

ÜÇ BİLEŞEN SİSMİK VERİLERİN POLARİZASYON ANALİZİ

Polarization Analysis of Three Component Data

H. Süleyman BASA*, M. Fırat ÖZER*, İlhan OSMANŞAHİN* ve Özer KENAR*

ÖZET

Bilindiği gibi, farklı sismik dalga türlerinin tane-cik hareketleri de farklıdır. Sismik dalgaların bu özellikleri üç bileşen sismogramlarda fazların tanınmasında kullanılabilir. Bu, özellikle, depremlerin yakın alan kısa peryod kayıtlarındaki önemli kabuksal ve dönüşmüş fazların tanınmasında yardımcı olabilir.

Sismik dalgaların polarizasyonlarına ait bilgiler hem zaman hem de frekans ortamında elde edilebilir. Bu çalışmada, kaydırılan zaman percereleri için hesaplanan kovaryans matrisinin özproblem çözümüne dayalı, bir zaman ortamı polarizasyon çözümleme tekniği incelenmiştir. Bu teknik ilk kez Flinn (1965) tarafından geliştirilerek kullanılmıştır.

Yöntem önce farklı frekans karakteristiklerinde ve farklı seviyelerde rasgele gürültüler içeren yapay sinyaller üzerinde denenmiştir. Veriler band-geçişli süzülerek, farklı kaydırma ve pencere boyları için, sinyalin geliş ve azimut açıları, doğrusalılık ve düzlemsellik gibi parametreler hesaplanmıştır. Daha sonra yöntem, yakın depremlere ait kısa-periyod üç bileşen sayısal kayıtlara uygulanmıştır.

ABSTRACT

As well-known, each type of seismic waves has different particle motion behavior. These properties of seismic waves can be used to distinguish the phases on the three component seismograms. This may particularly be useful for identifying the main crustal phases of converted phases on the short period records of local earthquakes.

Information about the polarization of seismic waves can be obtained both in time and frequency domain. In this study, a time domain polarization analysis technique that is based on the eigenproblem solution of covariance matrix computing for sliding time windows has been investigated. This technique has been proposed by Flinn (1965) and then developed and used by many researchers.

Firstly, the method has been tested on the synthetic signals having different polarization characteristics and including random noise with different levels. Parameters as angle of incidence and azimuth, degree of rectilinearity and planarity of signal have been computed for different sliding and windows lengths, after filtering the data into the bandwidths. Then, the method has been applied to the short-period three component digital records of local earthquakes.

GİRİŞ

Bölgesel olaylarda ($\Delta \leq 20^\circ$) gözlenen fazlar büyük geliş açılarına sahiptir ve dolayısıyla enerjileri bileşenler arasında nispeten daha eşit paylaşılır. Bu nedenle bölgesel fazların tanınması nisbeten güçtür. Bölgesel olaylarda, cisim dalgalarının yerel olarak yüzey dalgalarına dönüşümleri, kabuksal arayüzeylerden olan ardışık yansımalar, yanal heterojenliklerden kaynaklanan kırınma ve saçılma-

lar sismogramları daha da karmaşık hale getirir. Özellikle küçük magnitudlü yerel olayların kayıtlarında fazların tanınması oldukça zorlaşmaktadır.

Elastik dalgaların polarizasyon özellikleri farklı faz varışlarının tanınmasında yardımcı olur. P-dalgasının polarizasyonundan kaynağın doğrultusu, farklı fazların (Pn, Pg, Sn ve Lg) göreceli zamanlarından ise kaynak uzaklığı belirlenebilir. Böylece, yalnızca bir istasyon (üç bileşen) ka-

* KTÜ, Müh. Mim. Fak., Jeofizik Müh. Böl., Trabzon.

yıtları kullanılarak, küçük magnitüdü yerel olaylar ve bunların kaynakları incelenebilir.

Sinyalin polarizasyon özelliklerinin belirlenmesinde, genel olarak, zaman ve frekans ortamı olmak üzere iki yaklaşım vardır. Her iki yaklaşım da Flinn (1965) tarafından ortaya konulan bir tekniğe dayalı olarak geliştirilmiştir. Tek istasyon (Üç bileşen) için uygulanan değişik algoritmalar Shimshoni ve Smith (1964), Simons (1968), Montalbetti ve Kanasevich (1970), Smart (1977), Samson ve Olson (1980, 1981), Smart ve Sproules (1981), Von Seggern ve Marshall (1982), Christoffersson ve diğ. (1985), Vidale (1986), Sutton ve diğ. (1987), Magotra ve diğ. (1987) gibi araştırmacılar tarafından geliştirilerek kullanılmıştır. Son yıllarda özellikle, sismik ağlar (seismic array) için oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Jurkevics 1988, Jepsen ve Kewnett 1990, Bataille ve Chiu 1990).

Bu çalışmanın amacı tek istasyon üç bileşen kayıtlarında sismik dalgaların polarizasyon özelliklerinin belirlenmesi için bir zaman ortamı çözümleme (analiz) yöntemi sunmak ve uygulamalı amaçlar için ne ölçüde kullanılabilirliğini göstermektir. Bunun için önce yöntem ayrıntılarıyla verilmiş, daha sonra yöntemin duraylılığı ve gücü yapay verilerde denenmiş ve son olarak gerçek verilere uygulanmıştır.

YÖNTEM

Sismik dalgaların polarizasyon özelliklerini belirlemek için burada 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;

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

Burada X_{ij} , j -bileşenin i 'nci elemanı; N , örnek sayısı; T , dönüğü gösterir. Bu şekilde elde edilen 3×3 boyutundaki kovaryans matrisi gerçel ve simetriktir. Kovaryans matrisinin katsayıları, hareketin üç bileşeninin varyansları ve kovaryanslarıdır.

$$S = \begin{bmatrix} S_{zz} & S_{zn} & S_{ze} \\ S_{zn} & S_{nn} & S_{ne} \\ S_{ze} & S_{ne} & S_{ee} \end{bmatrix} \quad (2)$$

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 simetriktirler. 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.

Özdeğerler büyükten küçüğe doğru λ_1, λ_2 ve λ_3 olarak alınır. Tamamen doğrusal polarizasyon durumunda yalnızca bir özdeğer (λ_1) 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.

