

# POLARİZASYON ÖZELLİKLERİNE DAYALI YÜZEY DALGASI AYRIM SÜZGEÇİ

## Surface Wave Discrimination Filter Based on the Polarization Properties

İlhan OSMANŞAHİN\*, Mithat Fırat ÖZER\* ve Nilgün SAYIL\*

### ÖZET

Temel yüzey dalgası türleri olan Love ve Rayleigh dalgaları sırasıyla enine yatay doğrultuda doğrusal olarak polarlanmış ve düşey-ışımsal düzlemde eliptik bir tanecik hareketi gösterirler. Cisim dalgalarında olduğu gibi, yüzey dalgası ayırım süzgeçlerinin düzenlenmesinde de polarizasyon özelliklerinden yararlanılmaktadır. Bu tür bir süzgeçleme işlemi, yüzey dalgalarının genellikle dispersif olmalarından dolayı frekans ortamında yapılır. Uygulanan işlem, yer hareketinin üç bileşenine (düşey Z, ışımsal R ve teğetsel T) ait genlik değerlerinin her bir frekans için tanecik hareketine uygun biçimde ağırlıklandırılması şeklindedir. Bu ağırlıklandırma, seçilen bir pencere boyu ve kaydırma aralığı için her bir bileşenin tamamına uygulanır. Her bir pencere için ağırlıklandırılan kısımlar zaman ortamına geçirilir ve sonuç olarak üst üste gelen noktalara ait değerlerin aritmetik ortalaması alınarak süzölmüş sinyaller elde edilir.

Yöntem episantr uzaklıkları farklı üç büyük deprem SRO ya ait ANTO istasyonundaki uzun-periyod sayısal üç bileşen kayıtları üzerinde denenmiş ve pencere boyu ile kaydırma aralığının sonuçları büyük ölçüde etkilediği görölmüştür. En iyi sonuçların elde edildiği durumlarda pencere boyu ile kaydırma aralığı arasında yaklaşık 4.4 lük bir oran olduğu saptanmıştır.

### ABSTRACT

The basic surface waves Love and Rayleigh show the particle motions polarized linearly in the transversal-horizontal plane and elliptically in the vertical-radial plane, respectively. Like in the body waves, polarization properties can be used to design the surface wave discrimination filter. This kind of filtering process is performed in the frequency domain since the surface waves are mostly dispersive. The process consists of weighting the amplitudes of three components (vertical Z, radial R and tangential T) of the ground motion at each frequency according to the particle motion. This weighting is applied to entire length of each component for selected window length and moving interval. Weighted segments for each window are transformed to the time domain, and finally, filtered signals are obtained as the arithmetic average of values of the overlapping points.

The method has been applied to the long-period digital three component records at the station SRO ANTO from three great earthquakes having different epicentral distances, and noticed that the window length and moving interval effected the results on a large scale. For the cases in which the best results are obtained, it has been determined that the ratio between the window length and moving interval is approximately 4.4.

### GİRİŞ

Tek istasyon üç bileşen veya sismik örü istasyonlarına ait sayısal kayıtlara uygulanan polarizasyon çözümlenmeleri elastik dalgaların özellikleri hakkında oldukça önemli

bilgiler sağlar. Polarizasyon çözümlenmeleri doğrusallık (rectilinearity) ve yönsellik (directionality) niteliklerinin belirlenmesine dayalıdır. Bu konuda ilk çalışma Gal'perin ve Frolova (1960) tarafından yapılmıştır. Daha sonraki yıl-

\* Karadeniz Teknik Üniversitesi, JEOFİZİK Mühendisliği Bölümü, 61080 Trabzon.

larda Shimsoni ve Smith (1964), Flinn (1965) ve Mercado (1968) polarizasyon çözümlenmeleri ile ilgili çeşitli algoritmalar geliştirmişlerdir. Basa ve diğ. (1993) ile Özer ve Basa (1994), doğrusallık ve yönsellik niteliklerinin veri kovaryans matrislerinden kolayca elde edilebildiğini göstermişlerdir. Bu nitelikler sismolojik çalışmaların temeli olan sismik dalga türü ayırtılması için ağırlık fonksiyonlarının düzenlenmesini sağlar. Alkaz ve diğ. (1977) ağırlık fonksiyonlarının frekans bağımlı olarak belirlenmesine çalışmışlardır. Yakın yıllarda, özellikle sayısal kayıt alan istasyonların ve sismik örülerin artmasıyla polarizasyon çözümlenmelerine yönelik çalışmalar da yoğunluk kazanmıştır. Zaman ortamında ve frekans ortamında uygulanan yöntemler ortaya konulmuştur. Esmersoy (1984), Jurkevics (1988) ve daha pek çok araştırmacı tarafından üç bileşen istasyon örülerine ait veriler incelenmiş ve oldukça çarpıcı sonuçlar elde edilmiştir. Perelberg ve Hornbostel (1994), çok kanallı sismik verilere polarizasyon çözümlenmeleri uygulamışlardır.

