca, yani geliş doğrultusunda yer alır. Bundan yararlanarak P-dalgalarının görünür geliş açıları belirlenir. Bir başka örnek olarak NS-EW tanecik hareket diyagramı çizilecek olursa tanecik hareketinin uzun eksenin



Şekil 2. Tanecik hareketinin doğrusal, eliptik ve dairesel polarizasyon şekilleri [16].

kuzeyle doğuya doğru yaptığı açı gelen dalganın azimut açısını verir. Tanecik hareket diyagramlarından dalga fazlarının tanınması ve bunların başlangıç zamanlarının belirlenmesinde de yararlanır. Örneğin kabuksal seviyelerdeki  $P \rightarrow SV$  dönüşmüş fazları doğrudan gelen P-fazının hemen arkasında bu dalga şeklinin son kısımlarında yer alabilir. Bu durumda geliş doğrultusu boyunca P-dalgası tanecik hareketi içerisinde buna dik bir başka hareket olarak SV-dalgası yer alacaktır. Çünkü SV dalgası Z-R düzlemde yayınım doğrultusuna dik bir tanecik hareketine sahiptir. Görüleceği üzere, tanecik hareketlerinin bu şekilde doğrudan çizimlerinden yararlanılabildiği gibi, bunlar polarizasyon süzgeçlerinin temelini oluştururlar.

## 2.2. Cisim Dalgalarının Polarizasyonu

Cisim dalgalarının polarizasyonlarına ilişkin bilgiler Brune ve Oliver [1]'den özetlenerek alınmıştır. Cisim dalgalarının polarizasyonu tanecik hareket diyagramlarından elde edilir. Dalga yayının yörüngesini içine alan ve titreşimlerin yer aldığı düzlem 'titreşim düzlemi' olarak adlandırılır. Titreşim açısı ise yayının düşey düzlemi ile titreşim düzlemi arasında kalan açı olarak tanımlanır. S-dalgaları için titreşim açısı;

$$\tan \delta = \frac{U_{SH}}{U_{SV}} \quad (5)$$

şeklinde tanımlanır [18]. Burada  $U_{SH}$  ve  $U_{SV}$ , SH ve SV dalgalarının genlikleridir.

### 2.2.1. P-Dalgası Polarizasyonu

P-dalgalarının bileşenleri arasında faz farkı olmadığından daima doğrusal olarak polarize olurlar. Sismogramlarda P-dalgasının yüzeydeki titreşimi gerçekte üç dalga nedeniyle oluşan hareketin sonucudur. Bunlar gelen P-dalgası ve yeryüzünde yansımının oluşturduğu P ve SV dalgalarıdır.

Düzlem dalga ve düzlem serbest yüzey kabulleriyle yola çıkılırsa sonuç tanecik hareketinin doğrusal olacağı kolayca bulunur ve tanecik hareketi P-dalgasının geliş düzleminde yer alır. Bununla beraber sonuç tanecik hareketi genelde P-ışın doğrultusunda uzanmaz. Bu sonuç hareket ile yüzeyin normali arasında kalan açığa 'görünür geliş açısı ( $\bar{i}_0$ )' denir.  $\bar{i}_0$  ile gerçek geliş açısı ( $i_0$ ) arasında şu ilişki vardır [19];

$$i_0 = \text{Arcsin} \sqrt{\left(1 - \cos \bar{i}_0\right) \frac{a_0^2}{2b_0^2}} \quad (6)$$

Burada  $a_0$  ve  $b_0$  serbest yüzeydeki P ve S dalga hızlarıdır.

Görünür geliş açısı:  $\bar{i}_0$  sismogramlardan doğrudan elde edilebilir.

$$\bar{i}_0 = \text{Arctan}(U_R/U_Z) \quad (7)$$

burada  $U_R$  ve  $U_Z$  gelen P-dalgası nedeniyle oluşan yer hareketinin yatay (radyal) ve düşey bileşenleridir. Serbest yüzeydeki P dalga hızının  $a_0$ , bilinmesi halinde verilen bir episantr

uzaklığı için gerçek geliş açısının beklenen değeri P-dalgası yayılma zamanı eğrilerinden

$$dt/d\Delta = (r_0/a_0) \sin i_0 \quad (8)$$

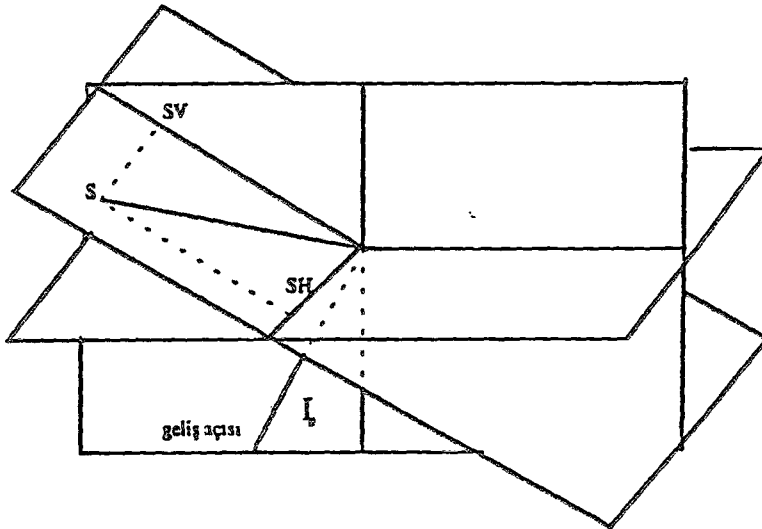
ilişkisiyle bulunabilir [19]. Burada  $r_0$  yerin yarıçapı,  $dt/d\Delta$  ışın parametresidir.

### 2.2.2. S-Dalgası Polarizasyonu

S-dalgalarının polarizasyon değişimi P-dalgalarınınkine göre daha karmaşıktır. Gelen S dalgası tanecik hareket diyagramı hesaplamaları için SH ve SV bileşenlerine ayrılır. Gözönüne alınan tanecik hareketi bu bileşenlerin herbiri nedeniyle oluşan tanecik hareketidir. S-dalgasının yansıma ve kırılmasını veren denklemlerde SH ve SV farklı davranışlar gösterdiklerinden dolayı ayrı ayrı ele alınırlar. Fakat tanecik hareketi bu bileşenlerin ortak davranışları sonucudur ve bir bütün olarak SV ve SH, S-dalgaları polarizasyonu için gereklidir. Gelen bir S-dalgasının SH ve SV bileşenlerinin genlikleri  $U_{SH}$  ve  $U_{SV}$ , anlık tanecik yerdeğiştirme bileşenleri  $u_{SH}$  ve  $u_{SV}$  olsun. Episantrdan istasyona doğru bakıldığında  $u_{SH}$  ışın yolunun sağına doğru pozitif ve  $u_{SV}$  geliş düzleminde ışın yolundan yukarı doğru pozitif kabul edilir. Buna göre polarizasyon açısı,  $\epsilon$

$$\epsilon = \tan^{-1}(u_{SH}/u_{SV}) = \tan^{-1}(U_{SH}/U_{SV}) \quad (9)$$

olarak tanımlanır [20]. Polarizasyon açısı 0 -360 arasında değişir.



Şekil 3.  $I_0$  açısıyla bir ara yüzeye gelen S dalgasının SH ve SV bileşenleri (21).

### 2.2.2.1. SH-Dalgası Polarizasyonu

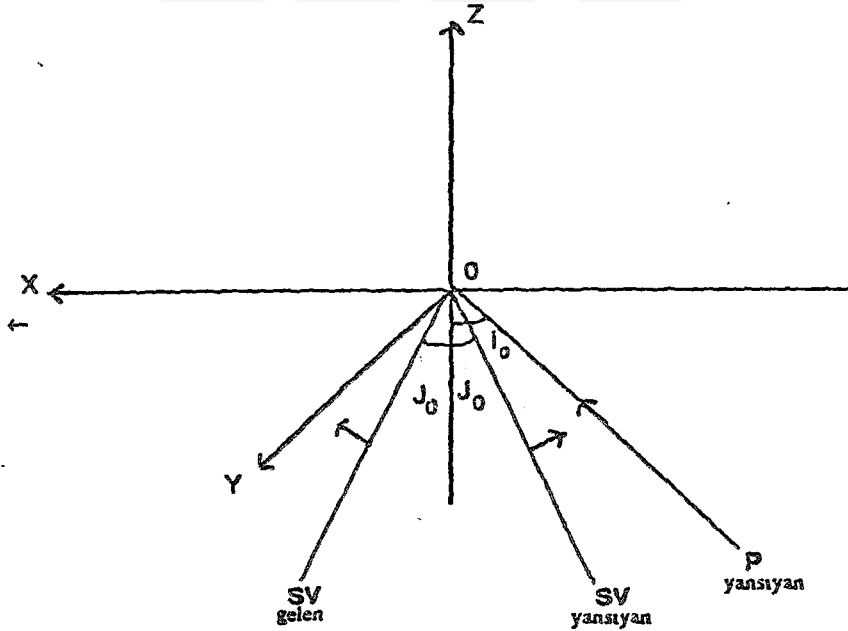
Gelen dalganın tanecik hareketi yatay ve geliş düzlemine diktir. Sınırda, yalnızca bir yansıyan SH dalgası oluşur. Gelen ve yansıyan dalgaların SH bileşenleri nedeniyle oluşan tanecik yerdeğiştirmeleri genlik olarak eşit ve tüm geliş açıları için aynı fazlıdır. Bu nedenle gelen SH bileşeni nedeniyle oluşan yüzey tanecik hareketi

$$u_{SH} = 2U_{SH} \cos \omega t \quad (10)$$

şeklinde verilebilir [20].

### 2.2.2.2. SV-Dalgası Polarizasyonu

Şimdi gelen SV dalgası durumunu göz önüne alalım. Tanecik hareketi ışın yörtünesine diktir. Fakat geliş düzleminde yer alır. Bu nedenle sınırda yansıyan SV ve P dalgaları oluşur, yüzey hareketi, yansıyan dalgalar ve gelen dalga nedeniyle oluşan sonuç hareketidir. Gelen ve yansıyan dalgaların faz ve genlikleri arasındaki ilişki, dalga denkleminin düzlem harmonik çözümlerine sınır koşullarının uygulanması ile elde edilir.



Şekil 4. Gelen ve yansıyan SV dalgası ile yansıyan P dalgası için tanecik yerdeğiştirmeleri ve ışın yolları [18].

S-dalgası polarizasyonunun doğrusal olduğu uzaklıklar için beklenen polarizasyon açısının belirlenmesi P dalgalarınıninki ile benzerdir. Gerçek geliş açısı

$$\frac{dt}{d\Delta} = \left( \frac{r_0}{b_0} \right) \sin j_0 \quad (11)$$

ilişkisi ile yayılma zamanı eğrilerinden elde edilebilir [17]. Görünür geliş açısı

$$\bar{J}_0 = \tan^{-1}(u_z/u_R) \quad (12)$$

bağıntısı ile ve görünür ve gerçek geliş açısı arasındaki ilişki,

$$\bar{J}_0 = \tan^{-1} \left[ 2(C^2 - \sin^2 j_0)^{1/2} \sin j_0 / \cos 2j_0 \right] \quad (13)$$

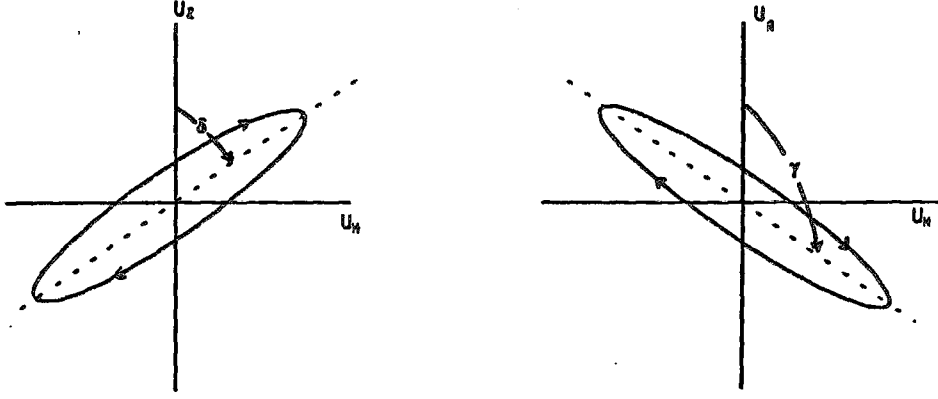
olarak verilir [20].

Haskel [22],[23] S-dalgası yüzey karakterinin faz ve genliklerinin yer modeli parametrelerine ve geliş açısına bağlı olduğu kadar, frekansa da bağlı olduğunu göstermiştir. Yarı sonsuz ortam üzerindeki tek tabakalı yer modeli için yapılan sayısal hesaplamalardan, yatay yüzey hareketinin radyal ve enine bileşenleri arasındaki faz farkı genlik oranlarının  $C(\alpha_m)$  için dalga frekansı ile önemli ölçüde değişmediği görülmüştür. Burada C; yüzey faz hızı,  $\alpha_m$  ise mantodaki P dalga hızıdır. Bununla beraber  $\alpha_1$  kabuksal P dalga hızı olmak üzere  $\alpha_1(C(\alpha_m)$  için yüzey hareketinin radyal bileşeninin frekansa bağlı olarak genlik ve fazının oldukça büyük ve ani düzensiz değiştiği bulunmuştur.  $\alpha_1(C(\alpha_m)$  için olan uzaklıklarda tanecik yörüngesinin yatay izdüşümünün olasılıkla tamamen düzensiz değişebileceği ve yorumun güç olacağı sonucuna varmıştır.  $C(\alpha_m)$  için değişim tamamen doğrusal ve frekanstan tamamen bağımsızdır. Bütün bu bilgilere dayalı olarak polarizasyonun ve dolayısıyla yüzey tanecik hareket diyagramlarının  $51^\circ$  den büyük episantr uzaklıklarında doğrusal olacağı söylenebilir. Yine  $\approx 41^\circ$  den küçük uzaklıklar için polarizasyon eliptiktir.  $41^\circ$ - $51^\circ$  'lik episantr uzaklıkları arasında değişimler düzensizdir.

Polarizasyonun eliptik olduğu  $C(\alpha_m)$  episantr uzaklıkları için polarizasyon açısının elde edilmesi doğrusal polarizasyona göre biraz daha güçtür. Çünkü yüzey yer değiştirmelerinin  $u_H/u_R$  ve  $u_H/u_V$  oranları, polarizasyonun eliptik olması nedeniyle doğrudan ölçülemez.



Nutli [20], eliptik polarizasyon durumu için basit bir yöntem geliştirmiştir.  $U_H - U_R$  diyagramında elipsin uzun ekseninin  $U_R$  eksenine yaptığı açı  $\gamma$ ,  $U_H - U_Z$  diyagramlarında elipsin uzun eksenini ile  $U_Z$  arasındaki açı  $\delta$  olarak tanımlandığında polarizasyon açısı  $\epsilon$ ,



Şekil 5. Tanecik hareket diyagramlarında  $\gamma$  ve  $\delta$  açıları [20].

$$\tan \epsilon = F_h \tan \gamma$$

$$\tan \epsilon = F_v \tan \delta$$

(14)

bağıntılarında kolayca hesaplanabilir. Burada  $F_h$  ve  $F_v$  yer modeline, frekansa ve geliş açısına bağlı sabitlerdir. Yani  $F_h$  ve  $F_v$ 'nin değerleri farklı yer modelleri için farklı olacaktır. Nutli [20] dört farklı yer modeli için  $F_h$  ve  $F_v$  sabitlerinin sayısal değerlerini hesaplayarak grafiklerini vermiştir.

### 3. POLARİZASYON ANALİZİ

#### 3.1. Yöntem

Sismik dalgaların polarizasyon özelliklerini belirlemek için ele alınan yöntem, bir zaman ortamı yöntemidir. Çevresel gürültüleri gidermek amacıyla sismogramlar (3-bileşen) önce band geçişli süzülür. Sonra, kaydırılan zaman pencereleri için hesaplanan kovaryans matrisinden yararlanılarak dalgaların polarizasyon özellikleri hesaplanır.

Boyu  $N\Delta t$  olan bir pencere içerisindeki  $N$  adet sıfır ortalamaya sahip verinin kovaryansları;

$$S_{j,k} = (\mathbf{X}\mathbf{X}^T) / N \left[ (1/N) \sum_{i=1}^N X_{ij} X_{ik} \right] \quad (15)$$

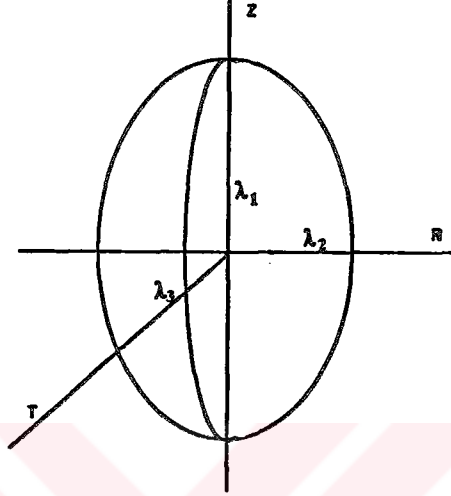
bağıntısıyla hesaplanır [9]. Burada  $X_{ij}$ ,  $j$ -bileşenin  $i$ 'nci elemanı;  $N$ , örnek sayısı;  $T$ , transpozeyi gösterir. Bu şekilde elde edilen  $3 \times 3$  boyutundaki kovaryans matrisi gerçel ve simetriktir. Kovaryans matrisinin katsayıları hareketin üç bileşeninin varyansları ve kovaryanslarıdır.

$$S = \begin{bmatrix} S_{zz} & S_{zn} & S_{ze} \\ S_{zn} & S_{nn} & S_{ne} \\ S_{ze} & S_{ne} & S_{ee} \end{bmatrix} \quad (16)$$

Köşegen değerleri düşey (Z), kuzey-güney (N) ve doğu-batı (E) bileşenlerin varyansları, köşegen dışı değerler ise Z-N, Z-E, N-E, bileşenlerin kovaryanslarıdır ve bunlar asal eksene göre simetriktir. Kovaryans matrisinin özdeğerleri bir elipsoidi tanımlar ve özvektörler ise bu elipsoidin eksenlerinin uzay koordinatlarıdır. Polarizasyon elipsinin asal eksenleri özdeğerlerden, polarizasyonun yönü ise en büyük ana eksenin özvektörleri yardımıyla bulunabilir. Çünkü bu elipsoid en küçük kareler anlamında zaman penceresi içerisindeki veriye en uygun elipsoiddir [5].