Doğrusallık (rectilinearity) ilk olarak Flinn (1965) tarafından

$$\text{rect} = 1 - (\lambda_2 / \lambda_1)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Daha sonra Montalbetti ve Kanasevich (1970) ise

$$\text{rect} = 1 - (\lambda_2 - \lambda_1)^n$$

ilişkisini vermişlerdir. Burada n ; bir sabittir (0.5-2). En uygun n değeri deneme yanılma yoluyla belirlenir. Son yıllarda daha farklı iki tanımın kullanıldığı görülmektedir. Bunlardan birincisi (Jurkevics 1988, Jepsen ve Kennett 1990);

$$\text{rect} = 1 - [(\lambda_2 + \lambda_3) / \lambda_1]$$

ikincisi (Bataille ve Chiu 1990, Cichowicz 1993);

$$\text{rect} = [(\lambda_1 - \lambda_2)^2 + (\lambda_1 - \lambda_3)^2 - (\lambda_3 - \lambda_2)^2] / 2(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)$$

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

Sinyalin polarizasyon özelliklerinden birisi de düzlemselidir. Örneğin, tam polarize olmuş Rayleigh dalgası tanecik hareketi eliptiktir ve düşey düzlemde yer alır.

Düzlemsellik

$$\text{plan} = 1 - [2 \lambda_3 / (\lambda_1 + \lambda_2)]$$

şeklinde tanımlanır. Düzlemselliğin değeri doğrusallık gibi 1 ve 0 arasında değişir. Doğrusallığın 1 olması tanecik ha-

rekentinin 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 hacimsellikte karşılaştırmak gerekir. Yani düzlemselliği 1 olan bir sinyalin hacimselliği 0 (sıfır) demektir. Bir sinyalin doğrusallık ve düzlemsellik değerleri eliptikliğinin derecesi ile orantılıdır. Polarizasyon daireselliğe yaklaştıkça doğrusallık küçülür, düzlemsellik artar.

Gelen dalganın azimutu, hareketin yatay yöneliminin elde edilebilir ve en büyük özdeğerin U_1 özvektörü ile verilir;

$$\text{azimut} = \tan^{-1}(U_{21}/U_{31})$$

Burada U_{j1} ($j=1, 2, 3$) U_1 özvektörünün doğrultman kosinüsleridir.

Yine, gelen dalganın görünür geliş açısı (düşeyden), U_1 özvektörünün düşey doğrultman kosinüsünden elde edilebilir;

$$P\text{-incidence} = \cos^{-1} |U_{11}|$$

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

YÖNTEMİN TESTİ

Bu yöntemin temel ilkesi pencere içerisindeki 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 0.01 sn, boyu 8 sn olan zaman dizisinin beşinci saniyesine yerleştirilen azimut ve geliş açısı 30° , periyodu 1 sn olan bir sinüsten oluşmaktadır. Bileşenler arasında faz farkı oluşturulmadığından, sinyal tam bir doğrusallık içermektedir. Bu zaman dizisini bilgisayarın rasgele sayı üretme fonksiyonu kullanılarak $S/G = 20$ olan rasgele gürültü eklenmiştir. Daha sonra sinyal 0.5-10 Hz ve 0.5-20 Hz lik bandlarda süzülüş, hesaplamalar her iki süzgeçleme sonucu için de yapılmıştır. Hesaplamalarda pencere boyu sinyal periyodunun % 10'undan iki katına (0.1-2 sn), % 10 artırılarak ve kaydırma miktarı da bir örnek kaydırmadan başlayarak pencere boyuna kadar % 10 artırımlarla yapılmıştır. Bu şekilde hesaplanan

doğrusallık ve düzlemsellik değerleri konturlanarak Şekil 1'de verilmiştir.

Sinyal tam bir doğrusallık içerdiği için, hem doğrusallığının hem de düzlemselliğinin 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.

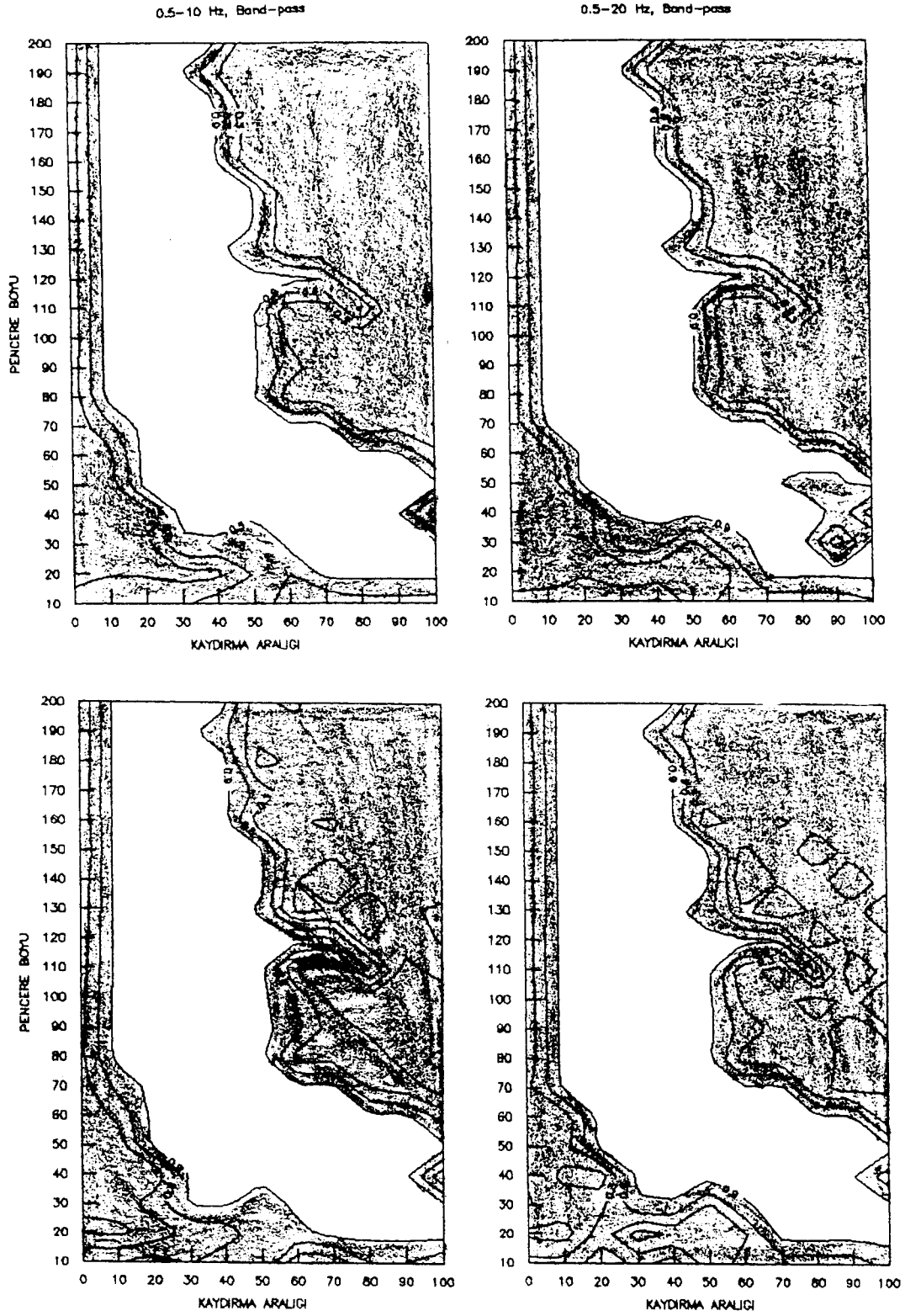
Benzer hesaplamalar azimut ve geliş açıları için de yapılmıştır. Sonuçların sunulduğu Şekil 2'de koyu bölgeler 10° 'den büyük sapmaların elde edildiği pencere boyu ve kaydırma miktarlarını göstermektedir. Şekil 1 ve 2'de verilen sonuçlara göre geniş pencere boylarında küçük kayma miktarı, dar pencere boylarında büyük kayma miktarı seçilmesi halinde daha duyarlı sonuçlar elde edilebileceği söylenebilir.