Farklı bileşenlerde kaydedilen sinyaller aynı fazlı ise doğrusal bir hareket yani P veya S dalgaları, farklı fazlı ise eliptik bir hareket yani Rayleigh dalgaları söz konusudur. Dolayısıyla, Love dalgaları enine yatay doğrultuda doğrusal polarlanmış bir hareket ve Rayleigh dalgaları düşey-ışınsal düzlemde eliptik bir tanecik hareketi gösteren operatörler düzenlenerek ağırlıklandırılmak suretiyle süzgeçlenebilir. Bu özelliğe dayalı olarak Simons (1968) tarafından ortaya koyulan bir yüzey dalgası süzgeçleme yöntemi bu çalışmada irdelenmiş ve uygulanmıştır.

## YÖNTEM

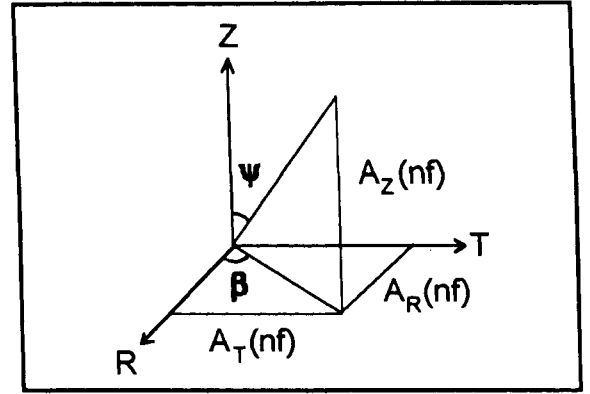
Simons (1968) tarafından belirtildiği şekilde, önce yer hareketinin Z, R ve T bileşenlerine ait ayrı Fourier serileri elde edilir. Herbir frekanstaki genlikler, belirlenen yöndeki kuramsal Love ve Rayleigh dalga modelleri için, bu frekanstaki üç boyutlu tanecik hareketi yörüngesine yakınlığına göre ağırlıklandırılır. Sonra düzeltilmiş bu genlikler sinyalin zaman ortamında tekrar oluşturulması için kullanılır.

$\Delta t$  örnekleme aralığı olmak üzere boyu  $N\Delta t$  olan bir zaman dilimindeki yer hareketinin herbir bileşeni için herbir harmoniğin genlik ve fazı ayrık Fourier katsayıları  $a(\eta f)$  ve  $b(\eta f)$  cinsinden

$$A_i(\eta f) = [a_i^2(\eta f) + b_i^2(\eta f)]^{1/2} \quad (1)$$

$$\phi_i(\eta f) = \arctan \frac{b_i(\eta f)}{a_i(\eta f)} \quad \eta = 0, 1, 2, \dots, N/2 \quad (2)$$

şeklinde verilir. Burada  $i = Z, R, T$  dir, yani hareketin düşey, ışınsal ve teğetsel bileşenlerine karşılık gelir. Görünür yatay azimut (Şekil 1)



Şekil 1. Görünür yatay azimut  $\beta$ , tanecik hareketi elipsinin büyük ekseninin düşey ile yaptığı açı  $\psi$  ve yer hareketinin üç dik bileşeni arasındaki ilişkiler.

Fig. 1. The relation between the apparent horizontal azimuth  $\beta$ , the eccentricity  $\psi$  and the three orthogonal components of ground motion.

$$\beta(\eta f) = \arctan \frac{A_T(\eta f)}{A_R(\eta f)} \quad (3)$$

bağıntısıyla tanımlanır ve tanecik hareketi elipsinin büyük ekseninin Z ile yaptığı açı

$$\psi(\eta f) = \arctan \frac{A(\eta f)}{A_Z(\eta f)} \quad (4)$$

olarak ifade edilir. Burada

$$A(\eta f) = [A_R^2(\eta f) + A_T^2(\eta f)]^{1/2}$$

dir. Işınsal ve düşey bileşenler arasındaki faz farkı

$$\alpha(\eta f) = \phi_R(\eta f) - \phi_Z(\eta f) \quad (5)$$

olarak belirlenir.  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\psi$  fonksiyonları aşağıdaki bağıntılara göre genlik katsayılarını ağırlıklandırmada kullanılır.