Özdeğerler büyükten küçüğe doğru  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  ve  $\lambda_3$  olarak alınır. Tamamen doğrusal polarizasyon durumunda yalnızca bir özdeğer ( $\lambda_1 \neq 0$ ,  $\lambda_2 = \lambda_3 = 0$ ) sıfırdan farklıdır. Eliptik polarizasyon durumunda iki özdeğer sıfırdan farklı olur ( $\lambda_1 \geq \lambda_2 > 0$ ,  $\lambda_3 = 0$ ). Gerçek

uygulamalarda, genellikle, özdeğerlerin tümü sıfırdan farklı ve birbirine eşit değildir. Yani polarizasyon elipsoidiktir. Burada önce polarizasyon elipsoidinin asal eksenleri kestirilerek zaman penceresindeki verinin tanecik hareketi belirlenir. Yer hareketinin özelliklerini tanımlayan bilgiler asal eksenlerden hesaplanan nitelikler kullanılarak elde edilir.



Şekil 6. Tanecik elipsoidi

doğrusallık (rectelinearity) ilk olarak Flinn [5] tarafından

$$rect = 1 - (\lambda_2 / \lambda_1) \quad (17)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Daha sonra Kanasevich ve Montalbetti [7] ise,

$$rect = 1 - (\lambda_2 / \lambda_1)^n \quad (18)$$

ilişkisini vermişlerdir. Burada  $n$ ; üstel bir sabittir 0.5 ile 2 arasında bir değere sahiptir. En uygun  $n$ -değeri deneme yanılma yoluyla belirlenir.

Son yıllarda daha farklı iki tanımın daha kullanıldığı görülmektedir. Bunlardan birincisi Cichowicz[10]; Jurkewich [11];

$$rect = 1 - [(\lambda_2 + \lambda_3) / \lambda_1] \quad (19)$$

ikincisi Samson ve Olson [24] tarafından;

$$rect = \left[ (\lambda_1 - \lambda_2)^2 + (\lambda_1 - \lambda_3)^2 + (\lambda_2 - \lambda_3)^2 / 2(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) \right]^{1/2} \quad (20)$$

şeklinde tanımlanır. Bu çalışmada bütün bu tanımların duyarlılığı ve duraylılığı yapay veriler üzerinde test edilmiş, en son bağıntının en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Bu nedenle bu çalışmada doğrusallık 20 bağıntısı yardımıyla hesaplanmıştır. Bu bağıntıdan da görülebileceği gibi  $\lambda_1 > 0$  ve  $\lambda_2 = \lambda_3 = 0$  durumunda doğrusallık bir (1) değerini alır.

Sinyalin polarizasyon niteliklerinden biriside düzlemselliğidir. Örneğin, tam polarize olmuş Rayleigh dalgası tanecik hareketi eliptiktir ve düşey düzlemde yer alır. Düzlemsellik

$$plan = 1 - [2\lambda_3 / (\lambda_1 + \lambda_2)] \quad (21)$$

şeklinde tanımlanır [11]. Düzlemselliğin değeri doğrusallık gibi 1 ve 0 arasında değişir. Doğrusallığın 1 olması tanecik hareketinin tamamen bir doğru şeklinde olduğunu gösterir. Oysa, düzlemselliğin 1 olması kesinlikle hacimselliğin olmadığını göstermekle birlikte, doğrusal bir hareket olmadığı anlamına gelmez. Çünkü doğrusal polarizasyon gösteren bir sinyalin düzlemselliği de 1 olur. Bu nedenle düzlemselliği hacimsellekle karşılaştırmak gerekir. Yani düzlemselliği 1 olan bir sinyalin hacimselliği 0 (sıfır) demektir. Bir sinyalin doğrusallık ve düzlemsellik değerleri eliptikliğin derecesi ile orantılıdır. Polarizasyon daireselliğe yaklaştıkça doğrusallık küçülür, düzlemsellik artar.

Gelen dalganın azimutu, hareketin yatay yöneliminden elde edilebilir ve en büyük özdeğerin  $E_1$  özvektörü ile verilir [11];

$$azimut = \tan^{-1}(e_{21}/e_{31}) \quad (22)$$

Burada  $U_{ii}$  ( $i=1,2,3$ )  $E_1$  özvektörünün doğrultman kosinüsleridir.

Yine, gelen dalganın görünür geliş açısı (düşeyden)  $E_1$  özvektörünün düşey doğrultman kosinüsünden elde edilebilir [11];

$$P_{incidence} = \cos^{-1}|e_{11}| \quad (23)$$

Toplam enerji Samson ve Olson [24] tarafından

$$Ener = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 \quad (24)$$

şeklinde tanımlanmıştır.

Fazların tanınmasına yönelik olarak bunların dışında, bileşenlerdeki genlik oranları gibi değişik parametreler de kullanılabilir. Bütün bu nitelikler benzer şekilde kovaryans matrisinin özdeğerlerinden hesaplanmaktadır.

### 3.2. Yöntemin testi

Bu yöntemin temel ilkesi, kaydırılan zaman penceresi içindeki veriye en küçük kareler anlamında en uygun elipsoidin belirlenmesidir. Dolayısıyla, yöntemin duyarlılığı uygulanan zaman penceresinin boyuna ve pencerenin kaydırma miktarına bağlıdır. Bu nedenle önce bu parametrelerin seçimi için incelenecek sinyalin frekansına bağlı bir ölçüt araştırılmıştır.

Bu amaçla farklı pencere boyları ve kaydırma miktarı için yapay bir verinin polarizasyon nitelikleri (doğrusallık, düzlemsellik, azimut ve geliş açısı) hesaplanmıştır. Kullanılan yapay veri örnekleme aralığı 0.01sn, boyu 8sn olan bir zaman dizisinin 5. saniyesine yerleştirilen azimut ve geliş açısı  $30^\circ$ , periyodu 1sn olan bir sinüsten oluşmaktadır. Bileşenler arasında faz farkı oluşturulmadığından, sinyal tam bir doğrusallığa sahiptir. Bu zaman dizisi-ne bilgisayarın rasgele sayı üretme fonksiyonu kullanılarak  $S/G=20$  olan rasgele gürültü eklenmiştir. Daha sonra sinyal 0.5-10Hz ve 0.5-20Hz'lik bandlarda süzölmüş, hesaplamalar her iki süzgeçleme sonucu için de yapılmıştır. Hesaplamalarda pencere boyu sinyal periyodunun %10'undan iki katına (0.1-2sn) %10 artırılarak ve kaydırma miktarında bir örnek kaydırma-dan başlayarak pencere boyuna kadar %10 artımlarla yapılmıştır. Bu şekilde hesaplanan doğrusallık ve düzlemsellik değerleri konturlanarak Şekil 7'de verilmiştir.

Sinyal tam bir doğrusallığa sahip olduğu için, hem doğrusallığının hemde düzlemselliğinin 1(bir) olması gerekir. Ancak  $S/G$  çok yüksek de olsa eklenen gürültü nedeniyle bu parametrelerin bire çok yakın (0.9-1) olarak elde edilmesi beklenmelidir. Bu nedenle her iki parametre için de 0.9'dan küçük değerlerin elde edildiği bölgeler koyulaştırılmıştır. Yani, koyulaştırılan bölgeler %10'dan büyük hatalı değerlerin elde edildiği pencere boyu ve kaydırma miktarlarını göstermektedir (Şekil 7).

Benzer hesaplamalar azimut ve geliş açıları için de yapılmıştır. Sonuçların sunulduğu Şekil 8'de koyu bölgeler  $10^\circ$ 'den büyük sapmaların elde edildiği pencere boyu ve kaydırma miktarlarını göstermektedir. Şekil 7 ve 8'de verilen sonuçlara göre geniş pencere boylarında küçük kayma miktarı, dar pencere boylarında büyük kayma miktarı seçilmesi halinde daha duyarlı sonuçlar elde edilebileceği söylenebilir.

$S/G$  oranının etkisini görebilmek için polarizasyon nitelikleri aynı veriye farklı seviyelerde ( $S/G=1-20$ ) gürültü eklenerek hesaplanmıştır (Şekil 9). Burada veriler 0.5-20Hz arasında band-geçişli süzölmüş ve pencere boyu 0.4sn, kaydırma miktarı pencere boyunun  $1/3$ 'ü kadar alınmıştır. Şekil 9'da görüldüğü gibi, gürültüden en çok etkilenen nitelikler doğrusallık ve azimut açılarıdır. Buna rağmen tüm nitelikler yaklaşık  $S/G \geq 3$  için %90 doğrulukla elde edilebilmektedir.

Daha sonra, farklı genlik ve frekanslara sahip 5 adet sinyal içeren bir zaman dizisi için polarizasyon nitelikleri hesaplanmıştır. Zaman dizisi içerisinde yer alan sinyallere ait parametreler Tablo 1'de verildiği gibidir. Bu yapay veri için örnekleme aralığı yine 0.01sn alınmıştır. Bu veriye  $S/G=20$  ve 3 olmak üzere iki farklı oranda 0.5-5Hz ve 0.5-10Hz

arasında süzölmüş rasgele güröltü eklenmiştir. Tüm bu veriler için polarizasyon niteliklerinin hesaplanmasında pencere boyu 0.4sn, kaydırma aralığı pencere boyunun 1/3'ü alınmıştır.

Tablo 1. Polarizasyon niteliklerinin incelenmesinde kullanılan yapay izlerin içerdiği sinyallere ait parametreler.

PERYOD (sn)	FREKANS (Hz)	GENLİK (cm)	VARİŞ ZAMANI	AZİMUT AÇISI(°)	GELİŞ AÇISI(°)
1.0	1.00	0.5	1	30	50
0.8	1.25	0.6	3	30	50
0.6	1.67	0.6	5	30	50
0.4	2.50	0.8	7	30	50
0.3	3.33	1.0	9	30	50

İlk yapay verimiz, 0.5-5Hz arasında süzölmüş rasgele veri enbüyük genliğe sahip beşinci sinyale göre  $S/G=20$  alınıp zaman dizisine eklenerek elde edilmiştir (Şekil 10 en üstteki üç iz)  $S/G$  oranı enbüyük genlikli (1) ize göre alındığından diğer sinyaller için  $S/G$  oranları daha büyüktür.  $S/G$  oranı birinci iz için 10, ikinci ve üçüncü sinyaller için 12, dördüncü sinyal için 16 dır. Zaman penceresinin boyu ve kaydırma miktarı birinci sinyalin periyodu dikkate alınarak seçilmiştir. Dolayısıyla pencere boyu birinci sinyal için sinyal periyodunun %40'ı iken, ikinci sinyalin %50'si, üçüncü sinyalin %67, dördüncü sinyalin %100'ü, beşinci sinyalin %133'ü dır. Bundan dolayı incelenilen herbir örnekte farklı  $S/G$  oranları ve pencere boyları için sonuçları görmek olanaklı olabilmektedir. Seçilen 0.4sn'lik (%40'lık) pencere boyu Şekil 7 ve 8 deki test hesaplamalarına göre en uygun pencere boyudur. Bundan dolayı Şekil 10'un altındaki 5 çizimde verilen polarizasyon niteliklerine bakıldığında herbir niteliğin elde edildiği zamanlar birinci sinyalin varış zamanı ve periyodu ile tam bir uyum içerisindedir. Yani birinci sinyale ait nitelikler bu sinyalin varış zamanı olan 1.sn de başlar ve 2.sn de biter. Bu sinyal için  $S/G=10$  olduğu için sinyal süresi boyunca düzlemsellik ve özellikle doğrusallıkta hafif bir salınım vardır. Ancak sinyal başlangıç ve bitiş,  $S/G$ ' daha yüksek olan diğer sinyallerde olduğu gibi oldukça net bir şekilde belirgindir. Diğer sinyallere ait polarizasyon niteliklerinin zamanlarına bakıldığında sinyal başlangıçları doğrusallık ve düzlemsellik için artan pencere boylarına rağmen oldukça duyarlı olarak belirlenmiştir. Diğer polarizasyon nitelikleri (geliş ve azimut açıları, enerji) için sinyal başlangıçlarında kayma vardır. Kayma miktarı sinyal uzunluğuna göre pencere boyunun artışıyla doğru orantılıdır. Yani en küçük periyodlu beşinci sinyal için en büyüktür. Başlangıç zamanlarındaki bu kayma bitişler için de gözlenmektedir. Zamanlardaki bu kayma beklenen bir sonuçtur. Çünkü bir pencere için hesaplanan polarizasyon niteliği pencerenin orta noktasına yerleştirildiğinden, pencere boyu uzadıkça sinyal pencere içerisine o kadar erken girer, o kadar erken çıkar. Bu nedenle sinyal süresi pencere boyu uzadıkça uzar. Bu kadar farklı  $S/G$  oranlarına ve pencere boylarına rağmen tüm polarizasyon özelliklerinin oldukça iyi bir



şekilde belirlenmiş olması çok iyi bir sonuçtur. Örneğin azimut ve geliş açılarının her bir sinyal için tam olarak belirlenmiş olması çok çarpıcı bir sonuçtur.

Şekil 11'da yine yapay veriler ve bunlar için hesaplanan polarizasyon niteliklerinin çizimleri verilmiştir. Bu örnekteki yapay veride rasgele gürültünün frekans bandı 0.5-10Hz dir ve diğer özellikleri önceki yapay veri ile aynıdır. Bu örneğin incelenmesindeki amaç daha geniş frekans bandlı gürültüler içeren olaylar için çözümün duraylılığını görebilmektir. Nitekim sonuçlar bir önceki ile benzerdir. Tek fark sinyalin olmadığı bölgelerde rasgele gürültünün polarizasyonunun değişiminin daha yüksek frekanslı olmasıdır. Burada da tüm polarizasyon nitelikleri iyi bir şekilde belirlenmiştir. Pencere boyunun artışı kaynaklanan sinyal başlangıç ve bitiş zamanlarındaki kaymalar iyi bir şekilde gözlenebilmektedir.

Üçüncü örnek birinci örneğin S/G oranı hariç aynısıdır. Burada S/G=3 alınmıştır (Şekil 12). Burada da bu oran sonuncu sinyalin genliğine göredir. Bu nedenle S/G oranı birinci sinyal için ~1.52, ikinci ve üçüncü sinyaller için ~1.82, dördüncü sinyal için 2.42 dir. Özellikle ilk sinyaller için S/G oranı çok küçük olduğundan, Şekil 12 'den de (üstteki üç iz) görülebileceği gibi sinyaller hemen hemen gürültü arasında kaybolmaktadır. Örneğin ilk sinyal, gürültüye göre uzun periyodu ile düşey ve R bileşenlerinden tanınabilirken T bileşenlerinde tamamen gürültü içerisinde kaybolmuştur. S/G oranının bu kadar küçük olmasına rağmen polarizasyon özelliklerinin oldukça iyi bir şekilde belirlenmiş olduğu söylenebilir.

Dördüncü örnek (Şekil 13) S/G oranı hariç ikinci örnekle aynıdır. Bu örnekte de S/G oranları üçüncü örnekteki gibidir. İlk sinyal için S/G oranı çok düşük (S/G=1.52) olduğundan doğrusallık ve düzlemsellik oldukça bozuk olmasına rağmen diğer nitelikler daha iyi bir şekilde belirlenmiştir. Bu sonuç Şekil 9'da verilen S/G oranına karşı polarizasyon niteliklerinin duyarlılığının çizimleri ile uygundur. S/G≥3 için %90 duyarlılıkla belirlenebileceğini göstermektedir.

Beşinci örnekteki yapay veri (Şekil 14) dördüncü örneğin aynısıdır. Burada dördüncüden farklı olarak pencere boyu (0.4sn) ve kaydırma aralığı 1/3 yerine 0.1sn'lik pencere boyu ve %10'luk kaydırma aralığı alınmıştır. Burada pencere boyu sinyal boyuna göre oldukça küçüktür (ilk sinyal boyunun %10'u, beşinci sinyalin %33'ü kadardır). S/G oranının çok düşük olması ve özellikle seçilen pencere boyunun çok küçük olması nedeniyle sonuçlar duraysızdır. Özellikle ilk dört sinyal için elde edilen sonuçlar oldukça kötüdür. Yalnızca toplam enerjide ikinci, üçüncü ve dördüncü sinyaller fark edilebilmektedir. Buradada sonucun soldan sağa sinyaller için iyileşmesinin nedeni soldan sağa sinyal periyodlarının küçülmesindedir. Son sinyal (5) için elde edilen sonuçlar nispeten iyidir. Çünkü pencere boyu bu sinyal periyodunun %33'ü kadardır. Burada faz varışı polarizasyon niteliklerinde daha duyarlı olarak elde edilmiştir. S/G oranının biraz daha yüksek olması halinde, bu sinyal için, çok daha iyi bir sonuç elde edilebilecektir. Bu son örnek öncekilerle birlikte göz önüne alındığında pencere boyunun uzun alınmasının sonuçların daha duraylı, fakat faz varışlarının



daha belirsiz olduğunu, buna karşılık olarak pencere boyu kısa alındığında sonuçların daha duraysız varışların daha belirgin bir şekilde belirlendiği söylenebilir.