S/G oranının etkisini görebilmek için aynı veriye farklı seviyelerde ($S/G=1-20$) gürültü eklenerek polarizasyon özellikleri hesaplanmıştır (Şekil 3). Burada veriler 0.5-20 Hz arasında band-geçişli süzülüş ve pencere boyu 0.4 sn, kaydırma miktarı pencere boyunun $1/3$ 'ü kadar alınmıştır. Şekil 3'de 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.

Şekil 4'de önceki hesaplamalarda kullanılan yapay verinin benzeri (farklı olarak azimut ve kaydırma aralığı $1/3$ için hesaplanmış doğrusallık, düzlemsellik, azimut ve geliş açılarının zaman fonksiyonu olarak çizimleri verilmiştir. Şekil 4'de görüldüğü gibi, doğrusallık ve düzlemsellik sinyal süresi boyunca yüksek (1 ve 1'e çok yakın) olarak elde edilirken, azimut ve geliş açıları da tam olarak (45°) bulunmuştur.

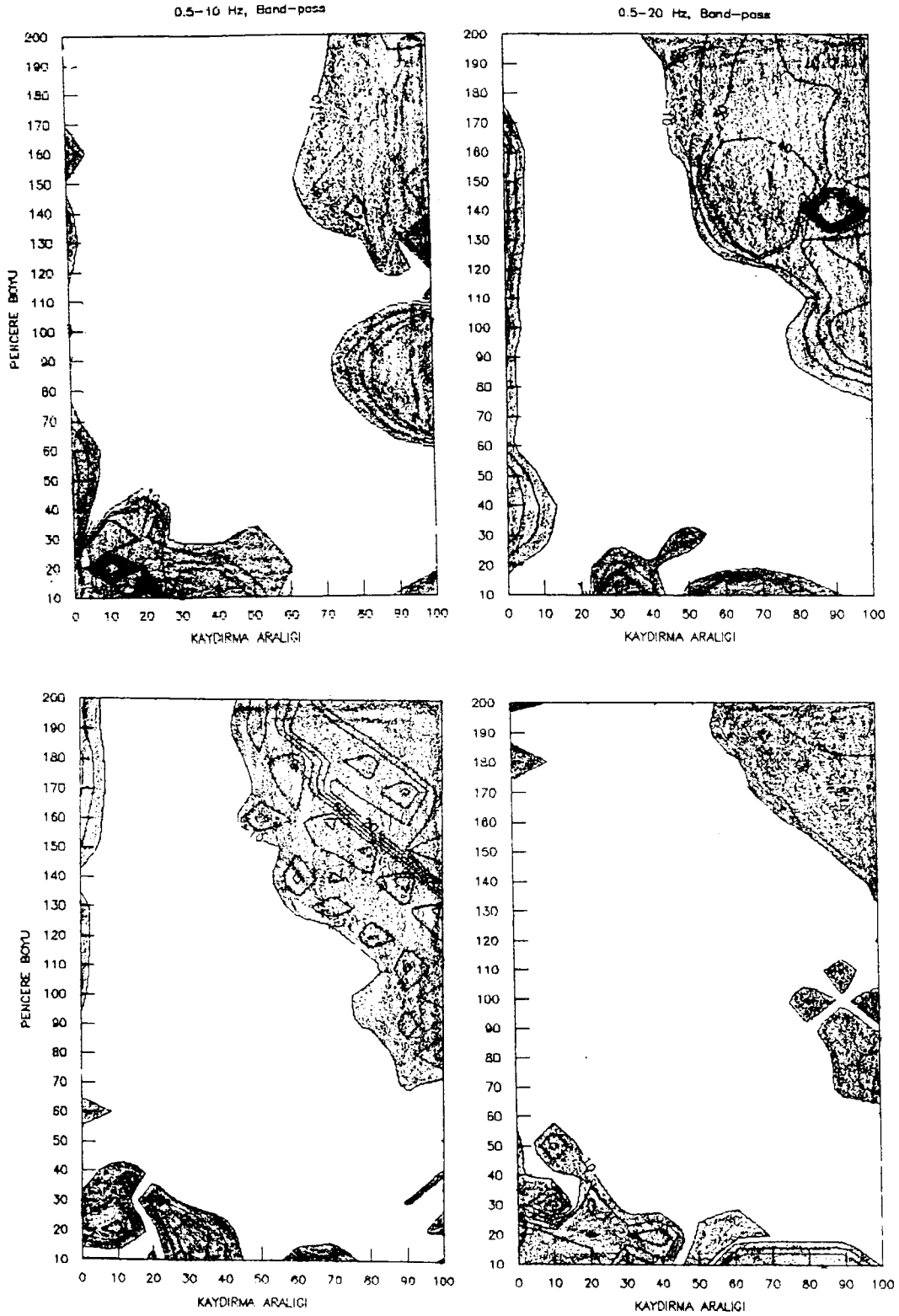
Son olarak farklı genlik ve frekanslarda (soldan, 10, 5, 3.33, 2.5, 2, 1.66, 1.43, 1.25 ve 1 Hz) azimut ve geliş açıları 30° olan sinüsten oluşan, 1-10 Hz arasında band-geçişli süzülüş bir sinyalin, önce $S/G=20$, daha sonra $S/G=1$ için polarizasyon nitelikleri, pencere boyu 0.4 sn ve kaydırma miktarı $1/3$ alınarak hesaplanmıştır (Şekil 5 ve 6).

Şekil 5'de S/G çok yüksektir. Bu nedenle tüm özellikler sinyallerin süreleri boyunca iyi bir şekilde elde edilmiştir. Ancak, pencere uzunluğunun sinyal periyodundan büyük olduğu (ilk üç sinyal) durumda, faz varışlarında bir miktar kayma olduğu gözlenmektedir. Ters olarak pencere uzunluğunun sinyal periyodundan küçük olduğu durumlarda faz varışlarında gecikme vardır.