$$\begin{aligned} A'_Z(\eta f) &= A_Z(\eta f) \cdot \cos^M[\beta(\eta f)] \cdot \cos^K[\psi(\eta f) - \theta] \cdot \sin^N[\alpha(\eta f)] \\ A'_R(\eta f) &= A_R(\eta f) \cdot \cos^M[\beta(\eta f)] \cdot \cos^K[\psi(\eta f) - \theta] \cdot \sin^N[\alpha(\eta f)] \\ A'_T(\eta f) &= A_T(\eta f) \cdot \sin^M[\beta(\eta f)] \cdot \sin^K[\psi(\eta f)] \end{aligned} \quad (6)$$

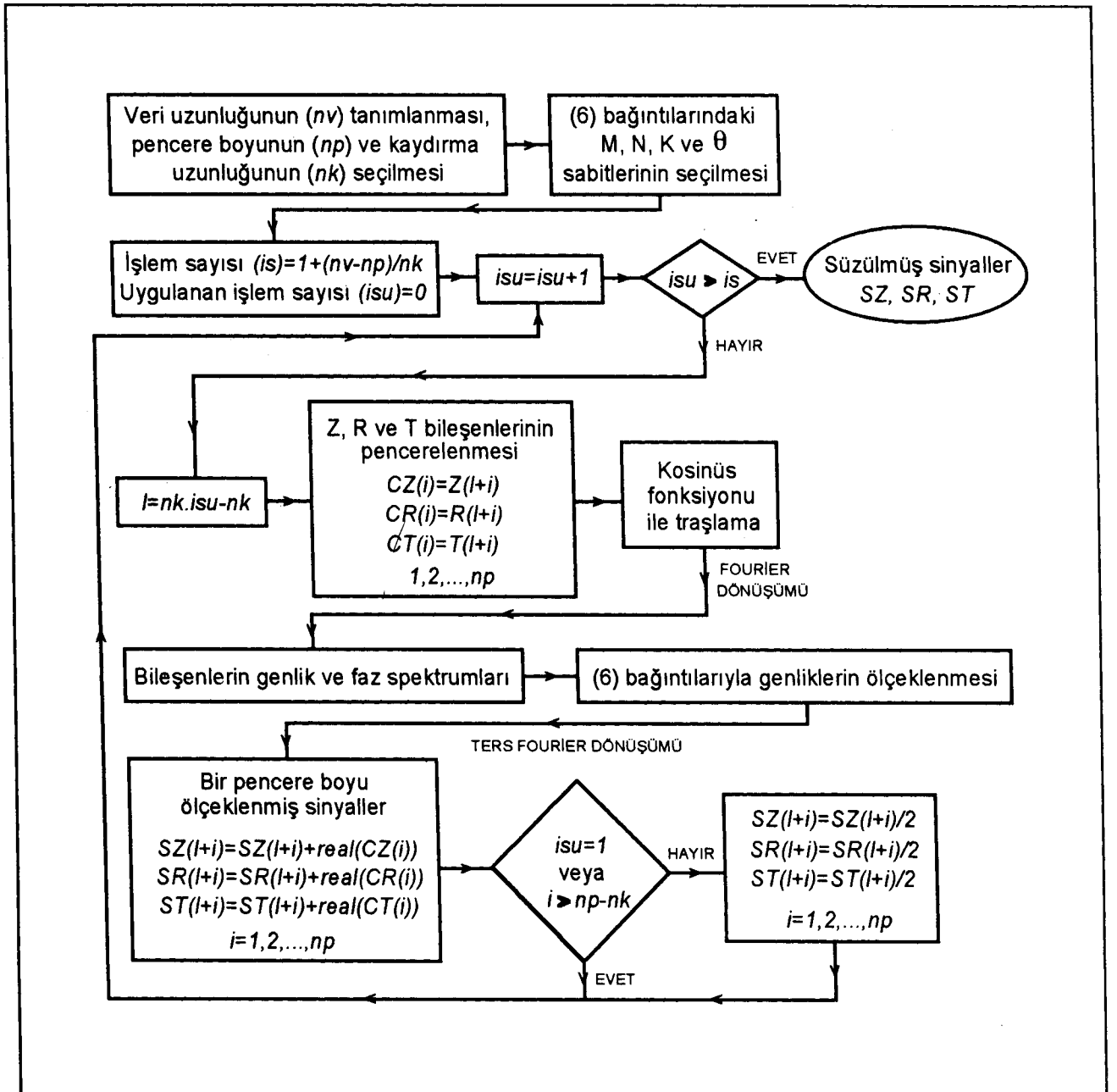
M, K ve N üstleri deneysel olarak belirlenmektedir. Z ve R bileşenleri için aynı ağırlıkların uygun olduğu ve  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\psi$

fonksiyonlarının 0-1 aralığında yer aldığı görülmektedir.  $A'_Z(\eta f)$  ve  $A'_R(\eta f)$  için verilen bağıntılardaki  $\theta$  parametresi belirli bir yatay/düsey yerdeğiştirme oranı değerini koruyacak şekilde seçilebilir.