### 3.3. Gerçek Veriler

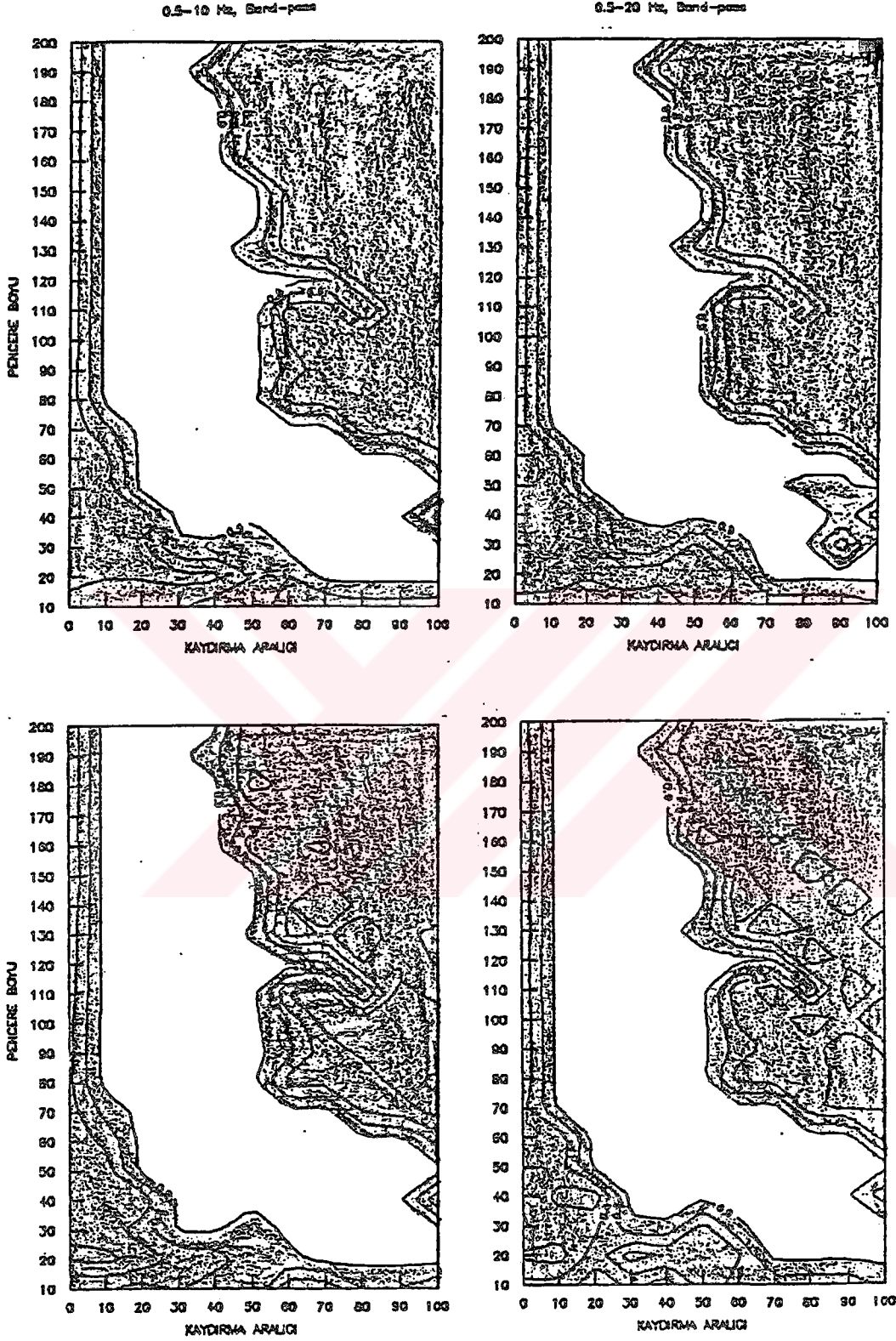
Bu çalışmada incelenen yöntemler Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi İstanbul (ISK) istasyonunda kaydedilen bir adet yakın alan ve SRO'ya (Seismological Research Observatory) ait Ankara (ANTO) istasyonunda kaydedilen bir adet uzak alan depremlerinin kayıtlarına uygulanmıştır. Bu depremlere ait parametreler Tablo 2'de verilmiştir. Kayıtlar üç bileşen ve sayısaldır. Yakın alan depremlerin örnek aralığı 0.01sn, uzak alan depremin örnek aralığı 1sn'dir. Tüm kayıtlarda bileşenler arasında büyütme farkı yoktur. Bu nedenle sismogramlara büyütme ile ilgili herhangi bir düzeltme yapılmamıştır.

Tablo 2. Gözlemsel verilerin odak parametreleri.

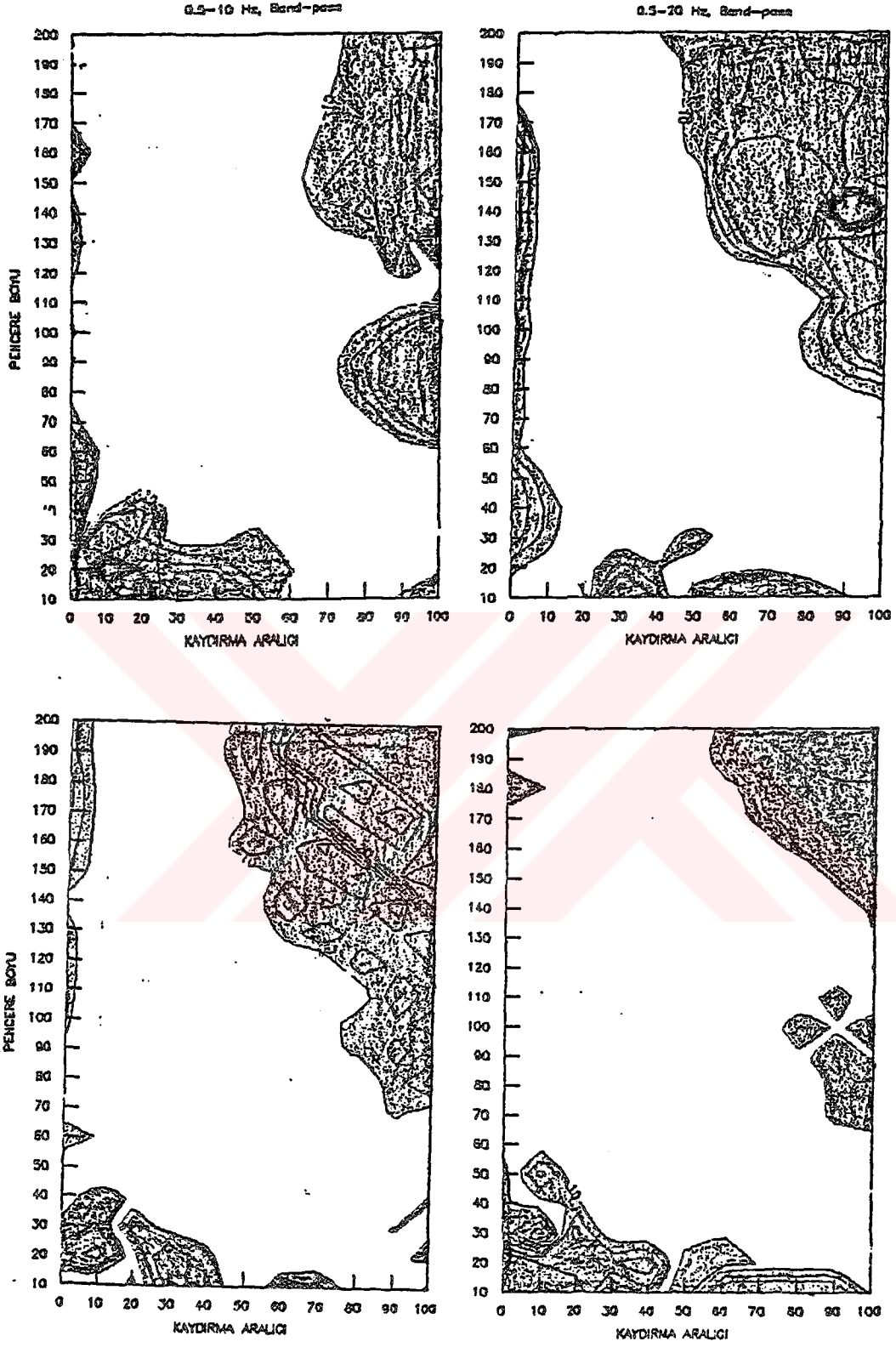
TARİH	ENLEM	BOYLAM	$\Delta$ (°)	Az(°)	Mb
23.01.1981	42.52N	142.12E	77.189	45.5	63
06.11.1989	40.46N	23.96E	0.603	181.0	33

Şekil 15'deki ilk örnek 06.11.1989 tarihli yakın alan depremine aittir. Bu depremin episantr uzaklığı 68km'dir, yani ilk varış Pg dalgasıdır. Sismogramlar önce 0.5-12Hz arasında band-geçişli süzölmüşlerdir. Polarizasyon niteliklerinin hesaplanmasında zaman penceresinin boyu 0.2sn kaydırma aralığı pencere boyunun %10'u kadar alınmıştır. Sismogramlar ve polarizasyon niteliklerinin çizimleri üzerinde Pg ve Sg fazları işaretlenmiştir. Bunların dışında belirgin birkaç faz varışı daha işaretlenmiş ancak bunlar için tanı yapılmamıştır.

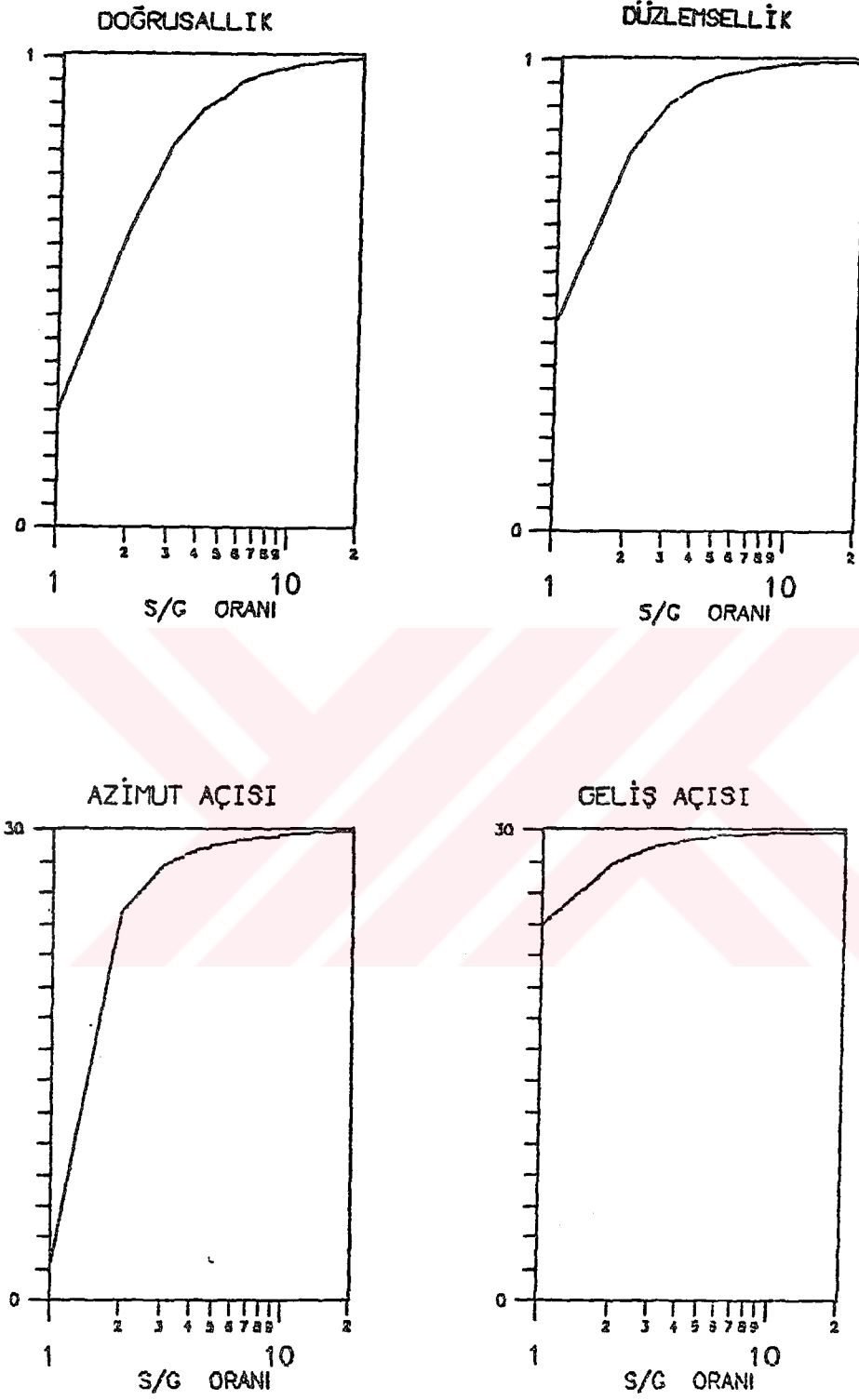
İkinci örnek olarak bir uzak alan deprem kaydı kullanılmıştır (Şekil 16). Bu örneğin episantr uzaklığı 8576km, odak derinliği 116km'dir. Polarizasyon nitelikleri 20sn uzunluklu zaman penceresi ve pencere boyunun %25 kaydırma miktarı için hesaplanmıştır. Bu kaydın yeteri kadar temiz olması nedeniyle herhangi bir frekans ortamı süzgeçleme yapılmamıştır. Bu örnek için elde edilen sonuç oldukça yeterlidir. Sismogramlar ve polarizasyon niteliklerinin çözümleri üzerinde çok sayıda faz işaretlenebilmiştir. Bu fazların bir kısmında yalnızca sismogramlardan tanıda bulunmak olanaksızdır. Bunlar için polarizasyon niteliklerinin çizimlerinden yararlanılmıştır.



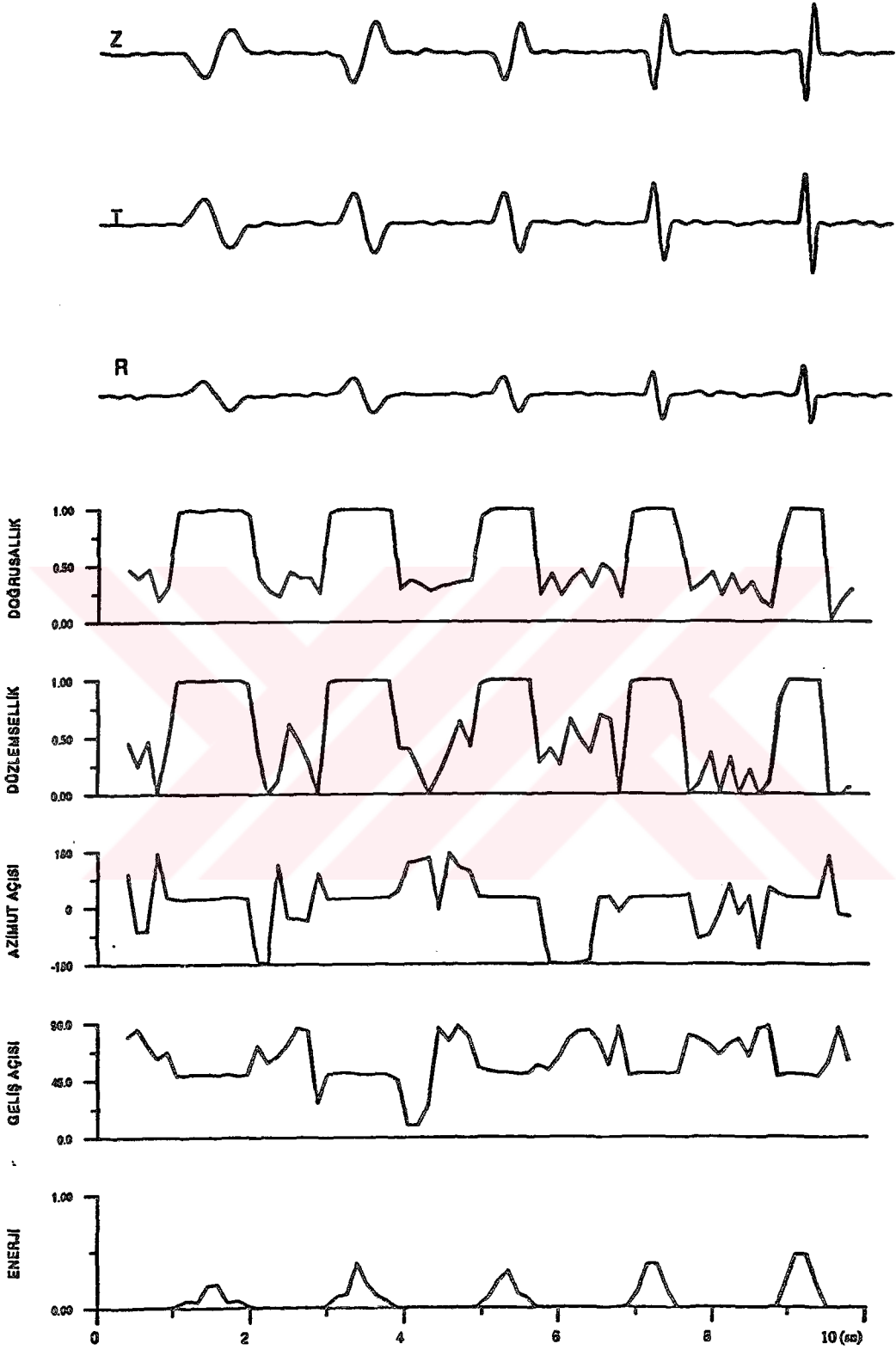
Şekil 7. Farklı kaydırma ve pencere boyları için doğrusallık (üste) ve düzensellik (altta) değerlerinin kontur haritası, koyu bölgeler %10'dan büyük hataları göstermektedir.