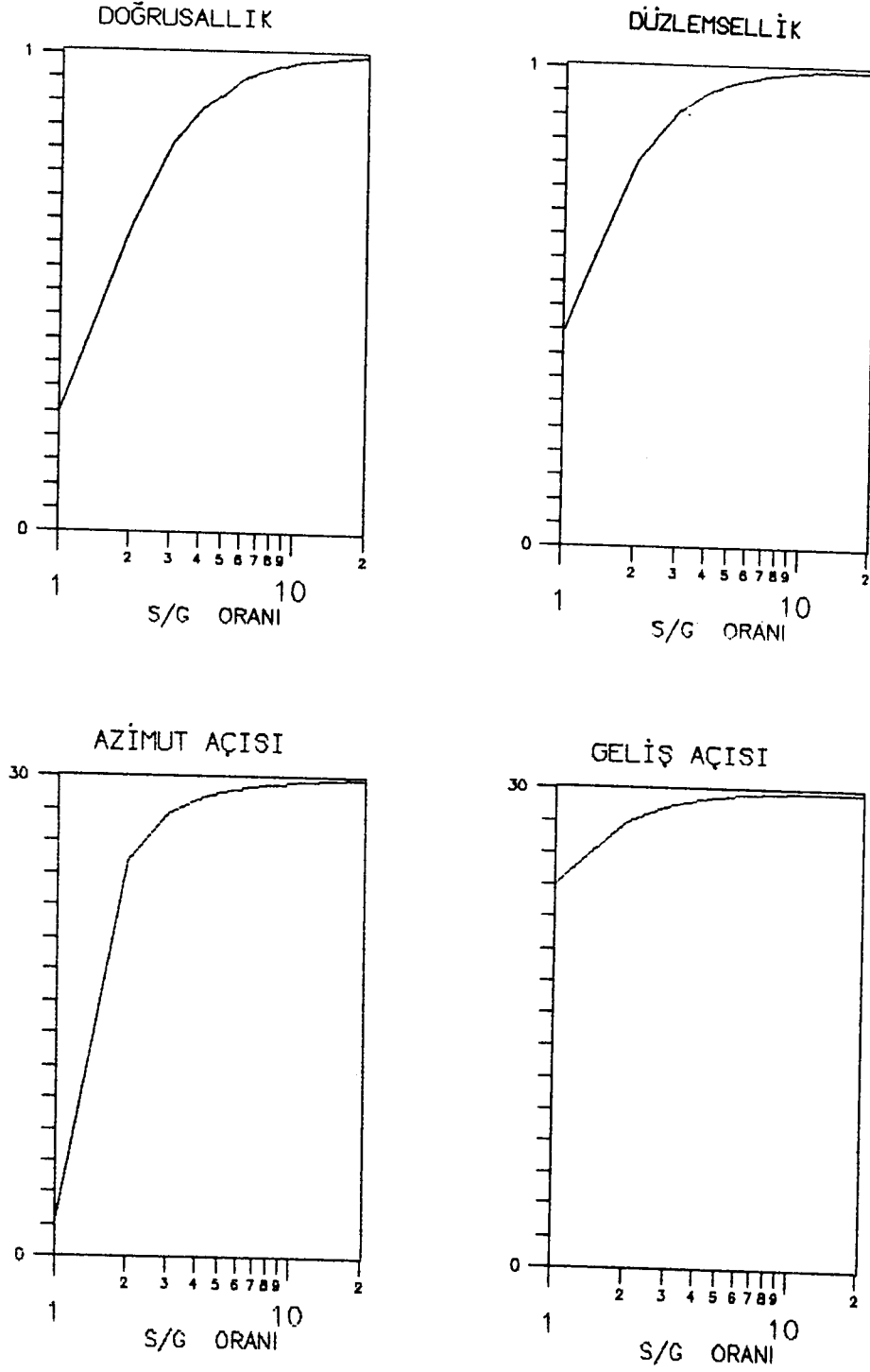
Şekil 1. Farklı kaydırma ve pencere boyları için doğrusallık (üstte) ve düzlemsellik (altta) değerlerinin kontur haritası. Koyu bölgeler % 10'dan büyük hataları göstermektedir.

Fig. 1. Contour maps of rectilinearity (top) and planarity (bottom) for the different sliding and window lengths. Shadow sections shows the errors greater than 10 percent.