Yatay düzlemde belirli bir frekanstaki hareket tam olarak ışınsal ( $\beta(\eta f) = 0$ ) ise,  $A_Z(\eta f)$  ve  $A_R(\eta f)$  değerini korur ve  $A_T(\eta f)$  azalır. Diğer taraftan tam bir teğetsel hareket ( $\beta(\eta f) = \pi/2$ ) için düsey-ışınsal düzlemde genlikler zayıflayacaktır.  $\varphi(\eta f) = \theta$  olduğunda ise ışınsal ve düsey doğrultulardaki genlikler  $\cos^k[\varphi(\eta f) - \theta]$  fonksiyonuna göre birim ağırlıklandırma içerir. Tam yatay bir hareket

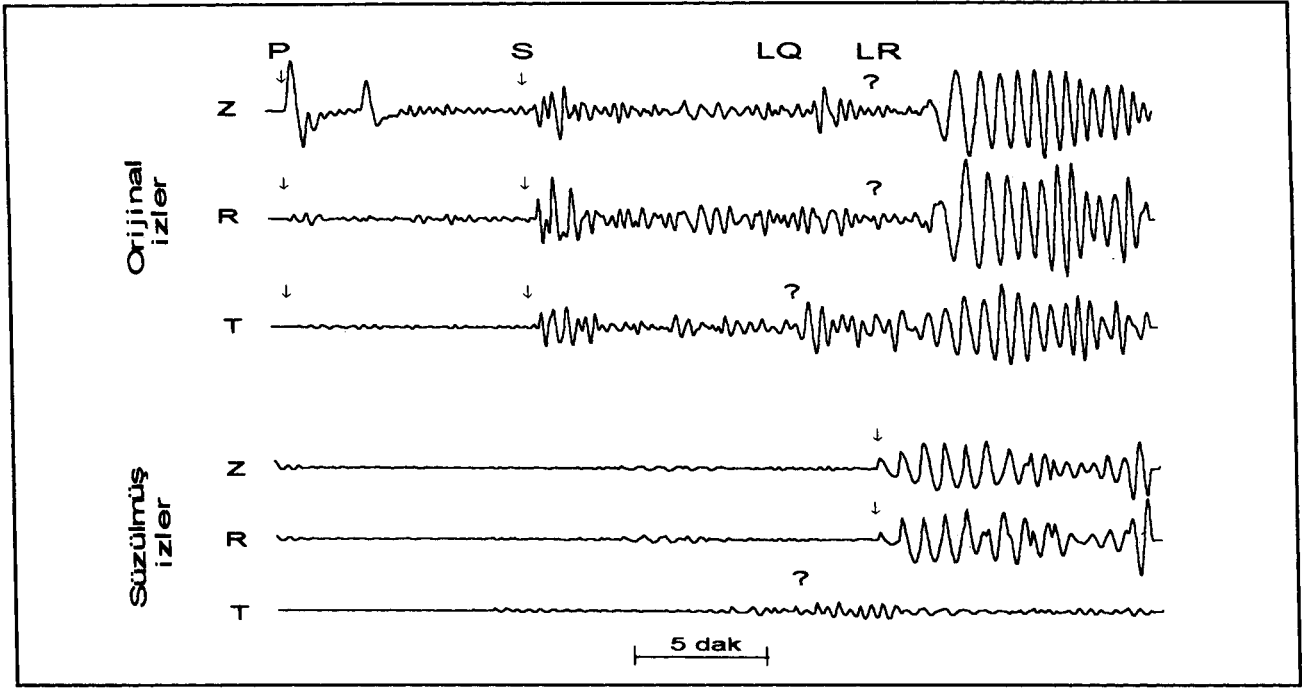
için ( $\varphi(\eta f) = \pi/2$ )  $\sin^k[\varphi(\eta f)]$  fonksiyonuna göre teğetsel doğrultudaki genliğe birim ağırlık uygulanır.  $\sin^N[\alpha(\eta f)]$  fonksiyonu, retrograd bir hareket sergileyen ana mod Rayleigh dalgaları için kuramsal olarak  $\pi/2$  den başlayan ışınsal ve düsey bileşenler arasındaki faz farkının yakınlığına göre 1 den 0 a kadar değişen bir miktarla ışınsal ve düsey genlikleri azaltacaktır.