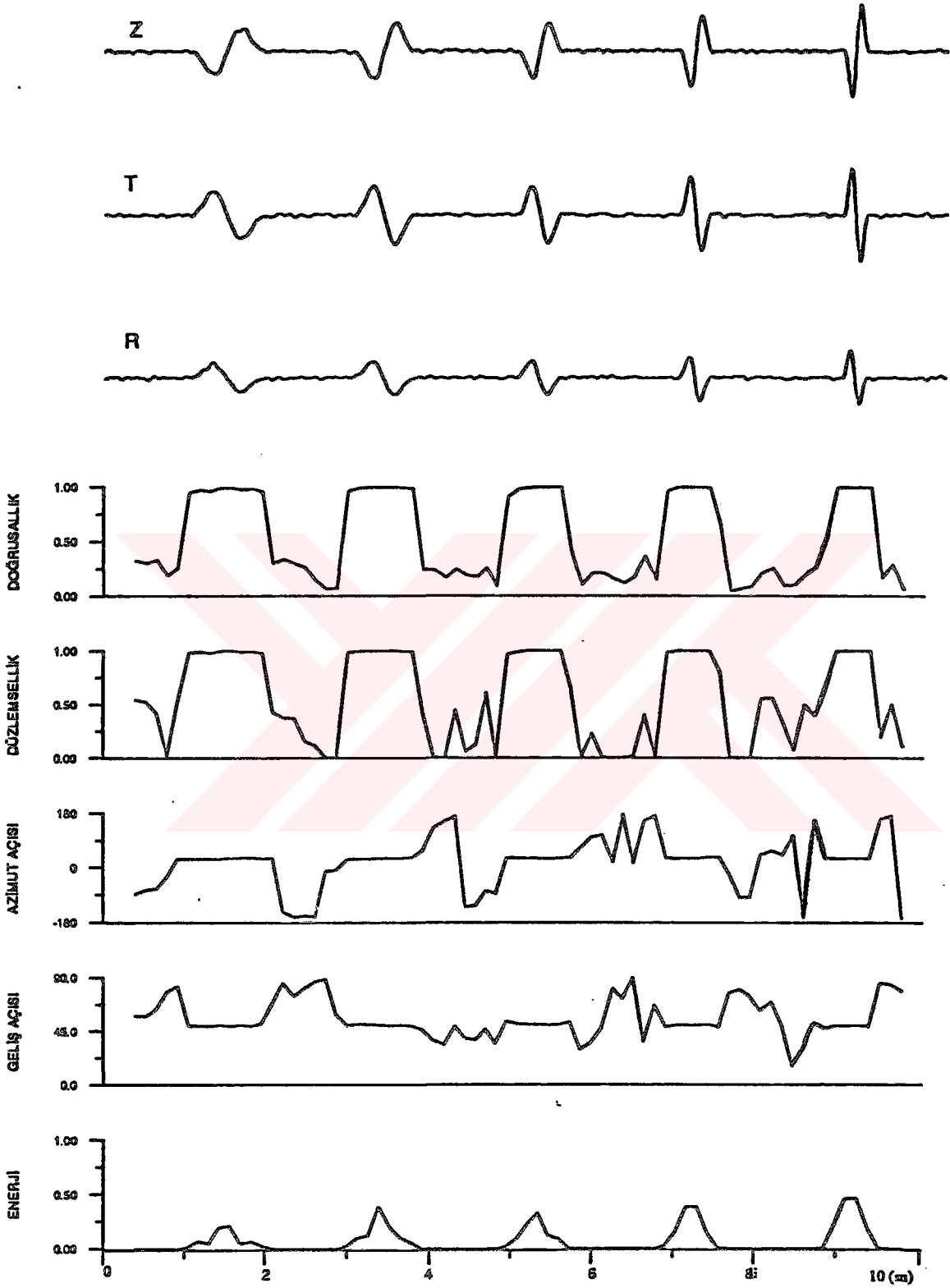
**Şekil 8** Farklı kaydırma ve pencere boyları için azimut (üstte) ve geliş açısı (altta) değerlerinin kontur haritası, koyu bölgeler hatanın  $10^\circ$  den büyük olduğu değerleri göstermektedir.



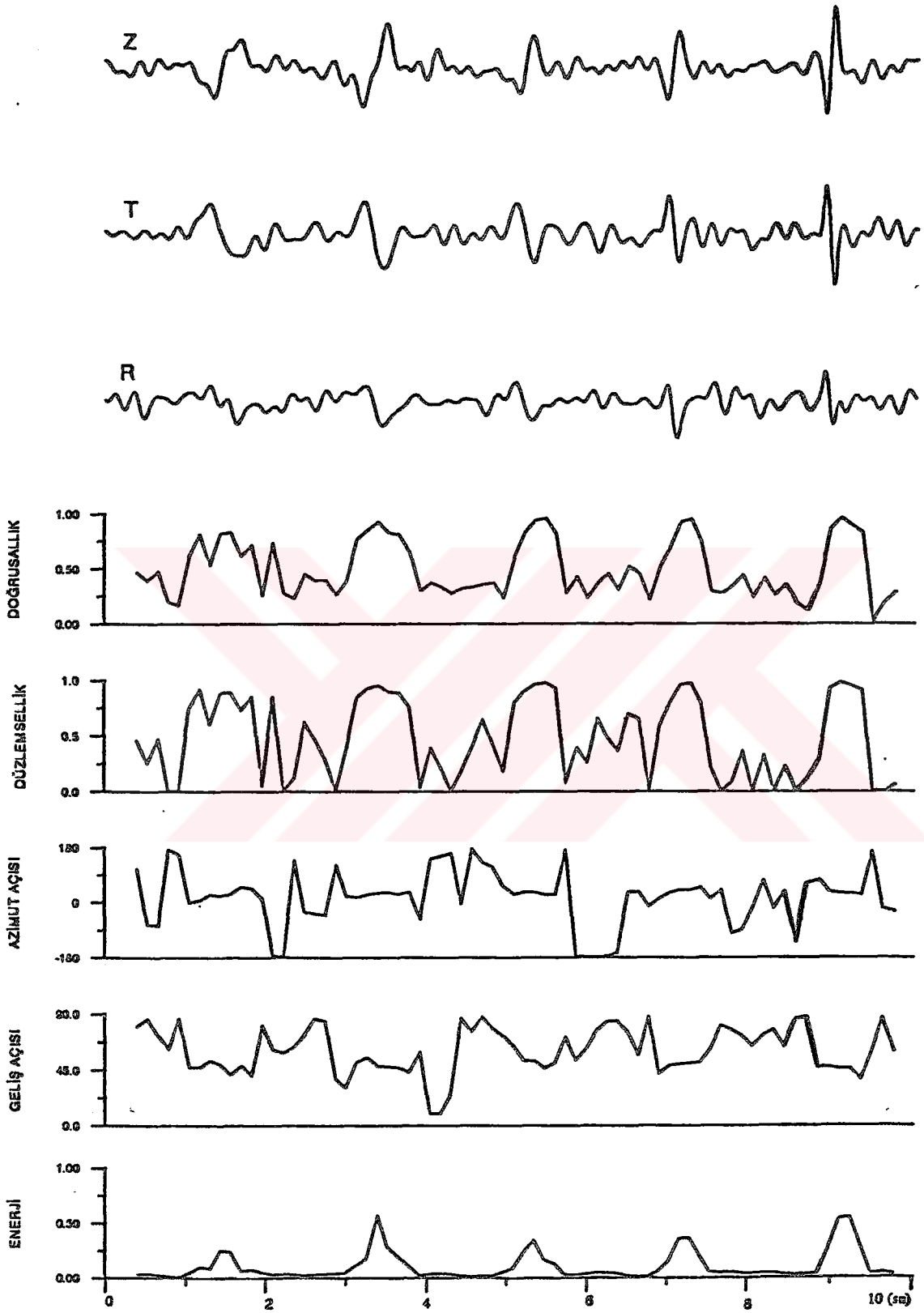
Şekil 9. Azimut ve geliş açısı  $30^\circ$  olan doğrusal polarizasyona sahip bir sinyal için S/G oranının fonksiyonu olarak polarizasyon nitelikleri.



Şekil 10. Farklı genlik ve periyodu sinüslerden oluşan üç bileşen yapay veri (üstte), 0.4sn pencere boyu ve %33 kaydırma miktarı için polarizasyon nitelikleri (altta) ( $S/G=20$ , gürültünün frekans bandı 0.5-5Hz).

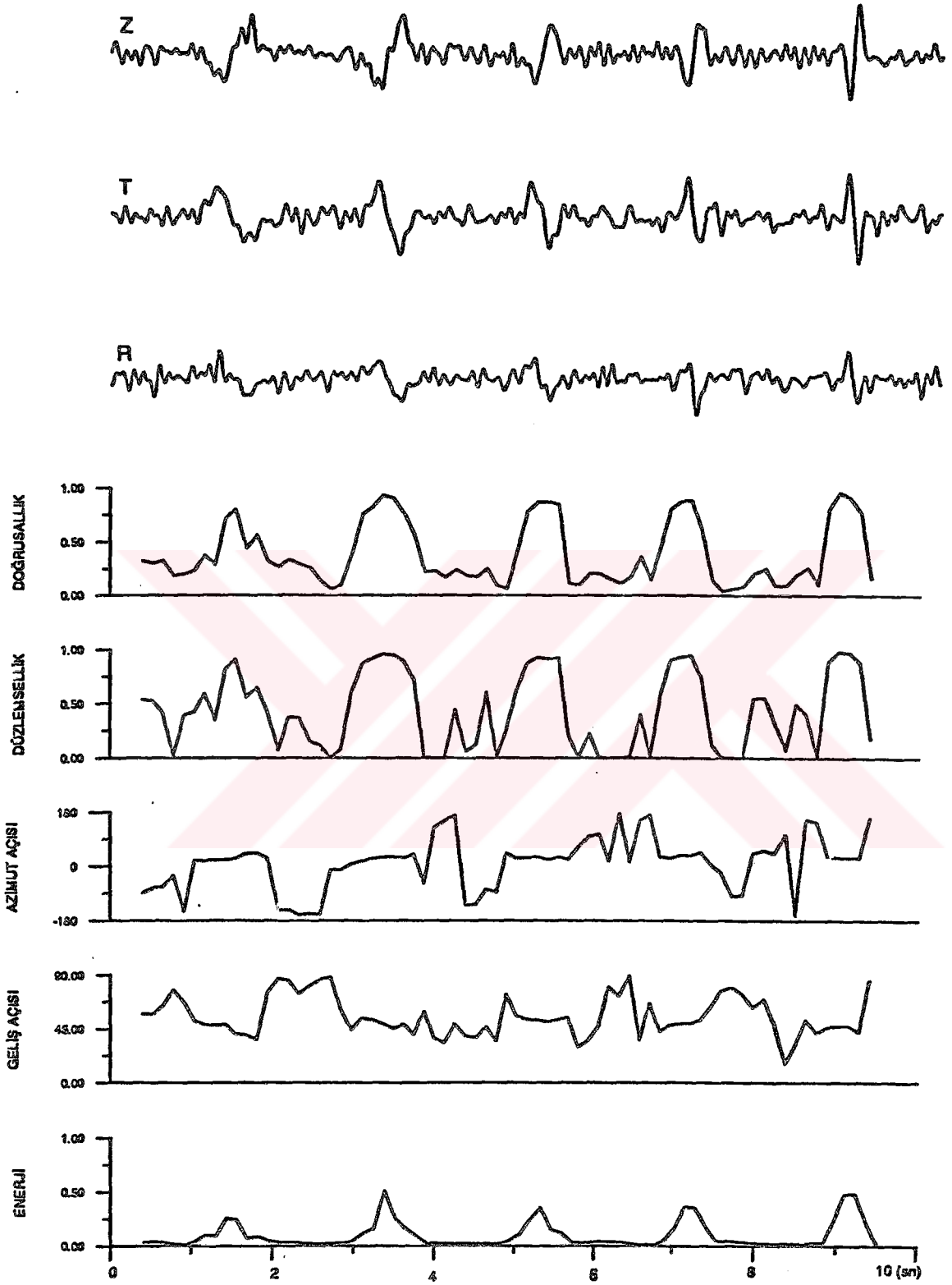


Şekil 11. Farklı genlik ve periyodlu sinüslerden oluşan üç bileşen yapay veri (üstte), 0.4sn pencere boyu ve %33 kaydırma miktarı için polarizasyon nitelikleri (altta) ( $S/G=20$ , gürültünün frekans bandı 0.5-10Hz).

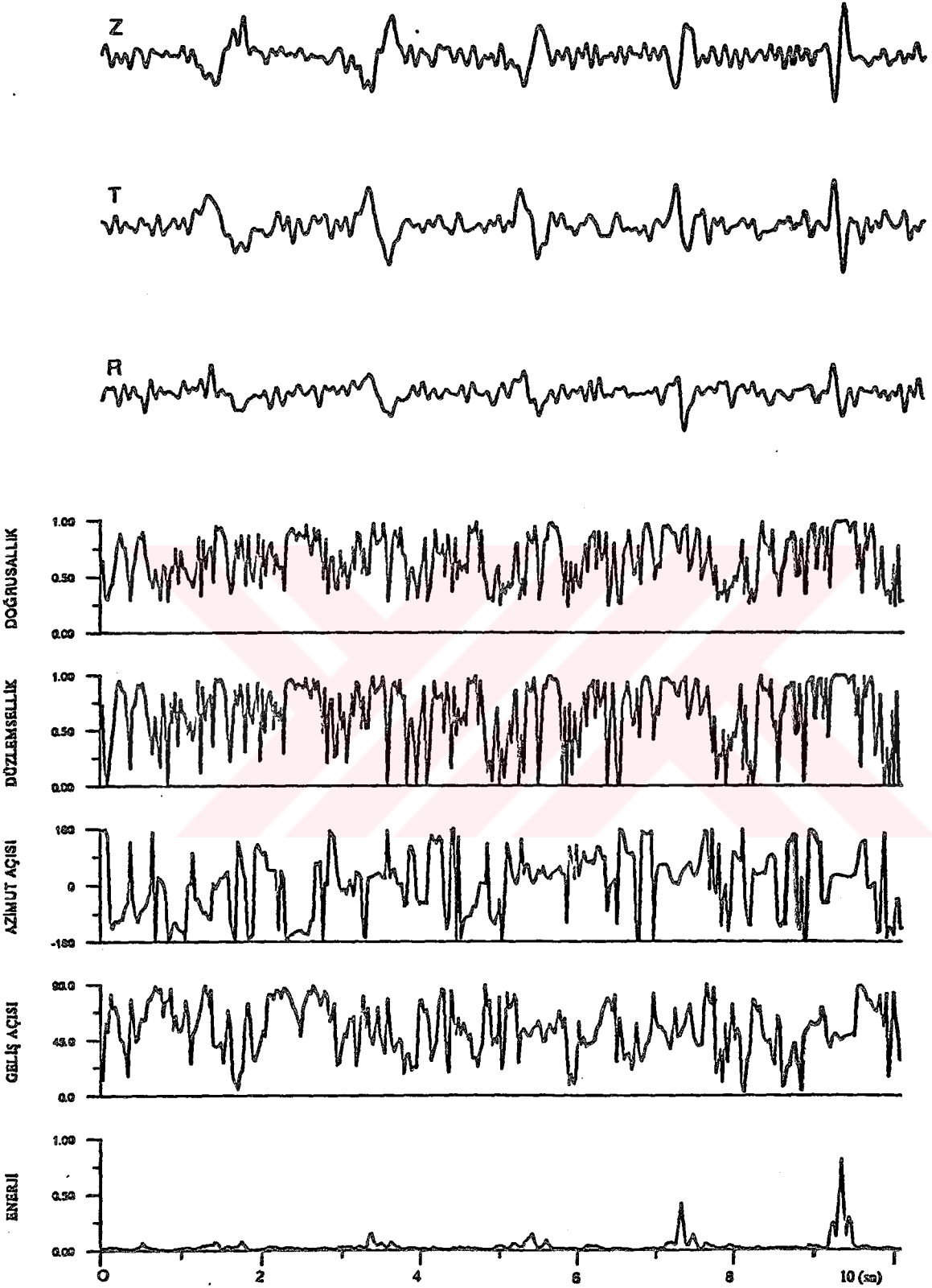


Şekil 12. Farklı genlik ve periyodu sinüslerden oluşan üç bileşen yapay veri (üstte), 0.4sn pencere boyu ve %33 kaydırma miktarı için polarizasyon nitelikleri (altta) ( $S/G=3$ , gürültünün frekans bandı 0.5-5Hz ).