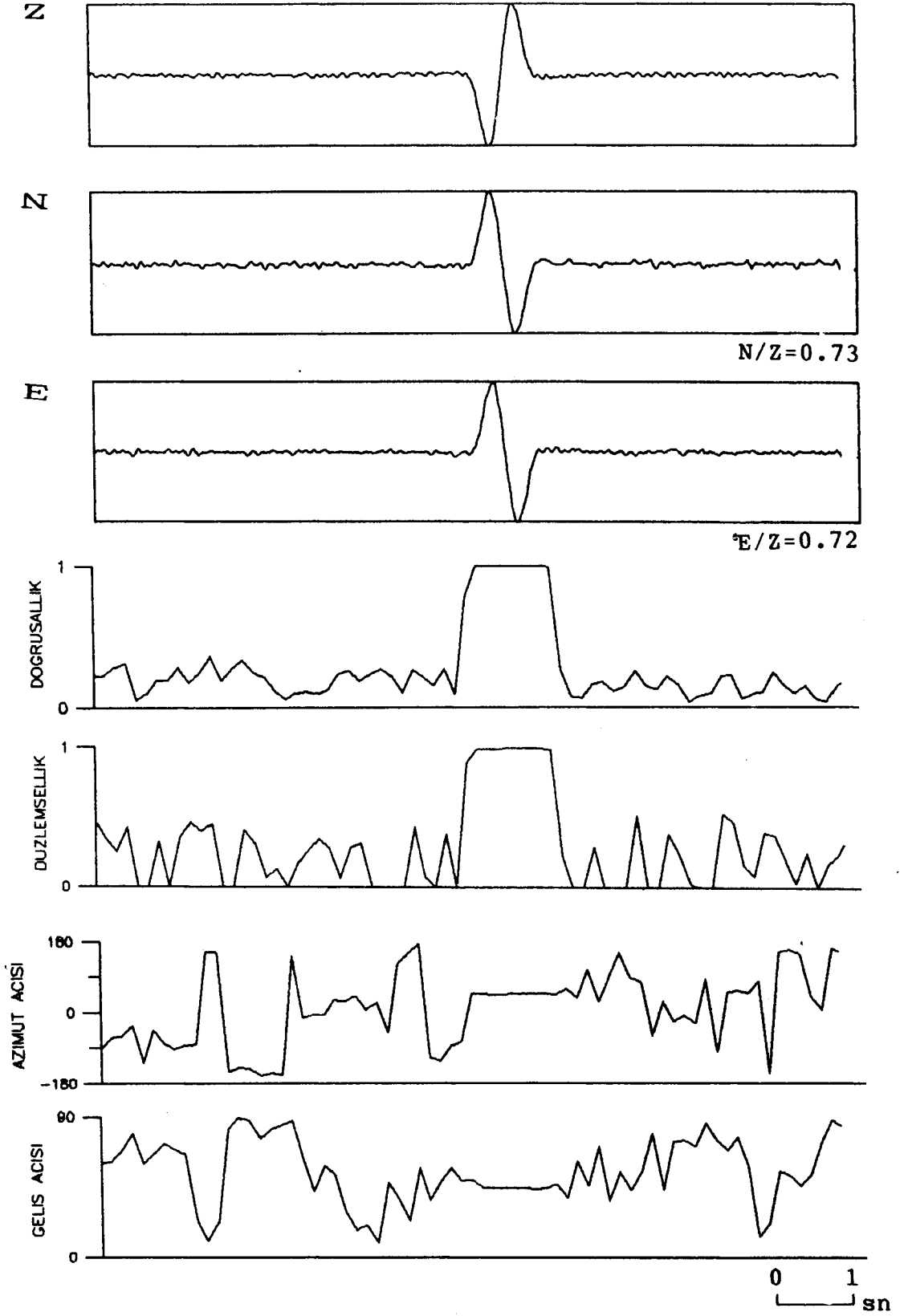


Şekil 2. Farklı kaydırma ve pencere boyları için azimut (üstte) ve geliş açısı (altta) değerlerinin kontur haritası. Koyu bölgeler 10° 'dan büyük olduğu değerleri göstermektedir.

Fig. 2. Contour maps of azimuth (top) and incidence (bottom) angles for the different sliding and window lengths. Shadow sections shows the errors greater than 10° .

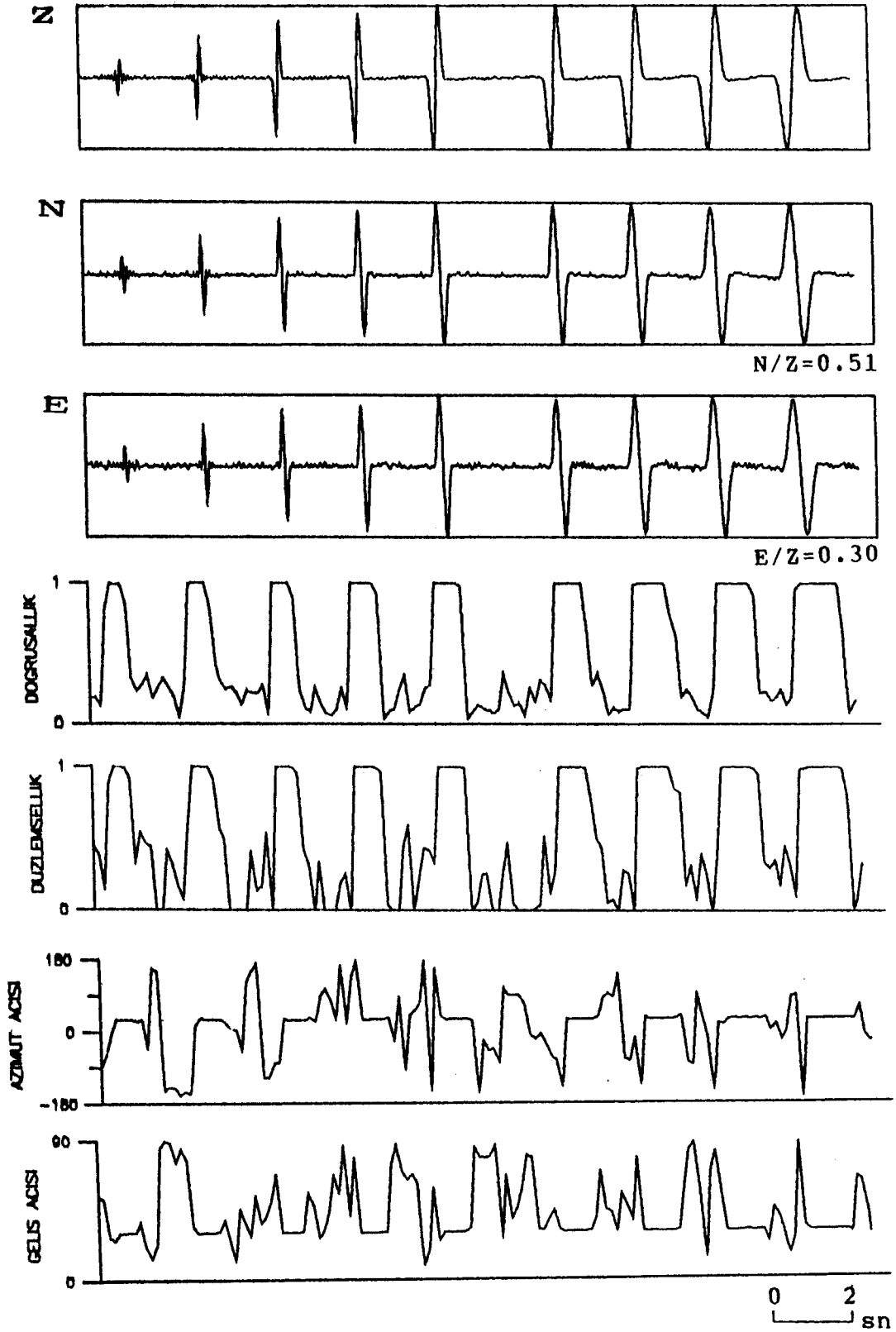


Şekil 3. Azimut ve geliş açısı 30° olan doğrusal polarizasyona sahip bir sinyal için S/G oranının fonksiyonu olarak polarizasyon nitelikleri.
 Fig. 3. Polarization attributes as a function of S/N ratios for the linear polarized signal which has 30° azimuth incident angles.