Böylece bu ağırlıklandırma faktörlerinin toplam etkisinin kayıt istasyonuna ulaşan bazı periyotlardaki Rayleigh veya Love dalgalarını güçlendirdiği görülür. Örneğin yatay düzlemdeki hareket hakim ölçüde ışınsal ise, yatay/



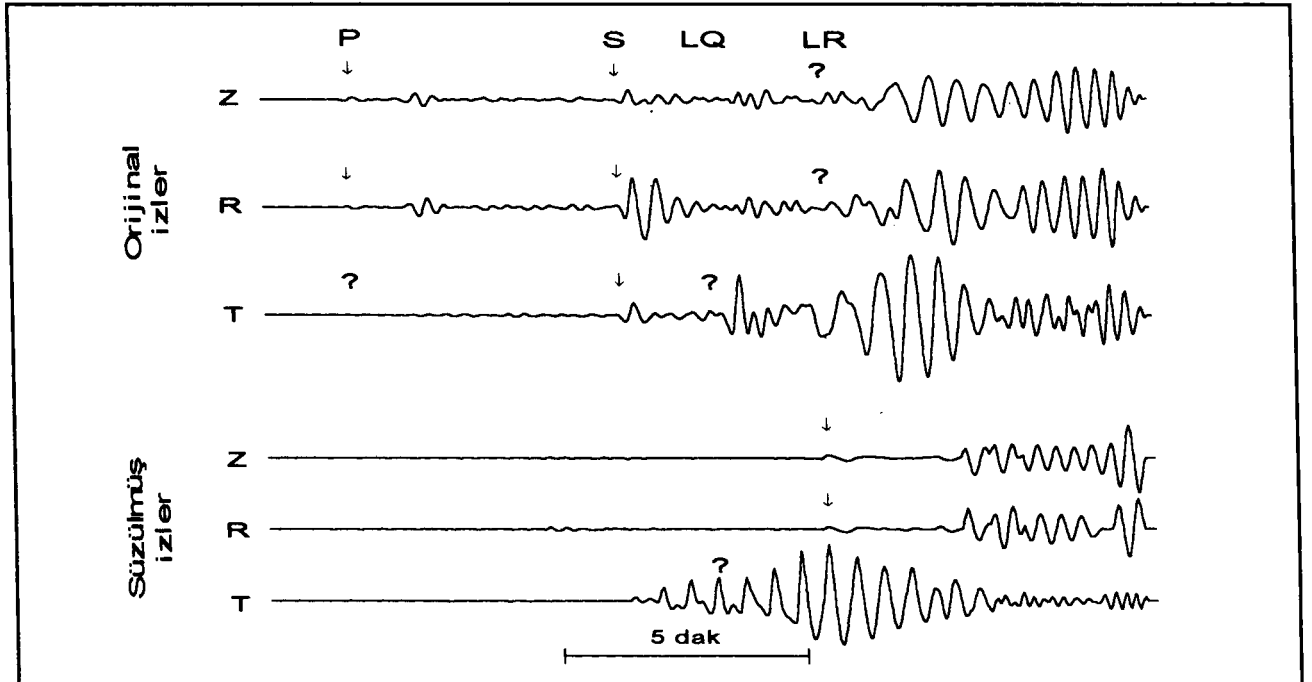
Şekil 2. Uygulanan işlemlerin akış şeması.

Fig. 2. The flow diagram of applied processes.