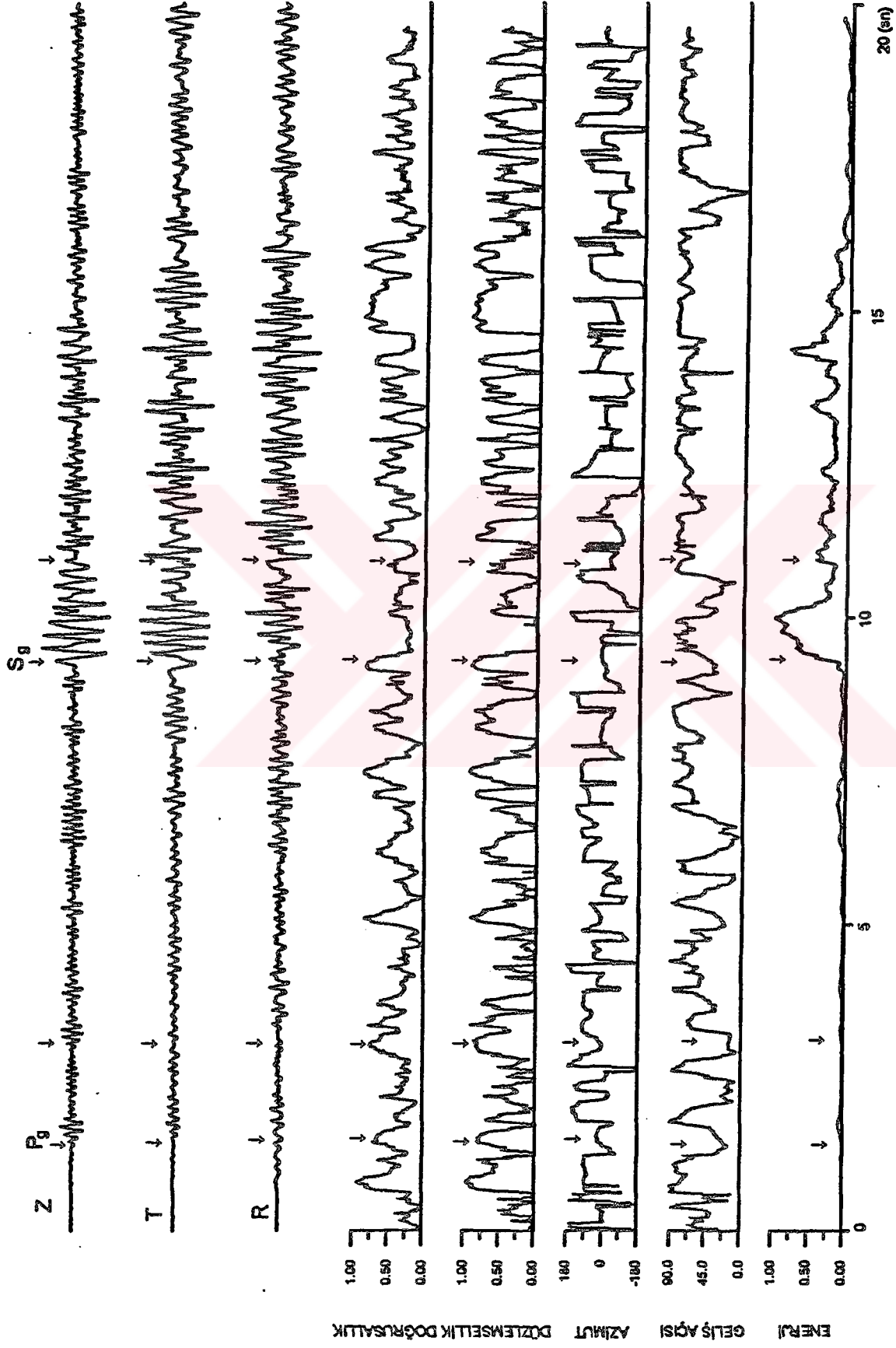




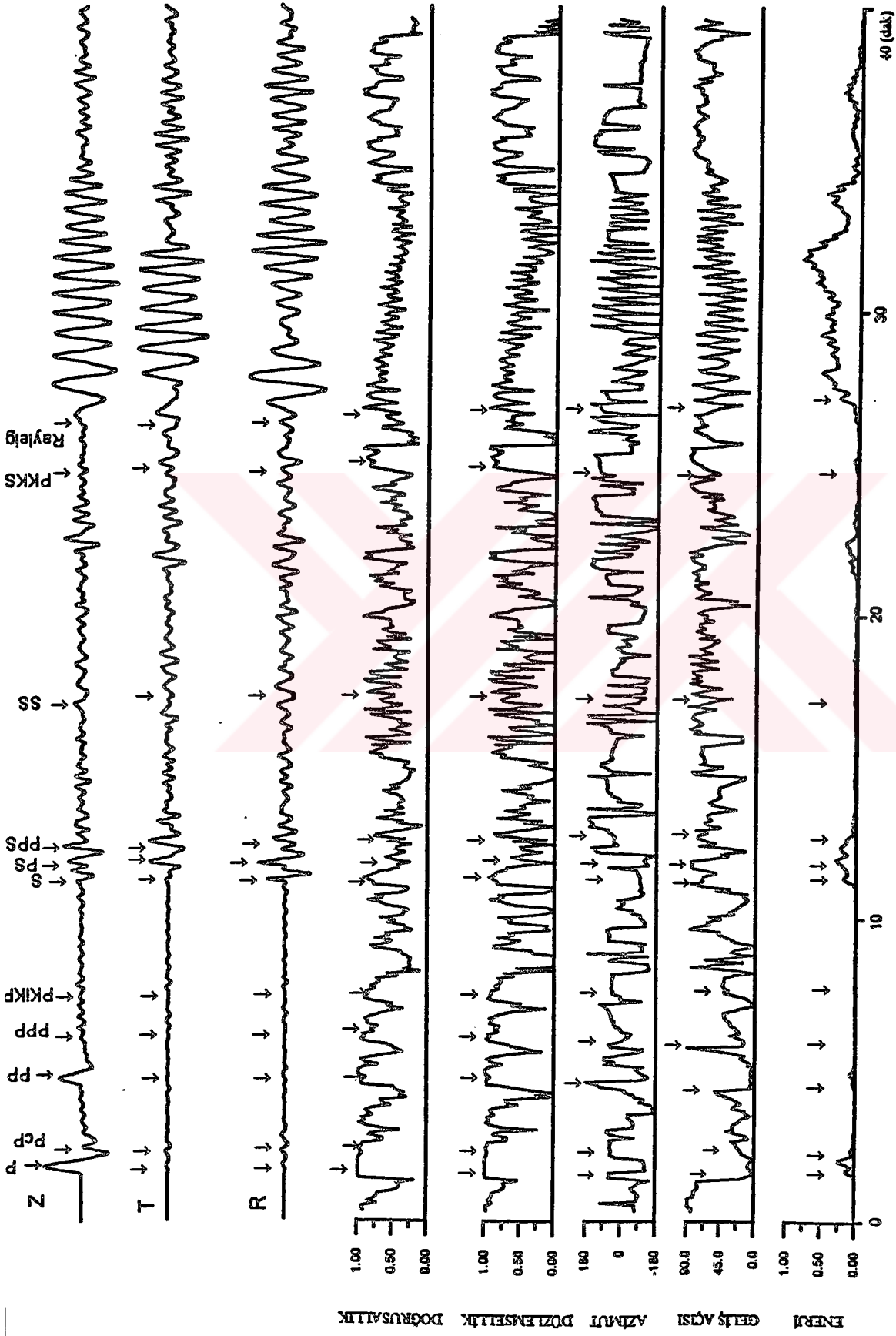
Şekil 13. Farklı genlik ve periyodu sinüslerden oluşan üç bileşen yapay veri (üstte), 0.4sn pencere boyu ve %33 kaydırma miktarı için polarizasyon nitelikleri (altta) ( $S/G=3$ , gürültünün frekans bandı 0.5-10Hz).



Şekil 14. Farklı genlik ve periyodu sinüslerden oluşan üç bileşen yapay veri (üstte), 0.1sn pencere boyu ve %10 kaydırma miktarı için polarizasyon nitelikleri (altta) ( $S/G=3$ , gürültünün frekans bandı 0.5-10Hz).



Şekil 15 06.11.1989 tarihli yakın alan depremine ait Dç bileşen kayıt (üstte) ve 0.2sn pencere boyu ve %10 kaydırma miktarı için hesaplanan polarizasyon nitelikleri (altta).



Şekil 16. 23.01.1981 tarihli uzak alan depremine ait üç bileşenli kayıt (üstte), 20sn pencere boyu ve %10 kaydırma miktarı için hesaplanan polarizasyon nitelikleri (altta)

## 4. ZAMAN ORTAMI POLARİZASYON SÜZGEÇLERİ

### 4.1. Yöntem

Polarizasyon süzgeçleri zaman-değişken lineer olmayan süzgeçlerdir. Bu süzgeçlerin temeli dalgaların polarizasyonlarına (doğrusallık ve yönlendirmelerine) bağlı olduğundan bir önsel band-geçişli süzgeç olarak davranırlar.

Doğrusallık (rectilinearity) ve yön (direction) değerlerinin elde edilmesinde, polarizasyon niteliklerinin hesaplanmasında olduğu gibi, yer hareketinin üç bileşeninin her biri üzerinde alınan N noktadan oluşan bir zaman penceresi için kovaryans matrisinden yararlanılır. Bölüm 3'de anlatıldığı gibi, hesaplanan kovaryans matrisinden 17, 18, 19, 20 bağıntılarından birisi kullanılarak doğrusallık hesaplanır. Daha sonra polarizasyonunun doğrusallığı ve yönüne bağlı olarak türetilen kazanç fonksiyonları süzülecek sismogramlar boyunca kaydırılıp orjinal izlerle çarpılarak süzgeçleme işlemi gerçekleştirilir. Bugüne kadar düzenlenmiş olan farklı bir kaç polarizasyon süzgeci arasında ayırım, doğrusallık ve bu kazanç fonksiyonlarının hesabındaki farklılığa dayanır.

Zaman ortamı polarizasyon süzgeçlerinin ilkinin öneren Flinn[5] kazanç kontrol (süzgeç) fonksiyonunu herbir zaman penceresi için

$$G_i(t_0) = \text{rect} * G \quad (9)$$

olarak tanımlar. Burada rect; (3) bağıntısından hesaplanan doğrusallık,  $t_0$ ; zaman penceresinin orta noktasına karşılık gelen zaman, G fonksiyonu ise

$$G_i = E_i * d \quad i = P, SV, SH \quad (10)$$

şeklinde tanımlanan yön (direction) fonksiyonudur. Burada  $e_i$  kovaryans matrisinin en büyük özdeğerinin özvektörü,  $d$  ise sismik kaynağın azimutu ve geliş açısı ile tanımlanan birim vektördür. Dolayısıyla G fonksiyonu bu iki vektör arasındaki açının kosinüsüdür. Yani polarizasyon elipsoidinin uzun eksenini belirleyen doğrultuda yer aldığına 1 değerine, buna dik doğrultuda ise 0 değerine sahiptir. Hesaplamalar zaman penceresinin birer örnek kaydırılması ile sismogramların sonuna kadar tekrarlanır. Bu şekilde elde edilen kazanç fonksiyonu 0-1 arasında normalize edilir. İlgilenilen hareket doğrultuları, kaynak ve alıcıyı

içerisine alan düşey düzlemde yayınım doğrultusunda (P) ve buna dik düşey (SV) ve bu düzleme dik yatay düzlemde (SH) olmak üzere üç tanedir. Bu nedenle,  $G_P$ ,  $G_{SV}$  ve  $G_{SH}$  olmak üzere üç tane yön fonksiyonu elde edilir. Bu şekilde belirlenen kazanç kontrol fonksiyonları gerçek izlerle çarpılarak süzölmüş izler elde edilir.

Kanasewich ve Montalbeti [7] polarizasyon süzgecini şu şekilde düzenlemişlerdir. Doğrusallık (4) bağıntısı ile hesaplanır ve doğrusallık fonksiyonu,

$$RL(t_0) = (rect)^k \quad (11)$$

şeklinde tanımlanır. Burada  $t_0$  uygulanan zaman penceresinin orta noktasına karşılık gelen zamandır.  $e_i = (e_1, e_2, e_3)$ ; Z, R, T koordinat sistemine göre en büyük özdeğerin özvektörü olmak üzere,  $t_0$  zamanındaki yön fonksiyonu

$$D_i(t_0) = (e_{i1})^k \quad i = R, T, Z = 1, 2, 3 \quad (12)$$

bağıntısından hesaplanır. Burada normalize edilmiş özvektörler ( $|E_1| = 1$ ) kullanılır ve bu nedenle  $D_i$  fonksiyonlarının değerleri 0-1 arasında değişir. (11) ve (12) bağıntılarındaki  $j, k$  üstel terimlerinin en uygun değerleri (4) bağıntısındaki  $n$  üstel terimi gibi deneme-yanılma yolu ile belirlenir. Buradaki üstel terimler de  $n$  üstel terimi ile aynı işleve sahiptir.

Hesaplanan ağırlık fonksiyonları noktadan noktaya kazanç kontrol fonksiyonları olarak davranır. Bu fonksiyonların ani değişimlerini önlemek için, seçilen zaman penceresinin yaklaşık yarısı uzunluğunda bir pencere için ortalamaları alınır. Böylece doğrusallık ve yön fonksiyonları bir miktar yuvarlatılmış olur. Bu durumda  $M$  noktadan oluşan bir zaman penceresi için kazanç kontrol fonksiyonları;

$$RL^*(t_0) = \frac{1}{M} \sum_{\tau=-L}^L RL(t_0 + \tau) \quad (13)$$

$$D_i^*(t_0) = \frac{1}{M} \sum_{\tau=-L}^L D_i(t_0 + \tau) \quad i=R, T, Z \quad (14)$$

şeklinde hesaplanır. Burada  $M=N/2$ ,  $L=(M-1)/2$  dir. Herhangi bir  $t$  zamanındaki süzölmüş sismogramlar



$$R_f(t) = R(t) \cdot RL(t) \cdot D_R^*(t)$$

$$T_f(t) = T(t) \cdot RL(t) \cdot D_T^*(t) \quad (15)$$

$$Z_f(t) = Z(t) \cdot RL(t) \cdot D_Z^*(t)$$

olarak belirlenir.

Battaille ve Chiu [9] tarafından düzenlenen polarizasyon süzgeci öncekilerden biraz daha farklıdır. Battaille ve Chiu doğrusallığı (6) bağıntısına göre hesaplamışlardır. Diğerlerinde olduğu gibi bunda da doğrusallık 0-1 arasında değer alır. Burada süzgeç fonksiyonunun hesabı Flinn [5] ile aynıdır. Flinn [5]'den farklı olarak herbir zaman penceresinde kazanç kontrol fonksiyonu P, SV ve SH yönlerindeki dalga enerjisinin toplam enerjiye bölümü ile çarpılır;

$$F(t_0)_i = \left[ \frac{p^{0T} \cdot S \cdot p^0}{TeS} \right]^i \quad i = Z, R, T = 1, 2, 3 \quad (16)$$

Burada S; kovaryans matrisi, Te; toplam enerji ( $Te = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3$ ),  $p^0$ ; istenilen polarizasyona sahip sinyalin özvektörüdür. Süzgeç (kazanç kontrol) fonksiyonunun istenilen yönlere (P, SV, SH) döndürülerek sismogramlar ile çarpımlarından süzölmüş izler elde edilir.

$$Z_f(t) = Z(t) \cdot F_Z(t)$$

$$R_f(t) = R(t) \cdot F_R(t) \quad (17)$$

$$T_f(t) = T(t) \cdot F_T(t)$$

Bu çalışmada kullanılan zaman ortamı polarizasyon süzgeci Battaille ve Chiu [9] tarafından önerilen şekilde düzenlenmiştir.

#### 4.2. Yöntemin testi

Daha öncede vurgulandığı gibi, polarizasyon süzgeçleri iki parametreye (doğrusallık ve yön) göre sinyal ayrımı yaparlar. Polarizasyon süzgeçlerinde diğer önemli parametre (31) bağıntısındaki üstel sabittir (n). Bu üstellerin değeride zaman penceresinin boyu ve kaydırma aralığı gibi deneme yanılma yoluyla belirlenir. Bu sabitin değeri arttıkça süzgeç

izleri daha çok bastırır. Bu parametrelerin etkisini görmek için, polarizasyon niteliklerinin incelendiği Bölüm 3'de kullanılan yapay veri değişik üstel sabit değerleri alınarak süzölmüştür. Elde edilen sonuçlar Şekil 17'de verilmiştir. Burada kullanılan yapay veride S/G oranı 20, gürültünün frekans bandı 0.5-5Hz dir. Süzgeç için zaman penceresinin boyu 0.4sn kaydırma aralığı pencere boyunun %33'ü, istenilen azimut=30°, geliş açısı=50° olarak alınmıştır. Şekil 17'de dört farklı n-değeri (n=1,2,3,10) için süzölmüş yapay veriler görölmektedir. Şekilden de görölebileceği üzere n-değeri arttıkça izler daha çok bastırılmaktadır. Seçilen örnek yapay veride S/G oranı zaten oldukça yüksektir, buna rağmen n-değerinin etkisini izlemek olanaklıdır. Örneğin n=1 için düşey bileşene bakılırsa bir miktar gürültünün kaldığını görürüz. n=2 için gürültüler biraz daha azalmakta, n=3 için hemen hemen gürültü kalmamaktadır. n=10 alındığında durum önceki-lerden biraz daha farklıdır. Çünkü n-değeri bu durumda çok büyüktür ve artık istenilen sinyaller de bastırılmaya başlanmıştır. Çok büyük n-değerlerinde, bir çok sinyal de tamamen yok olmaktadır.

n-değerinin etkisinin incelendiği diğer örnek S/G oranı hariç diğer parametrelerin aynı olduğu yapay veri içindir. Süzgeçlemeye ilişkin parametrelerde önceki örnek ile aynıdır. Sonuçlarının Şekil 18'de verildiği bu yapay veride S/G=3' dür. n-değerinin izler üzerindeki etkisi bu örnekte daha iyi gözlenebilmektedir. Bunun için n=1 ile n=3 alınarak süzölmüş izleri karşılaştırmak yeterli bilgiyi verecektir. n=1 için süzölmüş veride görölen gürültüler, n=3 için süzölmüş veride önemli ölçüde bastırılmıştır.

Bunun son örneği frekans bandı daha geniş (0.5-10 Hz) olan yapay veri içindir (Şekil 19). Burada da n-değerinin etkisi açıkca gözlenebilmektedir.

Şekil 17, 18, ve 19'da verdiğimiz bu örneklerden de görölebileceği üzere, en uygun üstel sabit (n) değeri 3 olarak belirlenmiştir. Gerek diğer parametrelerin test edildiği yapay veriler, gerekse gerçek veriler için n=3 değeri kullanılmıştır.

Zaman ortamı polarizasyon süzgeçlemesinin temel parametreleri doğrusallık ve yöndür. Doğrusallığın etkisi polarizasyon niteliklerinin incelendiği önceki bölümde araştırılmış idi. Burada süzgecin yön seçiciliğininde sergilenmesi için bundan önce kullanılan yapay veri bir miktar değiştirilmiştir. Yapılan değişiklik yapay izlerde yer alan sinyallerin azimut ve geliş açılarına ilişkindir. Her bir sinyale ait bu parametreler diğerleri ile birlikte Tablo 3'de verildiği gibidir. Tablo 3'de verilen parametrelere göre elde edilen yapay izler Şekil 20'de (üstteki üç iz) verilmiştir. Bu izlerde gürültünün frekans bandı 0.5-10Hz, S/G=20'dir. Yönle ilgili süzgeçleme örneklerinde (Şekil 20) zaman penceresinin boyu 0.4sn, kaydırma miktarı %33 alınmıştır. Şekil 20'de (üstten 4.,5.,6. izler) istenilen yön için azimut açısı 30°, geliş açısı 50° (yani, yapay izlerdeki ilk sinyalin azimut ve geliş açısı) alınmıştır. Bu nedenle, süzölmüş izlerden düşey bileşende bu azimut ve geliş açılarında veya buna çok yakın azimut ve geliş açılarında sahip sinyallerin gözlenmesi beklenir. Nitekim ilk sinyal genliğini tamamen koruyarak yer alırken, bunu izleyen iki sinyalde iyi bir şekilde gözlenebil-

mektedir. İkinci sinyalin azimutu birincisi ile aynıdır. Bu nedenle genliğini çok fazla kaybetmemiştir. Bu sinyalde oluşan genlik kaybının nedeni geliş açısındaki farklılıktır. Üçüncü sinyalin geliş açısı birinci sinyalin yarısı kadar, ancak azimut farkı yalnızca 40 dir. Bu sinyal azimutlarının çok farklı olmaması nedeniyle genliğinin büyük bir kısmını kaybetmiş olsa da gözlenebilmektedir.

Tablo.3 Değişik azimut ve geliş açısı değerlerine bağlı olarak oluşturulan 5-adet sinyal içeren üç bileşen yapay veri oluşturmak için gerekli olan parametreler.

PERYOD (sn)	FREKANS (Hz)	GENLİK (cm)	VARIŞ ZAMANI	AZİMUT AÇISI(°)	GELİŞ AÇISI(°)
1	1	0.5	1	30	50
0.8	1.25	0.6	3	30	30
0.6	1.67	0.6	5	70	25
0.4	2.50	0.8	7	120	50
0.3	3.33	1.0	9	170	45

Son iki sinyalin azimutları ilk sinyalin azimutundan çok farklıdır (birinci sinyal ile dördüncü sinyalin azimut farkı 90 , beşinci sinyalin 140 dir). Bu nedenle her iki sinyalde düşey bileşende yer almamaktadır. Buna karşı bu sinyaller ışın yörüngesine dik (ortogonal) olan doğrultularda yer alırlar. Bundan dolayıda dördüncü sinyal radyal bileşen, beşinci sinyal tanjansiyel bileşen izlerinde gözlenmektedir.