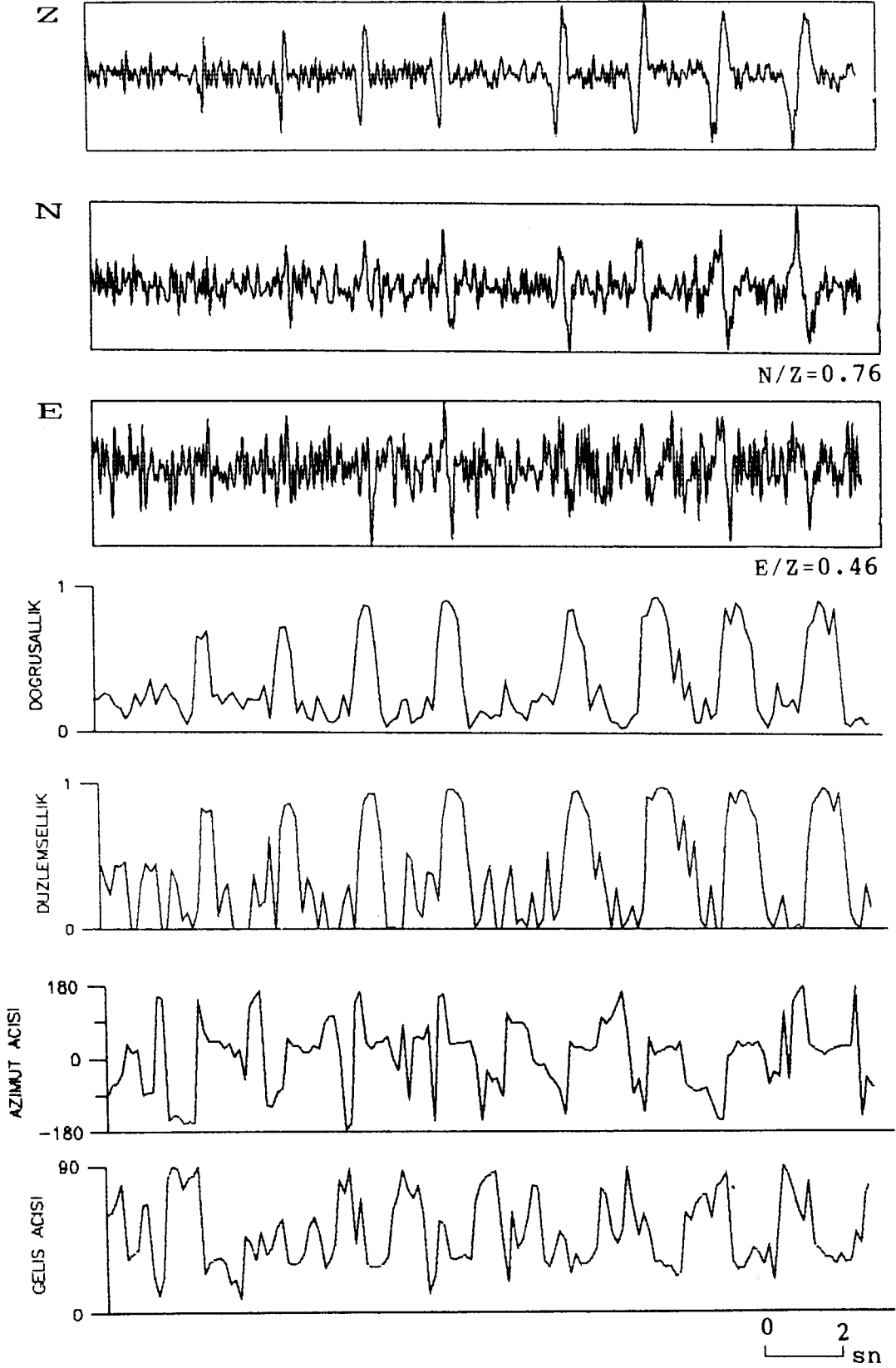


Şekil 4. Azimut ve geliş açısı 45° olan üç bileşen yapay veri ve bunların polarizasyon nitelikleri ($S/G=20$).

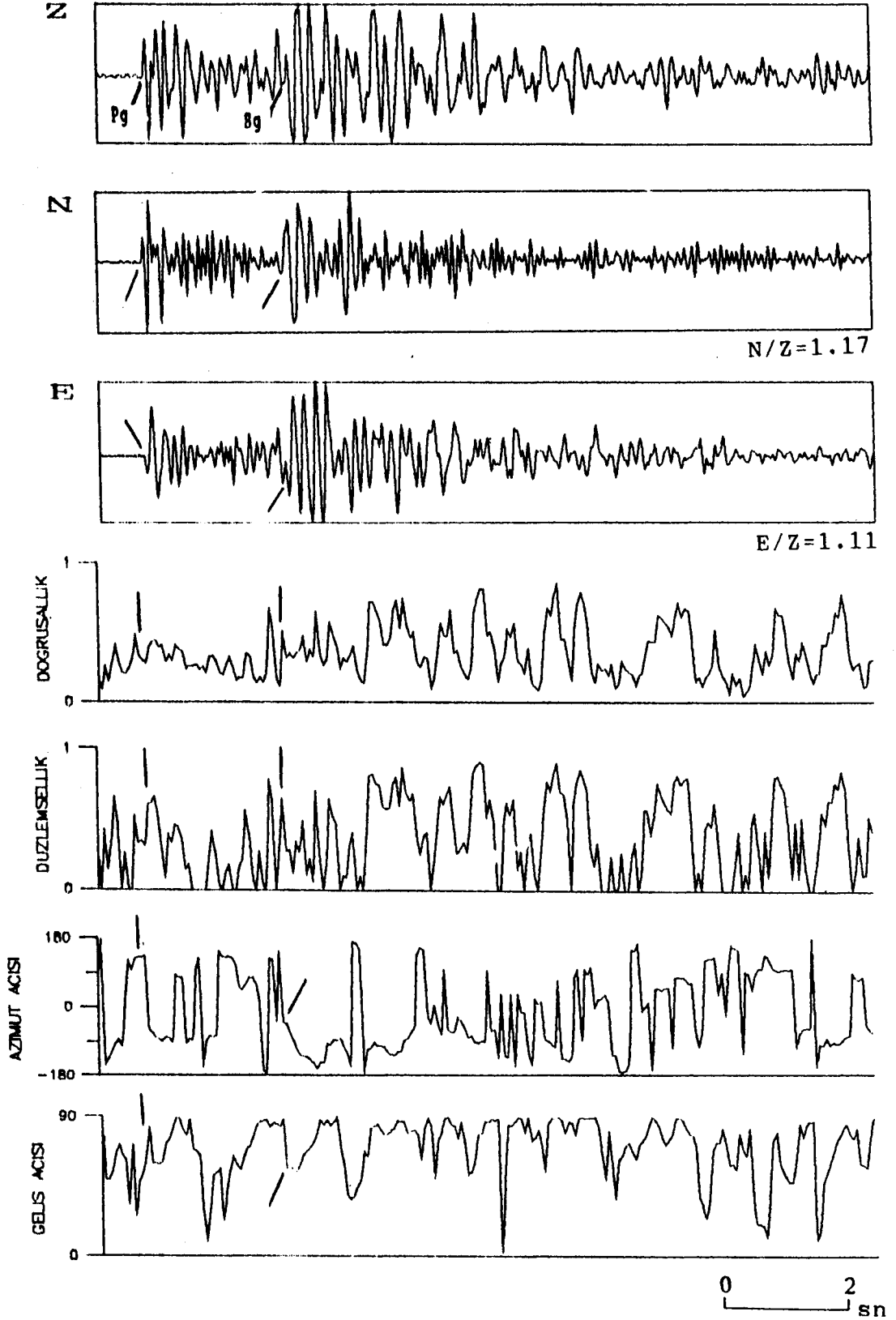
Fig. 4. Three component synthetic data having 45° azimuth and incident angles ($S/N=20$), and their polarization attributes.