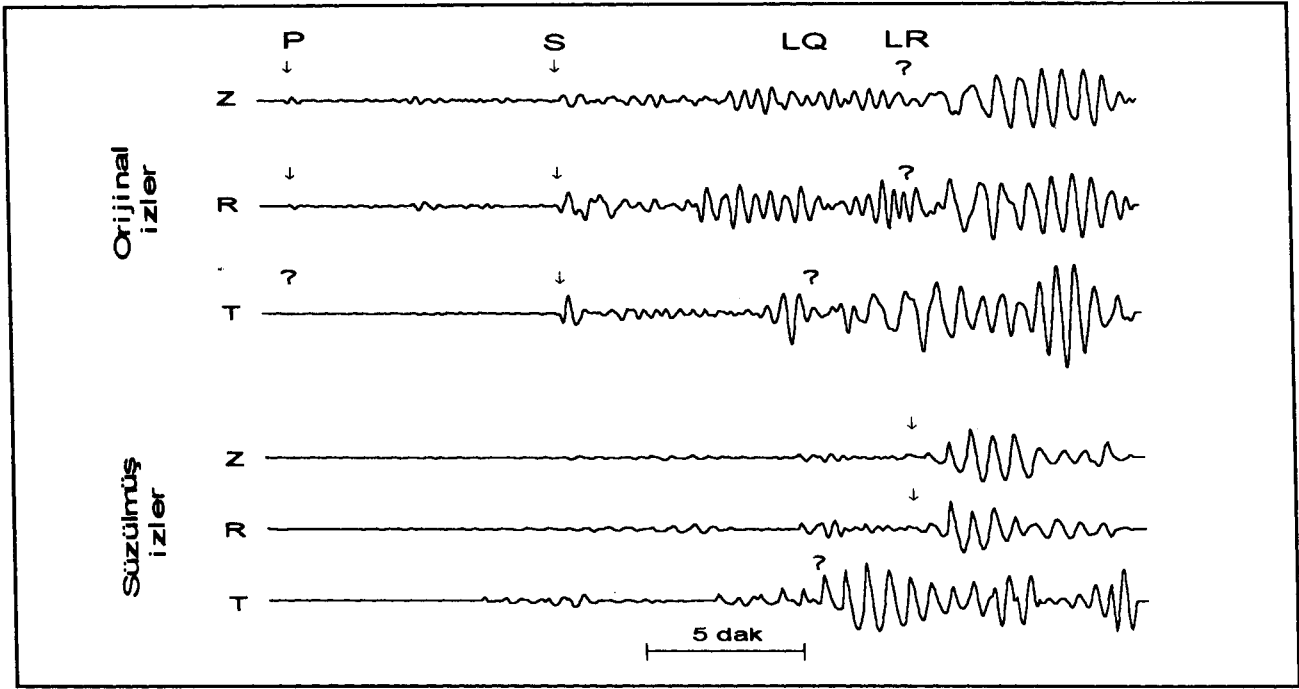
Şekil 3. Çizelge 1 deki 1 nolu depremin ANTO istasyonuna ait düşey (Z), radyal (R) ve tanjansiyel (T) bileşen kayıtları ile bunların 223 sn lik pencere boyu ve 50 sn lik kaydırma aralığı için süzölmüş durumları.

Fig. 3. Vertical (Z), radial (R) and tangential (T) component records at the station ANTO from the earthquake 1 in Table 1, and their filtered cases for the window length of 223 sec and moving interval of 50 sec.



Şekil 4. Çizelge 1 deki 2 nolu depremin ANTO istasyonuna ait düşey (Z), radyal (R) ve tanjansiyel (T) bileşen kayıtları ile bunların 147 sn lik pencere boyu ve 34 sn lik kaydırma aralığı için süzölmüş durumları.

Fig. 4. Vertical (Z), radial (R) and tangential (T) component records at the station ANTO from the earthquake 2 in Table 1, and their filtered cases for the window length of 147 sec and moving interval of 34 sec.



Şekil 5. Çizelge 1 deki 3 nolu depremin ANTO istasyonuna ait düşey (Z), radyal (R) ve tanjansiyel (T) bileşen kayıtları ile bunların 182 sn lik pencere boyu ve 40 sn lik kaydırma aralığı için süzölmüş durumları.  
Fig. 5. Vertical (Z), radial (R) and tangential (T) component records at the station ANTO from the earthquake 3 in Table 1, and their filtered cases for the window length of 182 sec and moving interval of 40 sec.

düşey yer değiştirme oranı özel bir  $\theta$  değerine karşılık gelir ve ışınsal ve düşey bileşenler arasındaki faz farkı  $\pi/2$  dir. Yani, Z ve R katsayılarının değerleri korunacak ve teğetsel bileşen azalacaktır. Bu durum Rayleigh hareketi durumuna karşılık gelir. Bunun tersi olarak, bazı periyollardaki hakim varışın teğetsel bileşen üzerinde olması ve düşey bileşen üzerinde genliğin çok küçük olması veya hiç olmaması Love fazına karşılık gelir. Yani bu durumda teğetsel iz için genlik katsayısı değerini koruyacak ve Z-R hareketi azalacaktır. Bu sınırlar arasında yer alan tanecik yörüngeleri azalma miktarını etkileyecektir.

$$\sin(\alpha(\eta f)) \equiv 0, \quad \pi \leq \alpha(\eta f) \leq 2\pi \quad (7)$$

tanımlaması yapılırsa prograd türde Rayleigh hareketi azalacaktır.