Yön ile ilgili diğer bir örnek üçüncü pulsun azimut ve geliş açısı (azimut açısı=70 , geliş açısı=25 ) için, aynı yapay izin, süzgeçlenmiş izleridir (Şekil 20 üstten 7.,8.,9 izler). İstenilen yön üçüncü sinyalin azimut ve geliş açısı olarak verildiği için düşey bileşende bu sinyal genliğini tamamen koruyarak yer almaktadır. Bu kez, birinci örnektekinin tersi olarak, birinci sinyal istenilen azimuttan 40 farklı olduğundan, genliğini önemli ölçüde kaybederek yer almaktadır. İkinci puls ise, bu kez de geliş açılarının çok yakın olması nedeniyle genliğini önemli ölçüde korumuştur. Birinci örnekten farklı olarak burada dördüncü ve beşinci sinyallerde düşey bileşende gözlenmektedir. Dördüncü sinyalin üçüncü sinyalle azimut farkı 50 dir ve bu nedenle küçük genlikli de olsa düşey bileşende yer almaktadır. Beşinci sinyal en büyük azimut farkına (100 ) sahiptir. Bundan dolayıda çok küçük genlikli de olsa düşey bileşende gözlenmektedir. Bu sinyal, üçüncü sinyale hemen hemen dik azimutlu olduğu için radyal bileşende de görülmektedir.

Son olarak yapay izler, beşinci sinyalin azimut ve geliş açıları için süzölmüştür. Beklendiği gibi bu sinyal düşey bileşende genliğini tamamen koruyarak yer almaktadır. Bundan çok farklı azimutlara sahip ilk üç sinyal düşey bileşende görülmemektedir. Yalnızca azimut açısı farkı 50 olan dördüncü sinyal genliğini önemli miktarda kaybederek yer almaktadır. İlk üç sinyal azimut olarak beşinci sinyale dik doğrultuda kaldıkları için teğetsel bileşen üzerinde görülmektedirler. Bunlardan üçüncü sinyalin geliş açısı beşinci sinyalininkinden çok

farklı olduğu için genliğini en çok kaybeden sinyal olmuştur. Bu örnekler zaman ortamı polarizasyon süzgeçlerinin yöne seçiciliğinin çok fazla olduğunu göstermektedir.

Bunlardan başka polarizasyon niteliklerinin incelenmesinde test edilmiş olan zaman penceresinin boyunun ve kaydırma miktarının seçimlerinin süzgeçlemeyi nasıl etkilediği de görülmek istenmiştir. Bunun için yapay veriler farklı pencere boyları (0.2, 0.4, 1 ve 2sn) için süzölmüşlerdir. Bu denemelerde kaydırma miktarı %33,  $n=3$ , azimut 30 , geliş açısı 50 alınmıştır (Şekil 21). Pencere boyunun çok küçük alınması halinde gürültüyle ilişkin yalancı doğrusallık değerleri elde edilebileceğinden bunların giderilmesi gibi bir durum ortaya çıkar. Bunun tipik örneği Şekil 21'deki (üstteki üç iz) 0.2sn lik pencere boyu için elde edilen sonuçlardaki ilk sinyal üzerindeki küçük salınımlardır.

Pencere boyunun uzun alınmasında doğrusallık fonksiyonu kısa pencere boylarınıninkine göre daha duraylı sonuçlar verir. Ancak bu uzunluk çok fazla olmaya başladığında, küçük pencere boylarınıninkinden daha sakıncalı durumlar doğabilir. Örneğin birbirini takip eden iki puls arasındaki zaman farkı 0.5sn iken 1sn uzunluklu bir zaman penceresi kullanılsın. Bu durumda iki puls arasındaki bölge için de olduğundan yüksek doğrusallık elde edilebilir. Çünkü pulslardan birisi pencereden çıkarken diğeri pencereye girmeye başlar. Bu da yanıltıcı yüksek doğrusallık verir. 2sn pencere boyu için elde edilen sonuçlar bunun tipik bir örneğidir. Bu örnekte ilk sinyalin yer almamasının nedeni pencere boyuna göre bu puls içerisinde değer almayışıındandır. Bunun süzgeçleme mekanizmasıyla bir ilişkisi yoktur.

Kaydırma miktarının seçimine ilişkin örnekler Şekil 22'de verilmiştir. Bu örneklerde zaman penceresinin boyu 0.4sn,  $n=3$ , azimut 30 ve geliş açısı 50 alınmıştır. Zaman penceresinin kaydırma miktarı pencere boyunun %1' i, %10' u, %60' ı ve %100' ü alınmıştır. Kaydırma miktarının çok küçük ve yüksek seçilmesinin etkisi pencere boyununkine kısmen benzemektedir. Burada kaydırma miktarının çok küçük alınmasının pek sakıncası yoktur. Çünkü çok küçük kaydırma miktarları için daha sık hesaplama yapılmış olur. Bu sinyallerin başlangıç zamanlarının daha duyarlı belirlenmesi istendiğinde tercih edilmesi gereken bir durumdur. Kaydırma miktarının artırılması zaman penceresinin boyunun artırılmasında olduğu gibi bir yuvarlatma etkisine sahiptir. Yalnızca sinyal-gürültü oranlarının artırılmasıyla ilgilenildiğinde pencerenin kaydırma miktarının çok küçük alınması gerekmez. Ancak çok büyük (%100) kaydırma miktarında bazı küçük periyodlu sinyalleri atlama tehlikesi vardır.

### 4.3. Gerçek veriler

Bu çalışmada zaman ortamı polarizasyon süzgeci, parametreleri Tablo-4'de verilen iki adet yakın alan, bir adet uzak alan deprem verisine uygulanmıştır. Bu kayıtların özellikleri Bölüm 3.3 de anlatılmıştır.



Tablo 4. Gözlemsel verilerin odak parametreleri

TARİH	ENLEM	BOYLAM	$\Delta$ (°)	Az (°)	Mb
23.01.1981	42.52N	142.12E	77.139	45.5	6.3
06.11.1989	40.46N	28.96E	0.603	181.0	3.3
01.12.1989	40.74N	27.54E	1.081	254.5	3.4

Tüm sismogramlara ilk uygulanan işlem vektörel döndürmedir. Yani herbir depremin yatay bileşen kayıtları (NS, EW) episantrlarının azimut açılarına göre vektörel olarak döndürülerek radyal ve teğetsel bileşenler elde edilmiştir. Polarizasyon süzgeçlemesinde istenilen yön, sismogramların ilk 20sn'lik parçaları içerisinde karşılaşılan en yüksek doğrusalığa sahip dalganın azimut ve geliş açısı olarak alınmıştır. Her üç örnek için de programın bulduğu en yüksek doğrusalık değerinin ilk gelen dalgalara ait olduğu görülmüştür. Yani tüm örneklerde istenilen azimut ve geliş açısı ilk gelen dalgalar için bulunan değerlerdir.

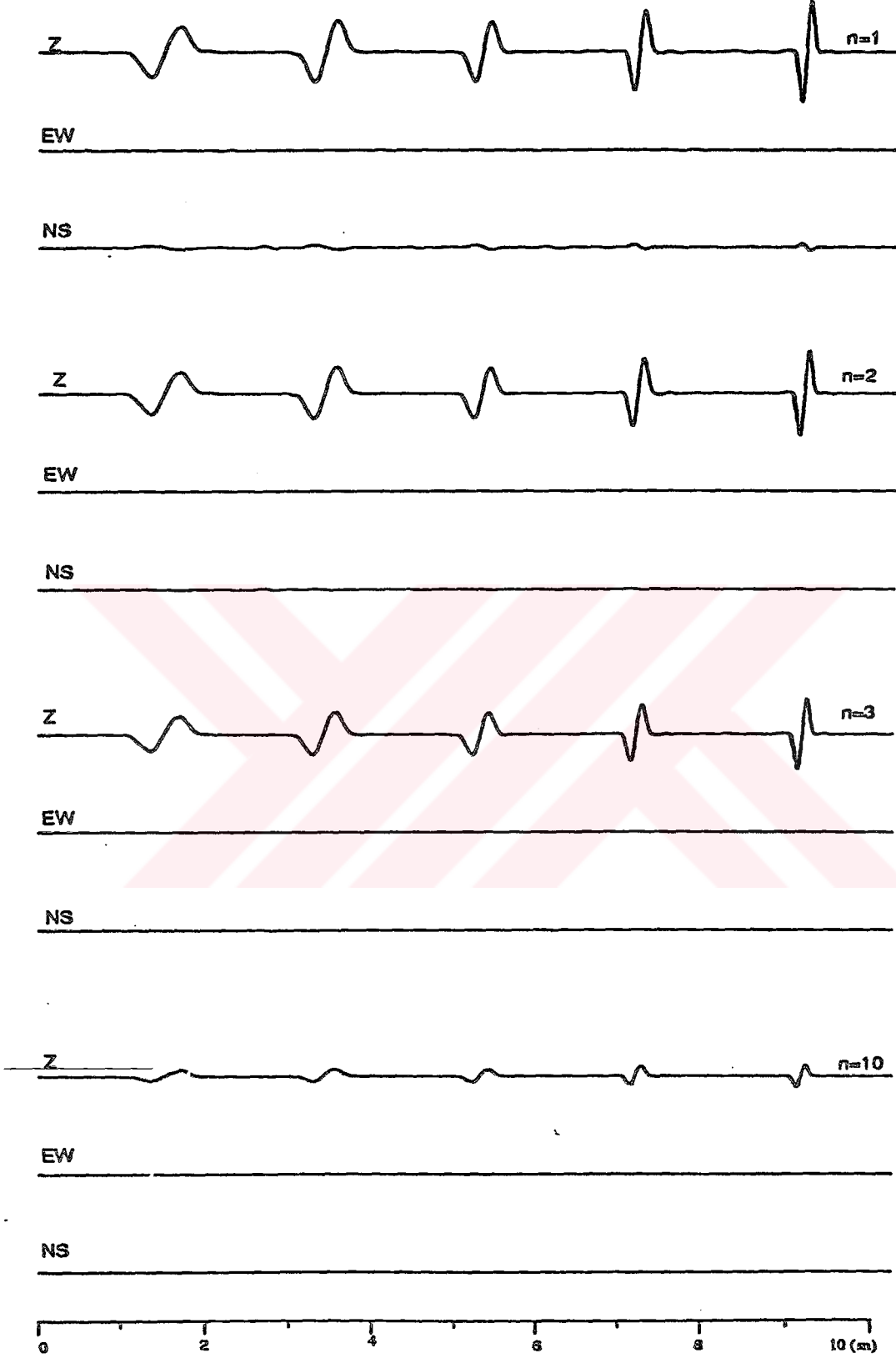
Birinci örneğimiz 01.12.1989 tarihli yakın alan deprem kaydı içindir. Polarizasyon süzgeci uygulamadan önce sismogramlar 0.5-12Hz'lik frekans bandında süzölmüştür. Polarizasyon süzgecinin uygulanmasında pencere boyu 0.2sn, kaydırma miktarı pencere boyunun %10'u,  $n=3$  alınmıştır. Band-geçişli süzölmüş sismogramlar ve polarizasyon süzgeci ile süzölmüş sismogramlar Şekil 23'de verilmiştir. Bu depremin episantr uzaklığı 120km olduğundan ilk gelen Pg'dir. Benzer olarak S-dalgalarının başlangıcında yer alan fazda Sg fazıdır. Şekildende görülebileceği gibi Pg-fazı büyük genlikleri ile sismogramlardan kolayca tanınabilmektedir. Bu faz süzölmüş izlerden düşey bileşen üzerinde iyi bir şekilde gözlenmektedir. Pg-fazının hemen ardından birkaç saniye içerisinde bir kaç güçlü faz varışı daha vardır. Bunlarda süzölmüş izlerde düşey ve teğetsel bileşen üzerinde açıkça görülebilmektedir. Bunlardan başka P-dalgasının kodasında görölen çok sayıda faz süzölmüş izlerde açık bir şekilde görülebilmektedir. Bu fazların bir kısmı şekil üzerinde işaretlenmiştir. Sg-fazının başlangıcı Pg-fazının kadar net değildir. Çünkü Sg-fazının hemen öncesinde bir adet farklı bir faz görölmektedir. Bu nedenle Sg-fazının başlangıcı radyal bileşen üzerinde çok güvenilir bir şekilde belirlenebilirken diğer bileşenlerde net değildir. Ancak bu faz süzölmüş izlerden radyal bileşen ve özellikle düşey bileşende büyük genlikleri ile görölmektedir. Süzölmüş sismogramlardan da görülebileceği üzere S-dalga treni ve kodasında çok sayıda faz varışı vardır. Bunlar süzölmüş izlerde çok iyi bir şekilde belirlenebilmektedir. Bunların bazıları ham ve süzölmüş sismogramlar üzerinde işaretlenmiştir.

İkinci örnek uygulama yine bir yakın alan deprem (06.11.1989) kaydı içindir (Şekil 24). Polarizasyon süzgeçlemesinde önceki örnekteki parametreler aynen kullanılmıştır. Bu depremin episantr uzaklığı 68km olduğundan bu örnekte ilk varış Pg'dir. Bu örnekte öncekinin tersi olarak ilk varış çok belirgin olmamasına karşın Sg varışı gayet açıkça belirlenebilmektedir. Pg-fazı düşey bileşen kaydında nisbeten açık olarak görölmekle birlikte

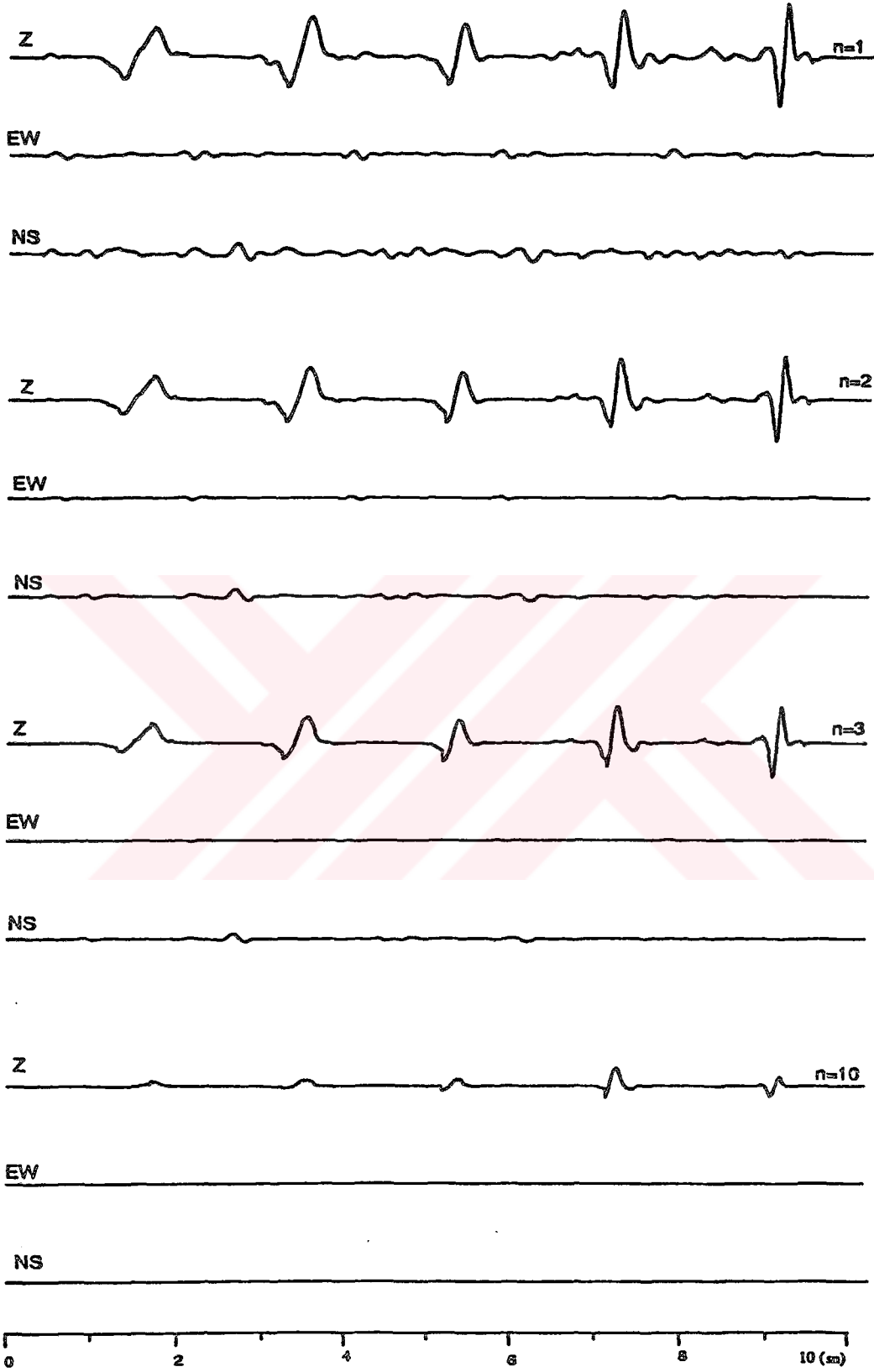
yatay bileşenlerde (özellikle radyal bileşende tamamen) belirsizdir. Bu fazın başlangıcı süzölmüş izlerden düşey bileşende çok net bir şekilde görölmektedir. Yine Sg varışı özellikle düşey bileşen süzölmüş sismogramlarında çok güçlü bir genlikle belirgindir. Önceki örnekte olduğu gibi, burada da gerek P-dalga treninde ve gerekse S-dalga treninde pek çok kabuksal faz varışları vardır. Ve bunlar süzölmüş izlerde çok rahat bir şekilde belirlenebilmektedir.

Üçüncü örnek uzak alan ( $\Delta \geq 77^\circ$ ) deprem kaydı içindir (Şekil 25). Burada zaman penceresinin boyu 20sn, kaydırma miktarı pencere boyunun %10'u kadar,  $n=2$ , olarak alınmıştır. Süzölmüş izler üzerinde pek çok faz iyi bir şekilde belirlenebilmektedir. Aynı veri polarizasyon nitelikleri içinde kullanılmış (Şekil 16) bu şekil üzerinde çok sayıda faz tanınarak işaretlenmiştir. Bu nedenle burada yalnızca P, S, ve Rayleigh dalgalarının başlangıç zamanları işaretlenmesi ile yetinilmiştir.