Şekil 5. Farklı genlik ve periyodlu sinüslerden oluşan üç bileşen yapay veri ve bunların polarizasyon nitelikleri ($S/G=20$).
 Fig. 5. Three component synthetic data consisting of the sinus functions having different amplitude and period ($S/N=20$), and their polarization attributes.

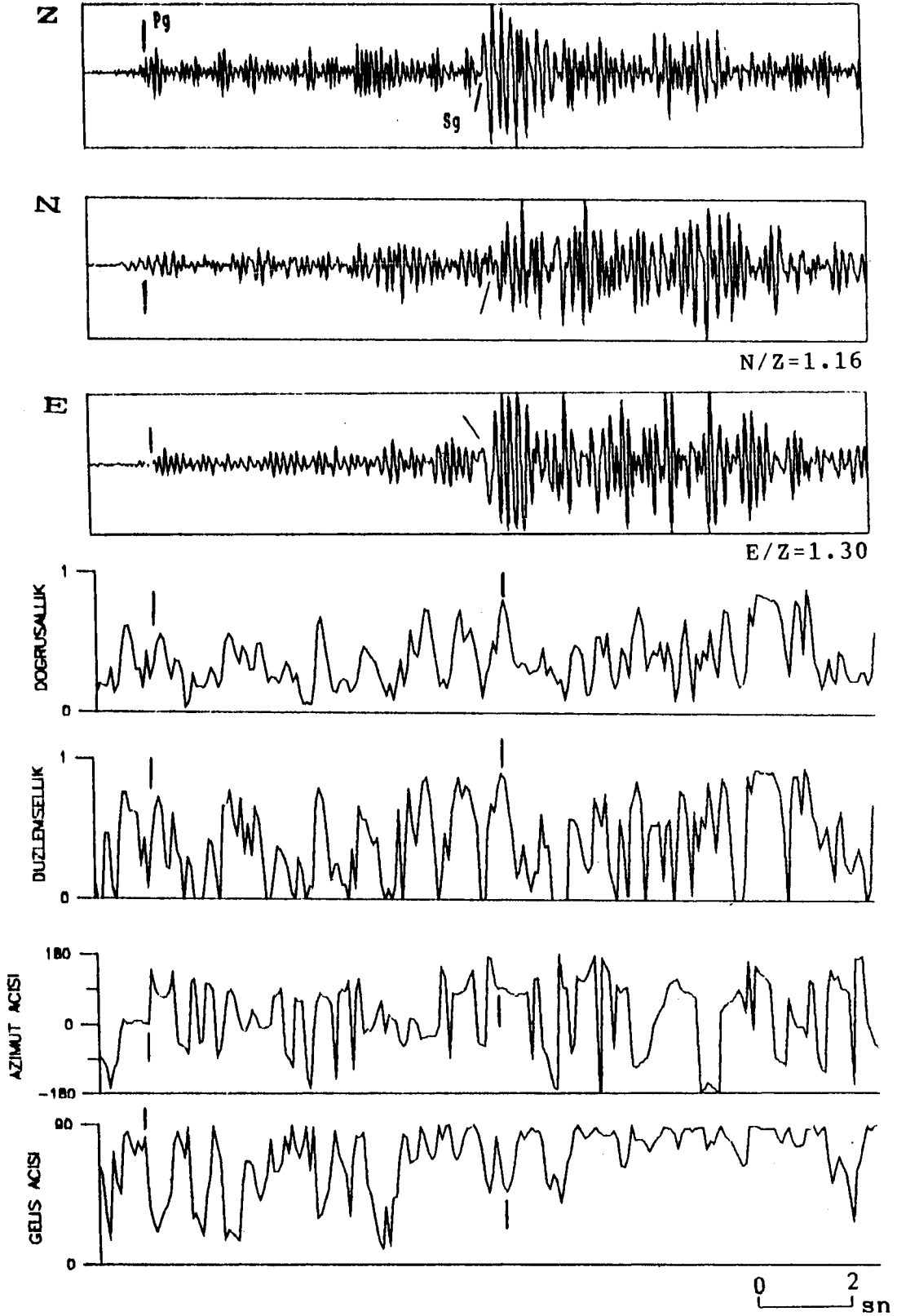


Şekil 6. Farklı genlik ve peryodlu sinüslerden oluşan üç bileşen yapay veri ve bunların polarizasyon nitelikleri ($S/G=1$).
 Fig. 6. Three component synthetic data consisting of the sinus functions having different amplitude and period ($S/N=1$), and their polarization attributes.



Şekil 7. Çizelge 1'deki ilk depremin üç bileşen kaydı ve bunların polarizasyon nitelikleri.

Fig. 7. Three component records of the first earthquake in Table 1, and their polarization attributes.



Şekil 8. Çizelge 1'deki ikinci depremin üç bileşen kaydı ve bunların polarizasyon nitelikleri.

Fig. 8. Three component records of the second earthquake in Table 1, and their polarization attributes.

Şekil 6'da $S/G=1$ alınmıştır (süzgeçleme işlemi gürültü eklendikten sonra yapıldığı için bu oran biraz daha artmıştır). 10 Hz'lik, genliği çok küçük olan (0.5 cm) sinyal dışında, tüm fazlar iyi bir şekilde tanınabilmektedir.

GERÇEK VERİLER

Örnek olarak alınan iki gerçek veri Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi İstanbul (İST) İstasyonu'nda kaydedilen yakın alan depremlerine aittir. Kayıtlar sayısaldır ve örnek aralıkları 0.01 sn'dir. Bu depremlere ait odak parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Polarizasyon özellikleri incelenen depremlerin odak parametreleri.

Table 1. Focus parameters of the earthquakes which are subject to the polarization analysis.