Uygulamada, Fourier katsayıları tanımlanan bir pencere üzerinde belirlenir ve sonra (6) bağıntısındaki ağırlıklandırma fonksiyonları kullanılarak düzeltilirler. Herbir Fourier bileşenine ait faz açıları dokunulmadan aynı şekilleriyle kullanılarak sinyal zaman ortamında tekrar elde edilir. Sonra pencere kaydırılarak hesaplamalar tekrarlanır. Sonuç çıktısı, sismogram üzerindeki herhangi bir noktada üst üste gelen değerlerin aritmetik ortalamasıdır.

#### UYGULAMA

Yöntem, Çizelge 1 de odak parametreleri verilen üç

depremin SRO ANTO istasyonuna ait uzun-periyot üç bileşen sayısal kayıtlarına uygulanmıştır. Kayıtların örnekleme aralığı 1 sn dir. Çeşitli pencere boyu ve kaydırma aralığı değerleri için denemeler yapılmıştır. Uygulanan işlemlerin akışı Şekil 2 de görüldüğü gibidir. Önce herbir bileşen için zaman ortamında seçilen bir pencere boyu kadar veri alınır. Olabilecek süreksizliklerin ortaya çıkaracağı faz etkilerini gidermek için bu verilerin başından ve sonundan % 10 luk kısımları bir kosinüs penceresi ile traşlandıktan sonra frekans ortamına geçilir. Burada herbir bileşene ait genlik spektrumu değerleri (6) bağıntılarında belirlenen şekilde ölçeklenir. Bu bağıntılardaki M, K ve N sabitleri için Simons (1968) tarafından önerilen sırasıyla 8, 8 ve 4, yatay/düşey yer değiştirme oranına karşılık gelecek olan  $\theta$  için ise 0.8 değerleri kullanılmıştır. Faz değerlerine dokunulmaz. Orijinal faz değerleri ve ölçeklenmiş genlik değerleriyle tekrar zaman ortamına dönülür. Seçilen kaydırma aralığına göre bir sonraki pencereleme için aynı işlemler yapılır ve bu işlemler sinyallerin tamamı taranmaya kadar tekrarlanır. Sonuçta, süzölmüş sinyal herbir pencereleme sonrası zaman ortamında üst üste gelen noktaların aritmetik ortalaması alınarak belirlenir.

Yapılan denemeler, bu yöntemle ilgili olarak Kanasevich (1973) ve zaman ortamı polarizasyon çözümlenmeleri için Basa ve diğ. (1993) tarafından da belirtildiği gibi, kullanılan pencere boyunun ve kaydırma aralığının sonuçları büyük ölçüde etkilediğini göstermiştir. Bu parametrelerin

ne şekilde değişmesi gerektiğini gözleyebilmek amacıyla, frekans içeriği farklı kayıtlar kullanılması bakımından episantr uzaklıkları farklı (Çizelge 1 deki sıraya göre  $\Delta = 76^\circ$ ,  $35.8^\circ$  ve  $62.4^\circ$ ) olaylar seçilmiştir. Doğal olarak sinyal uzunluğu arttıkça pencere boyunun ve dolayısıyla kaydırma aralığının da artması gerekmektedir. Ele alınan örnekler için en iyi sonuçları veren pencere uzunluğu ve kaydırma aralığı değerleri arasında yaklaşık 4.4 lük bir oran vardır. Kullanılan üç depremin orijinal kayıtları ve bunların süzül-müş durumları kullanılan pencere uzunluğu ve kaydırma aralığı değerleri ile birlikte Şekil 3, 4 ve 5 de verilmiştir. Bu üç örnekte de görüldüğü gibi yöntem oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

Şekil 3 de verilen ilk örnekte, Z ve R bileşenlerindeki genlikler T ye göre daha büyük olduğundan, süzül-müş izlerde Rayleigh dalgası daha belirgin bir şekilde elde edilmiştir. İkinci örnekte (Şekil 4) ise durum tersinedir. T bileşenindeki genlikler Z ve R ye göre daha büyük olduğundan süzül-müş izlerde Love dalgası daha belirgindir. Ancak, faz başlangıcı belirgin değildir. Bunun nedeni, bu olay için episantr uzaklığına ( $35.8^\circ$ ) göre SS fazının Love dalgası ile yaklaşık aynı zamanda istasyona ulaşıyor olmasıdır. Üçüncü örnekte ise tüm bileşenlerdeki genlikler birbirine çok yakındır ve süzül-müş izlerde hem Love hem de Rayleigh dalgaları belirgindir. Bu örnekte Love dalgasının başlangıcının yeterince belirgin olarak elde edilemeyişi, ikinci örnekteki benzer şekilde hemen önünde yer alan SS fazından kaynaklanmaktadır.