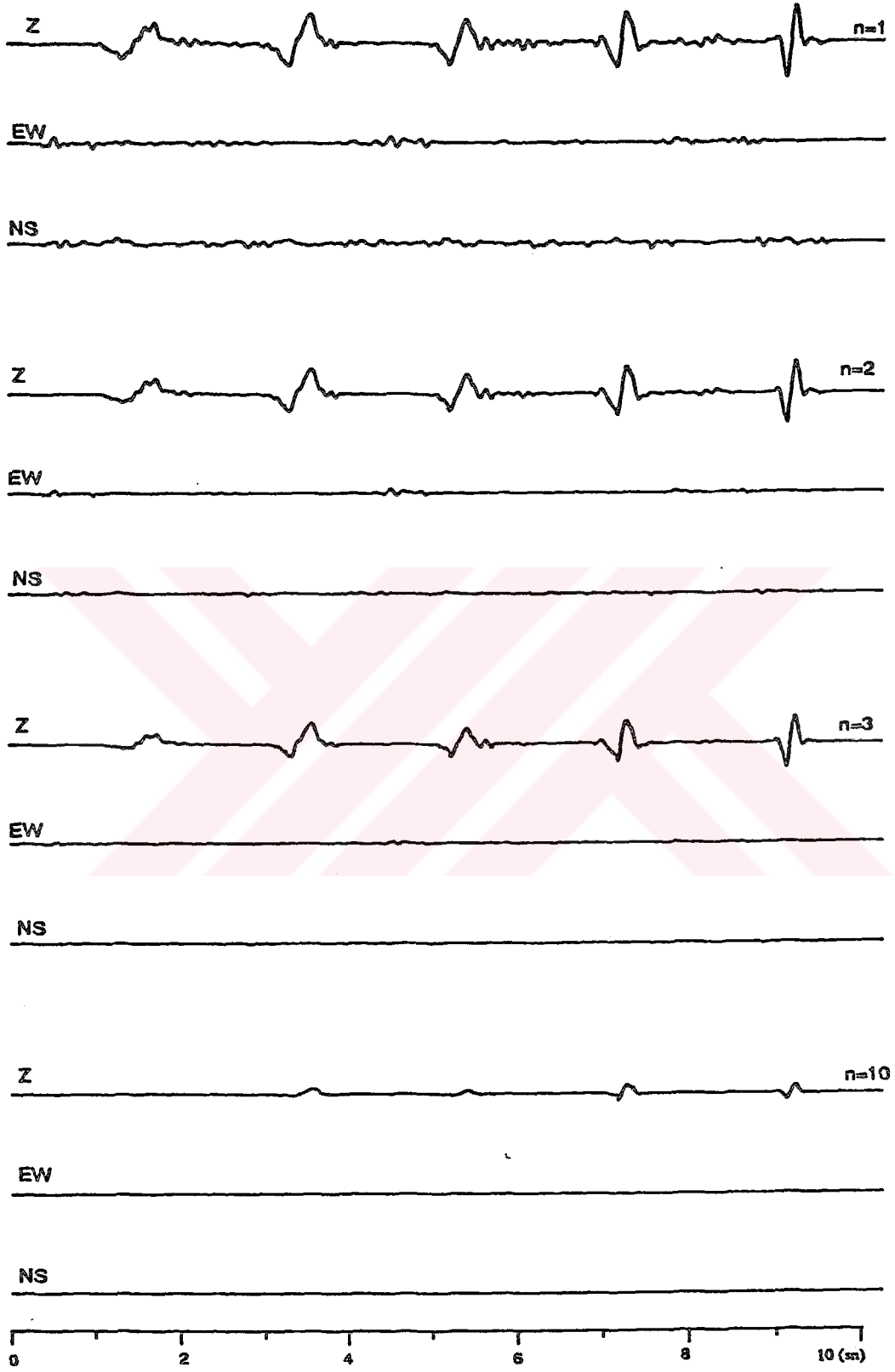




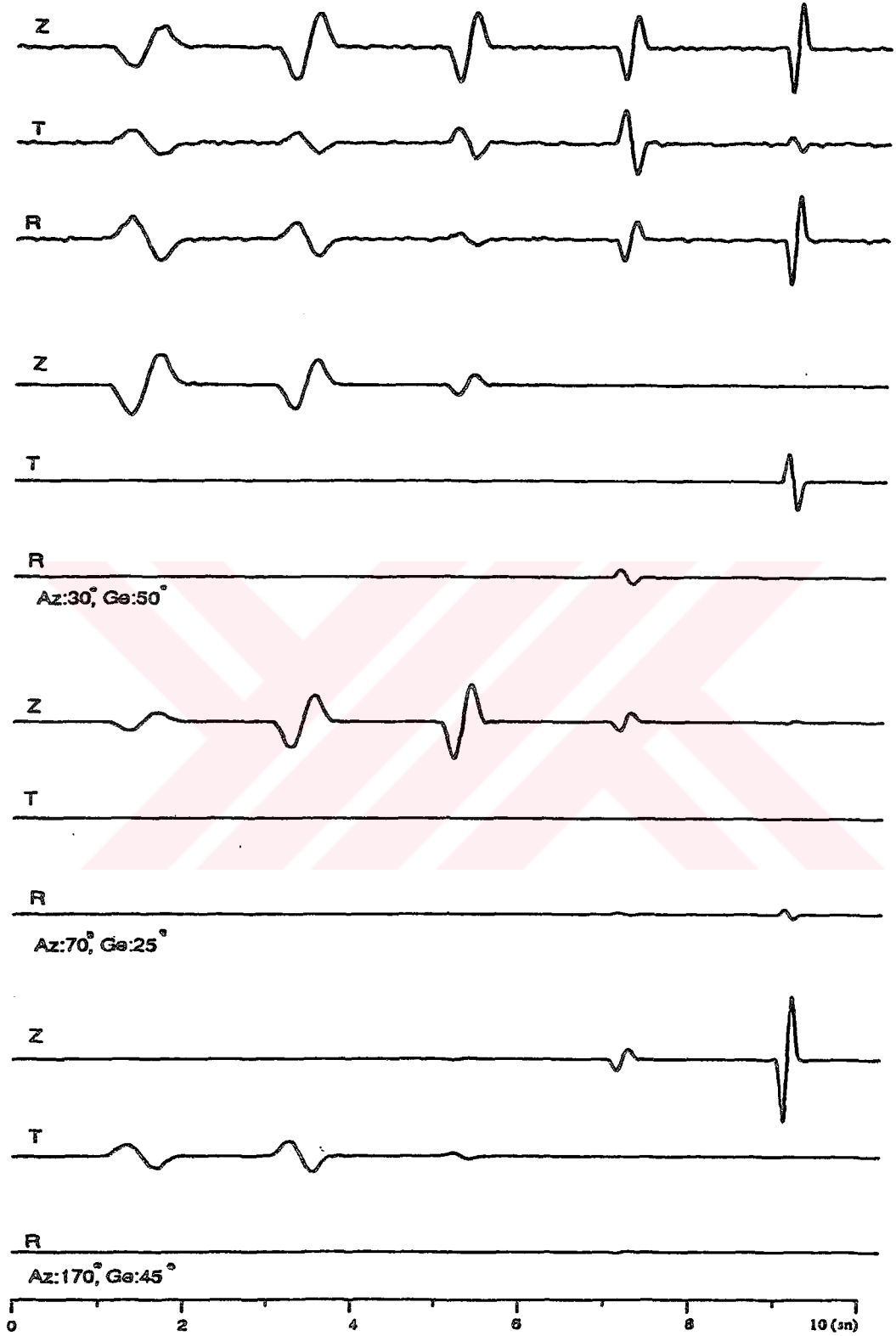
Şekil 17 0.4sn pencere boyu ve %33 kaydırma miktarı  $n=1,2,3$  ve 10 için süzölmüş izler ( $S/G=20$ , gürültünün frekans bandı 0.5-5Hz).



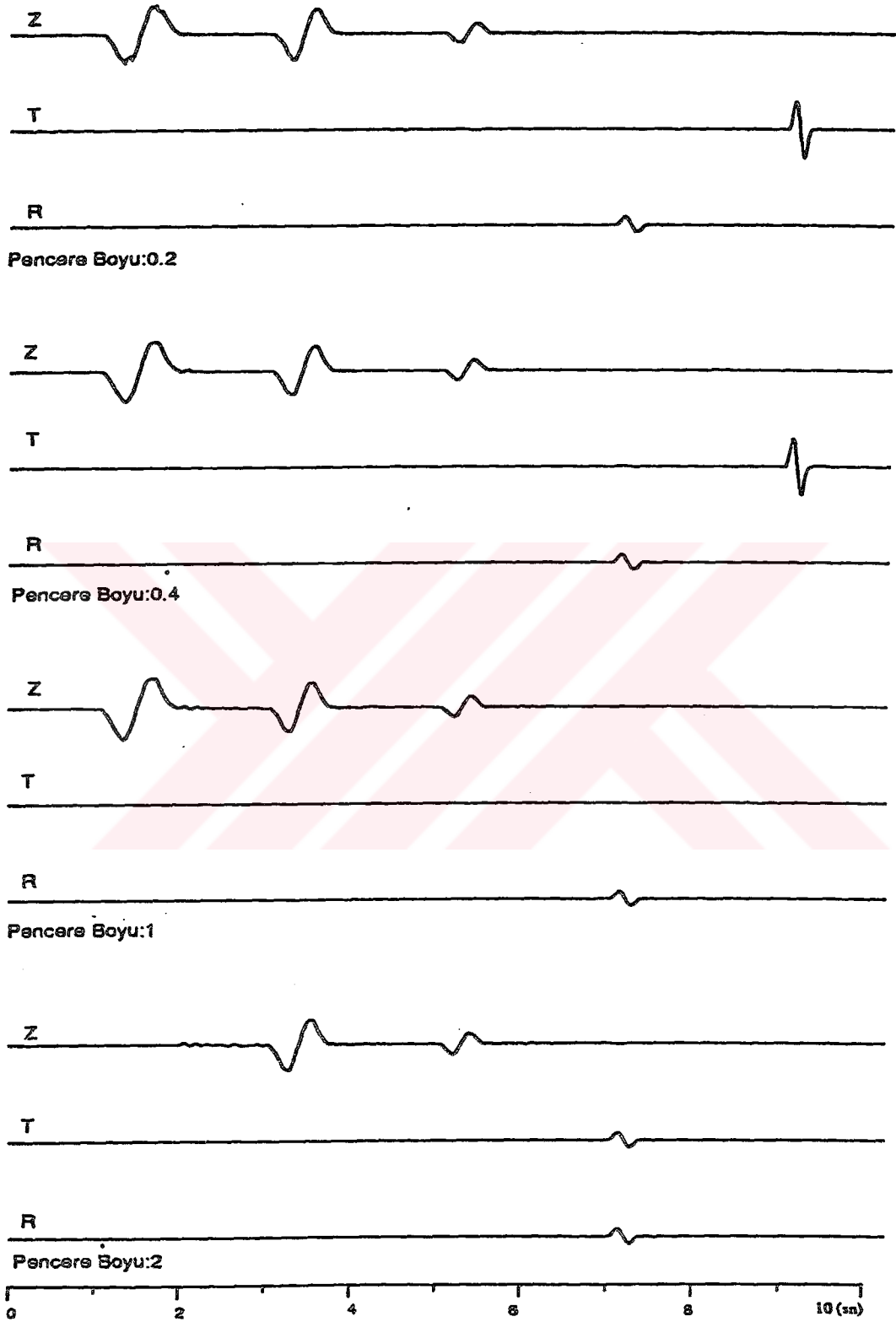
Şekil 18 0.4sn pencere boyu ve %33 kaydırma miktarı  $n= 1,2,3$  ve 10 için süzölmüş izler (S/C=3, gürültünün frekans bandı 0.5-5Hz).



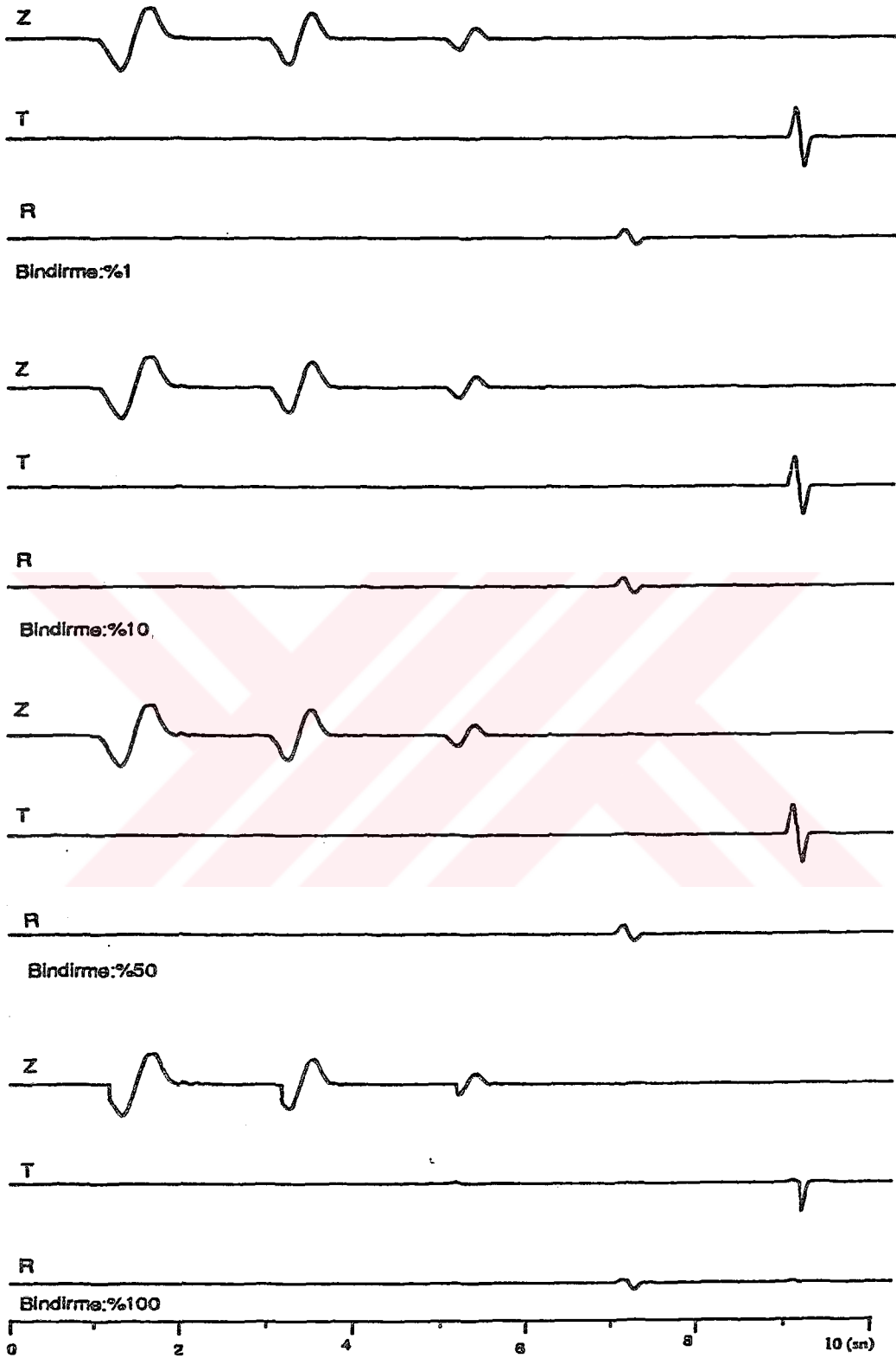
Şekil 19 0.4sn pencere boyu ve %33 kaydırma miktarı  $n = 1, 2, 3$  ve 10 için süzülmiş izler ( $S/G=3$ , gürültünün frekans bandı 0.5-10Hz).



Şekil 20 0.4sn pencere boyu ve %33 kaydırma miktarı için Tablo-2'deki parametrelere göre oluşturulan üç bileşen sinyal (üstte), değişik azimut ve geliş açılarına (30°, 50°, 70°, 25°, 170°, 45°) ve  $n=3$  değeri için süzölmüş üç bileşen yapay izler (altta) ( $S/G=20$ , gürültünün frekans bandı 0.5-10Hz).

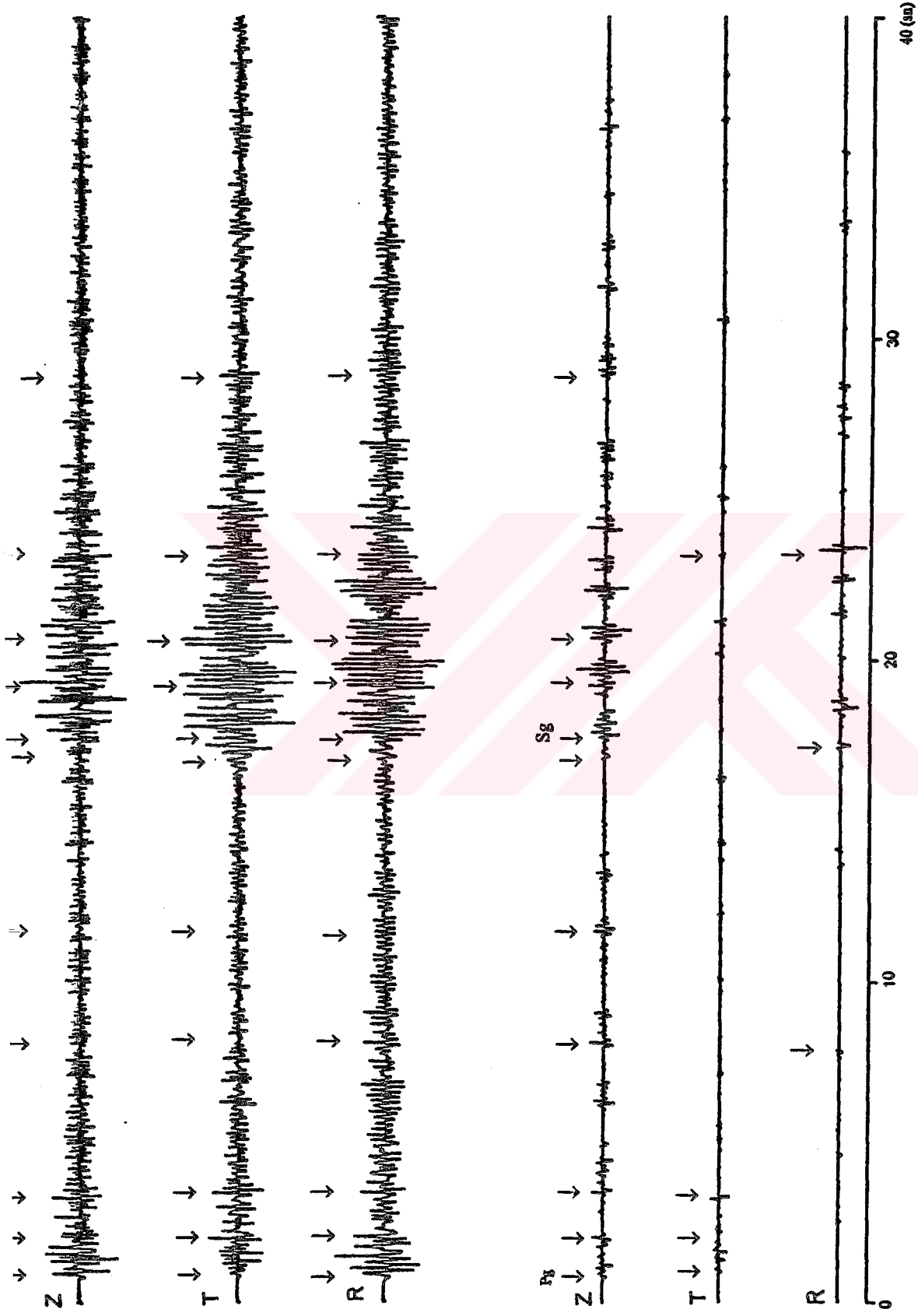


Şekil 21 0.4sn pencere boyu ve %33 kaydırma miktarı için Tablo-2'deki parametrelere göre oluşturulan üç bileşen sinyal (üstte), değişik pencere boyu değerleri (0.2, 0.4, 1, 2) ve  $n=3$  değeri için süzölmüş üç bileşen yapay izler (altta) ( $S/G=20$ , gürültünün frekans bandı 0.5-10Hz).