Tarih	Enlem	Boylam	Δ (Km)	Az(*)	Mb
29.08.1989	40.91N	29.13E	18.13	161	2.5
06.11.1989	40.46N	28.96E	67.00	187	3.3

Birinci örnek episantr uzaklığı 18 km olan oldukça yakın bir depreme aittir. Şekil 7'de bu depremin üç bileşen kaydı (üstte) ve belirlenen polarizasyon nitelikleri görülmektedir. Sismogramlar önce 1-15 Hz arasında bandgeçişli süzölmüştür. Polarizasyon özelliklerinin hesaplanmasında zaman penceresinin boyu 0.25 sn ve kaydırma aralığı pencere boyunun % 25'i olarak alınmıştır. Faz varışlarının daha duyarlı elde edilebilmesi için pencere boyu küçük alınmıştır. Bu nedenle sismogramlardaki çok küçük genlikli fazlarda dahi polarizasyon nitelikleri ani değişimlerle faz başlangıçlarını iyi bir şekilde belirtmektedir. Şekil 7'de yalnızca Pg ve Sg fazları işaretlenmiştir. Pg için nispeten düşük doğrusalılık (≈ 0.65) bulunmuştur. Azimut açısı $\approx 120^\circ$ ve geliş açısı $\approx 82^\circ$ 'dir. Bu azimut değeri koordinatlardan hesaplanan ile karşılaştırıldığında yaklaşık 40° 'lik bir yanlılığı içermekte gibi görülmektedir. Oysa, Özer ve diğ. (1993), aynı depremin azimutunu tanecik hareketi çizimlerinden burada belirlendiği gibi 120° bulmuşlardır. Yani burada belirlenen tanecik azimut ve geliş açısı oldukça duyarlıdır. Doğrusallığın beklendiği kadar yüksek çıkamaması, pencere boyunun yeteri kadar uzun alınmaması nedeniyle olabilir.

İkinci örnek olayın episantr uzaklığı yaklaşık 68 km'dir. Yani bu depremden de ilk varış Pg'dir. Sismogramlar önce 1-15 Hz arasında bandgeçişli süzölmüşler ve zaman penceresinin boyu 0.3 sn, kaydırma miktarı pencere boyunun % 25'i olarak alınmıştır. Şekil 8'de ikincine ait sismogramlar ve hesaplanan polarizasyon nitelikleri verilmiştir. Burada da yalnızca Pg ve Sg fazları işaretlenmiştir. Sismogramlarda Sg güçlü varışı ile açık bir şekilde görülebilirken, Pg varışı nispeten belirsizdir. Ancak elde

edilen polarizasyon niteliklerinin çizimlerinden Pg varışı tereddütsüz işaretlenebilmektedir. Birinci örnekte olduğu gibi diğer kabuksal fazların varışları ve polarizasyon özelliklerinden yararlanılarak tanıları yapılabilir.

SONUÇLAR

Sinyal polarizasyonu belirleme yöntemleri, daha önce de belirtildiği gibi, seçilen zaman penceresi içerisindeki sinyale en küçük kareler anlamında en uygun elipsoidin belirlenmesine dayanır. Bu nedenle sonuçların duyarlılığı pencere boyuna bağlıdır. Bu, incelenen zaman ortamı yönteminin en büyük dezavantajıdır. Pencere boyunun seçiminde en uygun pencere boyu amaca göre değişebilmektedir. Örneğin, amaç faz varışlarını duyarlı bir şekilde belirlemek ise, pencere boyu sinyal periyodundan kısa, amaç sinyalin polarizasyon özelliklerini daha duyarlı elde etmek ise, daha uzun pencere boyu seçilmesi daha iyi sonuçlar vermektedir. Bir sismogramın bütünü için, en uygun pencere boyu seçimi kayıttaki hakim periyod dikkate alınarak yapılmalıdır.

Dalgaların polarizasyon özellikleri geçmişten beri sinyal kökenli gürültülerin süzülmesinde polarizasyon süzgeçleri olarak kullanılmaktadır. Özellikle doğrusal polarize olan sismik dalgaların belirlenmesinde polarizasyon süzgeçleri oldukça başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Polarizasyon çözümlemesinde doğrusallağın yanısıra düzlemsellik, azimut ve geliş açılarının hesaplanması doğrusal olmayan polarizasyona sahip dalgaların da tanınmasında yardımcı olmaktadır. Faz tanımasında, bunların dışında, P, SV, SH enerji paylaşımları, toplam enerji, 3-bileşen genliği (bu toplam enerjinin değişik bir ifadesidir), yatay/düşey, radyal/teğetsel bileşen genlik oranları, polarizasyon elipsoidinin kısa eksenin oryantasyonu gibi sinyal polarizasyonu-na dayalı parametrelerden de yararlanılabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Bataille, K. and Chiu, J.M. 1990, Polarization Analysis of High-Frequency, Three-Component Seismic Data, Center for Earthquake Research and Information Memphis State Univ., Memphis, Bull. Seism. Soc. Am., (submitted).
- Christoffersson, A., Husebye, E.S. and Ingate, S.F. 1985, A new technique for 3-component seismogram analysis, Semiannual Technical Summary, Oct. 1984-Mar. 1985, NORSAR Scientific Report 2-85/86, Kjeller, Norway.
- Cichowicz, A. 1993, An Automatic S-phase picker, Bull. Seism. Soc. Am. 83, 180-189.
- Flinn, E.A. 1965, Signal analysis using rectilinearity and direction of particle motion, Proc. IEEE 53, 1874-1876.
- Jepsen, D.C. and Kennett, L.N. 1990, Three-component analysis of regional seismograms. Bull. Seism. Soc. Am. 80, 2032-2052.

- Jurkevics, A. 1988, Polarization analysis of three-component array data, *Bull. Seism. Soc. Am.* 78, 1725-1743.
- Kanasewich, E.R. 1981, Time Sequence Analysis in Geophysics, The University of Alberta Press, 334-354.
- Magotra, N., Ahmed, N. and Chael, E. 1987, Seismic event detection and source location using single-station (three-component) data, *Bull. Seism. Soc. Am.* 77, 958-971.
- Montalbetti, J.F. and Kanasewich, E.R. 1970, Enhancement of teleseismic body phases with a polarization filter, *Geophys J.R. Astro. Soc.* 21, 119-129.
- Özer, M.F. Osmanşahin, İ. Türkmen, R.Ç. ve Kenar, Ö. 1993, Azimutal Anomalilere göre Marmara Bölgesinde Moho Süreksizliğinin Göreceli Topoğrafyası, Türkiye 13. Jeofizik Kurultayı (bildiri, yayınlanmamış).
- Samson, J.C. and Olson, J.V. 1980, Some comments on the descriptions of the polarization states of waves, *Geophys. J.R. Ast. Soc.* 61, 115-130.
- Samon, J.C. and Olson, J.V. 1981, Data-adaptive polarization filters for multichannel geophysical data, *Geophysics* 46, 1423-1431.
- Shimshoni, M. and Smith, S.W. 1964, Seismic signal enhancement with three-component detector, *Geophysics* 29, 664-671.
- Simsons, R.S. 1968, A surface-wave particle motion discrimination process, *Bull. Seism. Soc. Am.* 58, 629-638.