### Çizelge 1. Uygulamada kullanılan depremlerin odak parametreleri.

Table 1. Focal parameters of earthquakes used in the application.

Tarih (g a y)	Oluş Zam. (s dak sn)	Koordinat (°K)	Odak Der. (°D)	Mag. (km)	mb	
1	23.01.1981	04:58:31.5	42.52	142.12	116	6.3
2	08.04.1983	02:28:25.6	11.43	57.52	10	5.9
3	22.04.1983	00:37:37.0	14.93	99.02	10	5.9

### SONUÇLAR

Sismik dalgaların polarizasyon özelliklerindeki farklılıklar, üç bileşen sayısal veriler üzerinden istenen bir dalga türünün süzgeçlenmesine olanak sağlamaktadır. Bunun için yer hareketinin düşey, ınsal ve teğetsel bileşenlerinin genlik değerleri, tanecik hareketleri gözönünde tutularak istenen dalga türünü belirginleştirip diğerlerini süzgeçlenmiş şekilde ağırlıklandırılır.

Bu çalışmada, Love ve Rayleigh dalgalarının süzülmesi için bu dalgaların polarizasyon özelliklerinden yararlanılan bir yöntemin uygulanması yapılmıştır. Uygulamada

kullanılan sismogramlar üç büyük depremin SRO ANTO istasyonunda kaydedilen uzun periyot üç bileşen sayısal kayıtlarıdır. Farklı durumlar için süzgeçleme sonuçlarını irdeleyebilmek amacıyla, episantr uzaklıkları farklı depremler seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, yüzey dalgaları yeterince büyük genlikli olduklarında polarizasyon özelliklerinden yararlanılarak iyi bir şekilde süzgeçlenebilmektedir.

Çözümlemelerde, sonuçları en çok etkileyen faktörlerin kullanılan pencere boyu ve kaydırma aralığı olduğu görülmüştür. Episantr uzaklığı arttıkça frekans bandı genişleyeceğinden dolayı pencere boyunun da arttırılması gerekmektedir. Ele alınan örnekler için yapılan denemelerde pencere boyu ile kaydırma aralığı arasında yaklaşık 4.4 kadar bir oran olması gerektiği saptanmıştır.

### KAYNAKLAR

- Alkaz, V.G., Onofrash, N.I. and Perelberg, A.I. 1977, Polarization Analysis of Seismic Waves, Shtiintca Press (in Russian).
- Basa, S.H., Özer, M.F., Osmanşahin, İ. ve Kenar, Ö. 1993, Üç Bileşen Sismik Verilerin Polarizasyon Analizi, Jeofizik (yayımda).
- Esmersoy, C. 1984, Polarization Analysis, Rotation and Velocity Estimation in Three-Component VSP, in Toksöz, M.N. and R.R. Stewart Eds., Vertical seismic profiling-Part B: Advanced concepts: Geophysical Press.
- Flinn, E.A. 1965, Signal Analysis Using Rectilinearity and Direction of Particle Motion, Proc. IEEE 12, 1874-1876.
- Gal'perin, E.I. and Frolova, A.V. 1960, Azimuth-Phase Correlation for Elliptically Polarized Waves, Izv. Sov. Acad. of Sciences, Geophysics Series 2, 195-208 (in Russian).
- Jurkevics, A. 1988, Polarization Analysis of Three-Component array Data, Bull. Seis. Soc. Am., 78, 1725-1743.
- Kanasewich, E.R. 1973, Time Sequence Analysis, The University of Alberta Press, Canada.
- Mercado, B.J. 1968, Linear Filtering of Multicomponent Seismic Data, Geophysics 33, 926-935.
- Özer, M.F. ve Basa, S.H. 1994, Zaman Ortamı Polarizasyon Süzgeçleri, VIII. Mühendislik Haftası, Isparta.
- Perelberg, A.I. and Hornbostel, S.C. 1994, Applications of Seismic Polarization Analysis, Geophysics 59, 119-130.
- Shimshoni, M. and Smith, S.W. 1964, Seismic Signal Enhancement with Three-Component Detectors, Geophysics 24, 664-671.
- Simons, R.S. 1968, A Surface Wave Particle Motion Discrimination Process, Bull. Seis. Soc. Am. 58, 629-637.