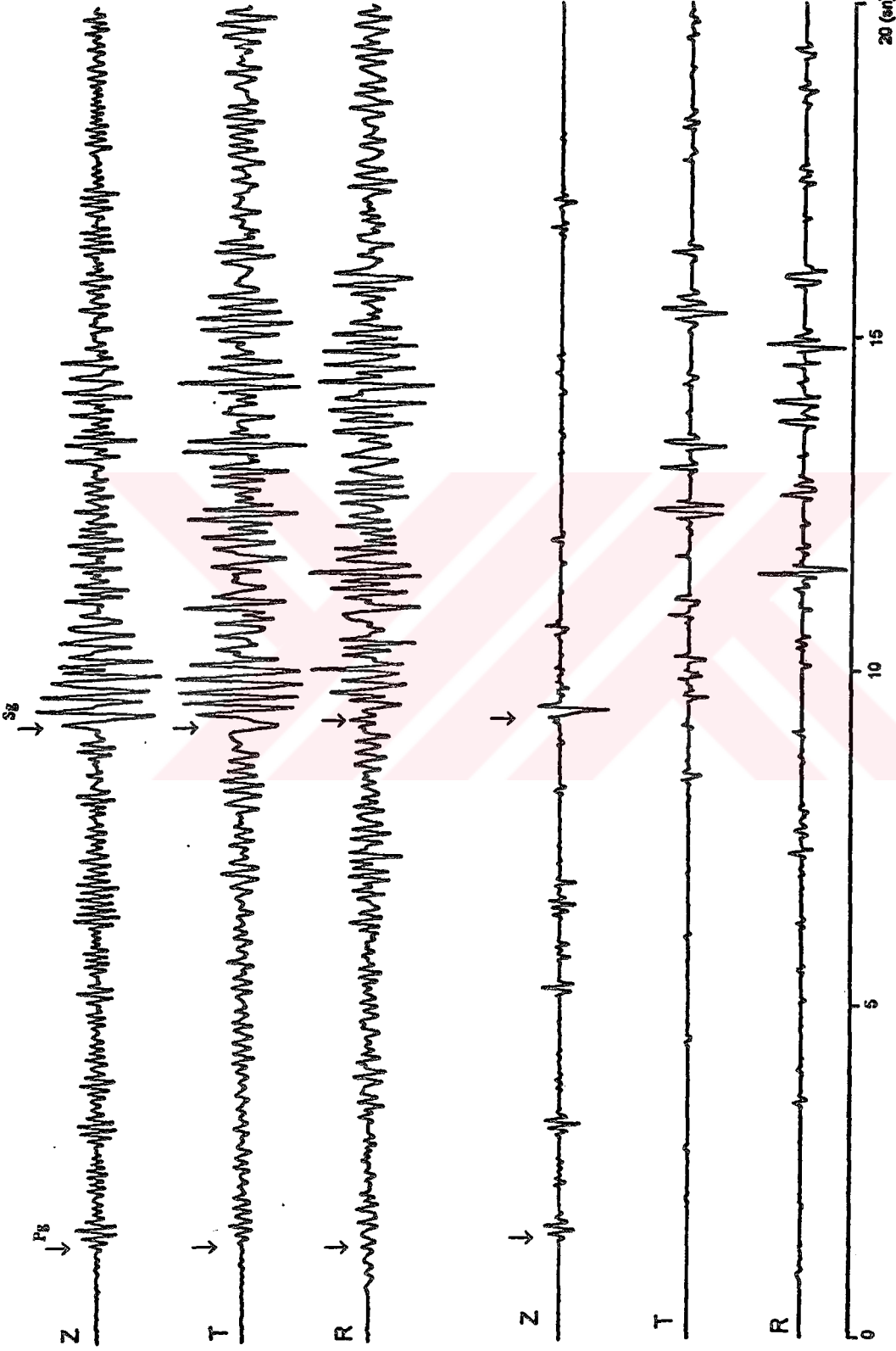


Şekil 22 0.4sn pencere boyu ve %33 kaydırma miktarı için Tablo-2' deki bağlı olarak oluşturulan üç bileşen sinyal (üstte), değişik kaydırma oranları (%1, %10, %60, %100) ve  $n=3$  değeri için süzölmüş üç bileşen yapay izler (altta) ( $S/G=20$ , gürültünün frekans bandı 0.5-10Hz).





Şekil 23 01.12.1989 tarihli yakın alan depremine ait üç bileşen ait üç kaydırma miktarı ve  $n=3$  süzgeç değeri için polarizasyon filtresinden geçirilmiş şekli (altta)



Şekil 24. 06.11.1989 tarihli yakın alan depremine ait üç bileşen ait üç kayıt (üstte), 0.2sn pencere boyu, %10 kaydırma miktarı ve  $n=3$  süzgeç değeri için polarizasyon süzgecinden geçirilmiş şekli (altta).

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Günümüzde doğrudan sayısal kayıt alma işlemi bilgisayar teknolojisinin gelişmesine paralel olarak gelişerek hemen hemen mükemmellik ölçülerine yaklaşmıştır. Öyleki, bu kayıtçılarda örnekleme aralığı amaca uygun olarak ayarlanabilmektedir. Buna paralel olarak gelişen sismograflarla birlikte çok kaliteli sayısal kayıtlar alınmaktadır. Bu nedenlerden dolayı gerek yer içerisinin yapısının, gerekse kaynağın incelenmesinde artık belli başlı sismik dalga fazlarının dışındaki fazlardanda yararlanmak olanaklı hale gelmiştir. Bunun için hem yakın hemde uzak alan deprem kayıtlarının çok daha ayrıntılı analizi gerekmektedir. Bu da sismogramlarda yer alan olabildiğince çok sayıda fazı doğru ve özelliklerinin duyarlı bir şekilde belirlenebilmesi demektir. Bunlardan dolayı son yıllarda sismik dalgaların polarizasyon analiz yöntemleri ve bunlara dayalı veri işlem teknikleri gelişerek ve yaygınlaşarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan zaman ortamı analiz yöntemi en çok başvurulan yöntemdir. Bu yöntem gerek yapay ve gerekse gerçek verilerin sonuçlarından da görüldüğü gibi oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Bu yöntemin uygulanmasında başarının derecesi analiz yapılacak verinin frekans içeriğine uygun bir pencere boyu ve kaydırma miktarının seçimine bağlıdır. Bu ise amaca bağlı olarak değişik kıstaslara göre seçilebilmektedir. Örneğin amaç yalnızca sismogramın ilk kısmını incelemek (örneğin P-dalga trenini) ise zaman penceresinin boyu ilk gelen dalganın periyodu dikkate alınarak belirlenmektedir. Ancak amaç sismogramın tümüne veya tüme yakın bir kısmını incelemek ise sismogramdaki hakim periyod dikkate alınarak zaman penceresinin boyuna karar verilmektedir. Amaç ne olursa olsun yapılması gereken dikkate alınan dalga periyoduna göre pencere boyuna bir ölçüt bulmak zorunluluğu vardır. Bu nedenle bu çalışmanın başlangıcında birim periyodlu (1sn) bir sinyal göz önüne alınarak pencere boyunun seçimi için bir ölçüt belirlenmeye çalışılmıştır. Farklı pencere boyu ve kaydırma miktarı için elde edilen çizimler (Şekil 7,8) bu iki parametrenin seçimi için belirli bir bilgi vermektedir. Bu çizimler incelendiğinde, doğrusallığın %10'dan küçük hata miktarı ile elde edildiği aralıkların, küçük kaydırma aralıklarına (pencere boyunun %10-%50'si) karşılık uzun pencere boyları (sinyalin boyunun %10-%200) için, ve kısa pencere boylarına (sinyal boyunun %20-%60) karşılık büyük kaydırma aralıkları (pencere boyunun %50-%100) için elde edildiği görülür.

Her iki durumun ortak noktası pencere boyunun sinyal periyodunun %50'si ve kaydırma aralığında pencere boyunun %50'si civarında duraylı sonuçlar elde edilebilmektedir. Daha sonraki yapay veriler için elde edilen sonuçlar da dikkate alındığında şu sonuca varılabilmektedir; Uzun pencere boyları daha duyarlı sonuçlar verir. Her iki durumda amacımıza bağlı olarak en iyi yaklaşım olarak seçilebilir. Yani, amaç faz başlangıçlarını duyarlı bir şekilde belirlemek ise daha uzun pencere boyu seçilmelidir. Bu çalışmadaki uygulamalarda pencere boyu referans sinyalin periyodunun %40'ı, kaydırma miktarında pencere boyunun %33 (1/3)'ü alınmıştır. Bu seçimler her iki durumda sergilenmek istenmektedir.

Polarizasyon analizinin gerçek verilere uygulama sonuçları (Şekil 15, 16) oldukça başarılıdır. Yöntem başlangıçta yalnızca doğrusal ve eliptik polarizasyon arasında bir ayrım yapmayı amaçlayarak geliştirilmiştir. Yani cisim (P ve S) dalgalarının daima doğrusal polarizasyon gösterdiği uzak alan deprem kayıtlarına uygulanmak üzere geliştirilmiştir. Oysa bugün doğrusallığın dışındaki özelliklerde kullanılarak yakın alan verileri içinde yararlanılmaktadır. Buradaki yakın alan deprem kaydı analizi bunun iyi bir örneğini oluşturmaktadır. Görüldüğü gibi bu sismogramlar üzerinde pek çok kabuksal fazın tanınması olanaklı hale gelmiştir.

Zaman ortamı polarizasyon süzgeçlemesi de analiz yöntemi ile aynı temel yaklaşıma sahip olduğu için bunlarda da zaman penceresinin boyu ve kaydırma miktarının seçimi benzer öneme sahiptir. Bunun içinde kıstaslar analiz yöntemi ile aynıdır. Süzgeçlemede ek olarak doğrusallık ve yön fonsiyonların hesaplanmasındaki üstel sabitlerin seçiminde yapılması gerekir. Bu üstel sabitler (26,27,31 bağıntılarında j,k,n sabitleri) izleri bastırma özelliğine sahiptir. Bununda nedeni elde edilen doğrusallık ve yön fonsiyonlarının 0-1 arasında değerler almasıdır. Üstel terimleri ne kadar arttırılır ise bu fonsiyonların değeri o derece sifıra yaklaşır. Örnek olarak doğrusallık fonsiyonunu ele alalım. Doğru veya doğruya çok yakın polarize olmuş bir sinyal için doğrusallık değeri 1 veya 1'e çok yakındır. Eliptik ve rasgele polarize olan gürültünün doğrusallığı sıfır veya sifıra yakındır. Bu durumda üstel terimin artışı ile hem sinyal hemde gürültünün doğrusallık değeri küçülür. Ancak gürültüye ait küçük doğrusallık değerinde daha çok küçülecektir. Bu nedenle bu üstel terimler gürültü bastırıcı özelliğe sahiptir. Ancak bununla ilgili uygulamalardan da görüldüğü gibi üstel terimler çok büyük olduğundan daha düşük doğrusallığa sahip sinyallerde kaybolmaktadır. Geriye yalnızca doğrusallığı 1 olan sinyaller kalmaktadır. Bu nedenle üstel sabitlerin değeri sinyal polarizasyonu ve gürültü düzeyine göre seçilmektedir. Burada en uygun n-değerinin -3 civarında alınmasının doğru olacağı görülmüştür.

Zaman ortamı polarizasyon süzgeçlemesinin gerçek verilere uygulamaları (Şekil 23, 24, 25) oldukça başarılı sonuçlar vermiştir. Uzak alan deprem kaydı için elde edilen iyi sonuç daha önceki çalışmalardan görüldüğü gibi beklenen bir sonuçtur. Bununla birlikte yakın alan deprem kayıtlarından elde edilen sonuçlar beklenmediği kadar iyidir. Pekçok

sayıda kabuksal faz süzölmüş izlerde belirginleşmiş ve bunların zamanları daha duyarlı bir şekilde işaretlenebilir hale gelmiştir.

Sonuç olarak sismik verilerin analizinde sismik dalgaların polarizasyon özelliklerinin kullanılması ile ayrıntuların yakalanmasında önemli bilgiler sağlamaktadır. Bu nedenle son yıllarda pek çok uygulama alanı bulmuştur. Günümüzde düzenlenen polarizasyon süzgeçleri sinyallerin doğrusallık ve yön bilgilerini kullanmaktadır. Bunların hesaplamalarına diğer polarizasyon nitelikleride uygun bir şekilde katılarak daha etkin ve daha ayırıcı (dalga türleri) polarizasyon süzgeçleri düzenlenebilir.



## KAYNAKLAR

1. Brune, J. N. and Oliver, J. The seismic noise if the earth's surface, Bull. Seism. Soc Am., 49, (1959) 349-353
2. Pomerey W. P., Sutton G. H. Analog Analysis of seismograms recorded on magnetic tape. Geophys. J.R. Astr. Soc. 68, 9 (1963) 2791-2815
3. İbrahim, A.K. and Nuttli, O.W. Travel time curves and upper mantle structure from long period S waves, Bull. Seism. Soc. Am. 57, (1967) 1063-1092
4. Shimsoni M. and Smith S. W., Seismic signal enhancement with three-component detectors . Geophys., 29, 5 (1964) 664-671
5. Flinn E. A., Signal analysis using rectilinearity and direction of particle motion, Proce.I.E.E.E., 53, (1965) 1874-1876
6. Archambeau, C. B., and Flinn E.A., Automated analysis of seismic radiations for source characteristics, Proc. I.E.E.E., 53, (1965) 1876-1884
7. Kanasewich E.R. and Montalbetti J.M., Enhencement of 8-Dainty and teleseismic body phases with a polarization filter . Geophys J.R. astr. 21, (1970) 119-129
8. Dainty M.A., Toksöz N.F. and Stein S., Seismic investigation of the lunar interior. Proc. Lunar Sci. Conf (1976) 3057-3075
9. Bataille K. , and Chiu J. M., Polarization analysis of high-frequence, three-component seismic data Bull. Seism. Soc. Am. 80, (1990) 622-642
10. Cichowicz A. , An automatic S-phase picker . Bull. Seism. Soc. Am. 83, 1 (1993) 180-189.
11. Jurkewich A. , Polarization analysis of Threee-Component array data . Bull. Seism. Soc. Am. 78, 5 (1988) 1725-1743
12. Jepsen D. C. and Kennett B.L.N. , Three-Component analysis of regional seismograms . Bull. Seism. Soc. Am. 80, 6 (1990) 2032-2052
13. Crampin S., and McGonigle R. , The variation of delays in stress-indicate anisotropic polarization anomalies . Geophys. J.R. astr. (1981) 115-131
14. Ingate S. F., Huseybe E. S., Christoffersson A., Regional array and optimum data processing schemes Bull. Seism. Soc. Am. 75, 4 (1985) 1155-1177

15. Der Z.A., Hirano M. R. and Shumway R.H., Coherent processing of regional signals at small seismic arrays . Bull. Seism. Soc. Am. 80, 6 (1990) 2161-2176
16. Auld B. A., Acoustic fields and waves in solids. A wiley-interscience publication New York 1, (1973) 1-3
17. Nuttli O. W., and Whitmore J.D., On the determination of the polarization angle of the S wave. Bull. Seism. Soc. Am. 52,1 (1962) 95-107
18. Nuttli O.W., The effect of the earth's surface on the S wave particle motion . Bull. Seism. Soc. Am. 51, 2 (1961) 237-246
19. Haskell N. A., Total energy and energy spectral density of elastic wave radiation from propagating faults. Bull. Seism. Soc. Am. 54, 6 (1966) 1811-1841
20. Nuttli O. W. , The determination of S-wave polarization angles for an Earth model with crustal layering . Bull. Seism. Soc. Am. 54, 5 (1964) 1429-1440
21. Samson, J. C. and Olson J. V., Data-adaptive polarization filters for multichannel geophysical data, Geophys. J.R. Astr. Soc. 46, (1981) 1423-1431
22. Haskell, N.A., Crustal reflection of plane SH waves, Geophys. J.R. Astr. Soc. 65, (1960) 4147-4150
23. Haskell N.A., Crustal reflection of plane P and SV waves, Geophys. J.R. Astr. Soc. 67, (1962) 4751-4767
24. Samson J.C. and Olson J.V., Some comments on the descriptions of the polarization states of waves, Geophys. J.R. Astr. Soc. 61, (1980) 115-130



## ÖZGEÇMİŞ

Süleyman Hasan BASA, 1968 yılında Rize'nin Pazar ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Pazar'da tamamladı. 1986 yılında K.T.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümüne girdi. 1990 yılında Jeofizik Mühendisi ünvanı ile mezun oldu. 1991 yılında aynı üniversitede yüksek lisans öğrenimine başladı.

T.C. YÜSEKÖĞRETİM KURU.  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