

# İstanbul (ISK) geniş-bant istasyonu altında üst-manto anizotropisinin incelenmesi

Aslıhan ŞAPAŞ\*, Aysun BOZTEPE GÜNEY

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

## Özet

Türkiyenin tektonik rejimi farklı levha hareketlerinden etkilenmektedir. Avrupa ve Arap levhalarının Zagros bölgesine bindirmesi, Anadolu Levhası'nın Ege'ye doğru olan kaçma hareketinin temel nedeni olmakla beraber, kaçış asıl olarak doğrultu atımlı Kuzey ve Doğu Anadolu fayları boyunca olmaktadır. Makaslama dalgası ayırılması analizi çalışmalarından elde edilen hızlı makaslama dalgası doğrultuları, farklı tektonik süreçlerle ilişkilendirilebilir. Gerilme deformasyon, mutlak ve göreceli levha hareketleri, astenosferik akış, geçmiş jeolojik devirlerden kalmış mineral yönelimleri bunların başında gelir. Böylelikle, sismik anizotropi çalışmaları, mevcut tektonik ve GPS verileri de göz önünde bulundurularak, bir bölgenin karmaşık tektonik yapısının araştırılmasında kullanılabilir. Marmara Bölgesi'nde üst mantoya ait sismik anizotropi İstanbul (ISK) geniş-bant istasyonunda (KRDAE-UDİM) kaydedilen verilere SKS ayırılması analizi uygulanarak incelenmiştir. Bölgenin sismik anizotropik yapısının incelenmesi amacıyla, ISK istasyonundan sağlanan 15 depreme ait kayıtlar veri analiz penceresini otomatik olarak seçen makaslama dalgası ayırılması analizi programı ile incelenmiştir. Analiz edilen verilerdeki SKS fazlarında belirgin makaslama dalgası ayırılması gözlemlenmiştir. ISK istasyonu için hızlı makaslama dalgası doğrultusu ( $43.7^\circ$ ) hesaplanmıştır. Elde edilen doğrultu Orta Anadolu'da yer alan Ankara (ANTO) geniş-bant istasyonundan (IRIS-GSN) elde edilen doğrultu ( $43^\circ$ ) ile karşılaştırılmıştır. Marmara Bölgesi'nin altındaki üst mantoya ait sismik anizotropi yapısının Ankara ve çevresi ile uyum gösterdiği görülmüş ve sözü edilen bölgelerin benzer tektonik rejimlerin etkisinde olduğu, bununla birlikte, önceki çalışmalarda hesaplanmış Pn anizotropisi doğrultularının, hesaplanan hızlı makaslama doğrultusu ile uyumlu olmaması nedeniyle, bölgedeki üst manto yapısının daha karmaşık olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** SKS ayırılması analizi, sismik anizotropi, Marmara Bölgesi.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Aslıhan ŞAPAŞ. sapasa@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 63 53.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Marmara Denizi'nde kabuğa ait yansıtılabilirliğin reolojik belirtilerinin araştırılması" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 03.02.2010 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 04.03.2010 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.09.2010 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Investigation of upper-mantle anisotropy beneath İstanbul (ISK) broad-band station

### Extended abstract

*The seismic anisotropy contains information regarding the fabrics and deformation of deeper parts of the earth (Babuska et al., 1998). In an anisotropic medium, one component of a shear wave travels faster than the orthogonal component. The difference in speed causes the waves to separate; this phenomenon is called shear wave splitting (Savage, 1999).*

*SKS splitting analysis is one of the most widely used methods to determine anisotropy (Silver and Chan, 1991). SKS splitting parameters; fast polarization direction ( $\phi$ ) and delay time ( $\delta t$ ), provide information about the dominant flow direction and thickness of the anisotropic layer. The study of anisotropy can shed light to the complex tectonic structure (or strain pattern) of the area when evaluated together with whole tectonic and GPS data. In the areas of recent convergence the fast direction of anisotropy generally aligns in the direction of the plate boundary (Vinnik et al., 1992). This correlation suggests that the shortening is the same in the crust and the upper-mantle. In the regions of rifting, direction of mantle flow generally aligns parallel to the extension in the crust. In the stable regions it is likely that combined effect of frozen anisotropy in the lithosphere and recent anisotropy in the asthenosphere are observed.*

*The tectonic regime of Turkey is dominated by different plate motions. The collision of Eurasia and Arabia in the Zagros region is the driving force of west-ward tectonic escape towards the Aegean between a rigid boundary on the north, oceanic crust in the Black Sea and a weak boundary on the south, Aegean subduction zone (Şengör et al., 1985). The escape is mainly along the North and East Anatolian strike-slip faults. The fast shear wave polarization direction obtained from SKS splitting studies can be correlated with the absolute motion of the plates and the study of anisotropy can light up the complex tectonic structure (or strain pattern) of the area.*

*In this study, seismic anisotropic structure of the upper-mantle beneath İstanbul (ISK) broad-band*

*station (KRDAE-NEMC), Marmara Region, is investigated by using SKS splitting analysis. Fifteen earthquakes with magnitude greater than 5.0 occurred at epicentral distances between the range of 85° and 120° are selected based on the criteria of existing of clear SKS phases on the records. Splitting correction method of Silver and Chan (1991) can be used for obtaining SKS splitting parameters ( $\phi$ ,  $\delta t$ ). In this method, analysis window is chosen manually. But calculated parameters are sensitive to the manually selected shear-wave analysis window. Therefore, we used an automated shear wave analysis code (Teanby et al., 2004) to analyse the data. In this code, the analyse window is selected automatically by performing a grid search over different windows to find stable splitting measurements with small error. To stabilize the results and reduce cycle-skipping effects, start of the window should be chosen slightly before the onset of the shear wave. It is also important that over a wide range of different analysis windows splitting parameters are stable to provide robust measurements (Teanby et al., 2004). If anisotropy exist, the particle motion within the window should be elliptical. Also energy should be present in the transverse component of the data. When those conditions are provided, splitting analyse is performed. Splitting parameters are the parameters that correct the effect of the anisotropy. After the correction is applied with obtained splitting parameters, splitting should be corrected which means a linear particle motion instead of elliptical, no energy on the transverse component and no delay time. Following those data processing steps, SKS splitting parameters for the ISK station, from 15 teleseismic earthquakes are obtained. For ISK station fast polarization direction is calculated as 43.7°. This parameter is compared to the one that was obtained from Ankara (ANTO) broad-band station (IRIS-GSN) in Central Anatolia and existing results of Pn anisotropy studies (Al-Lazki et al., 2004) which is sensitive to uppermost mantle anisotropy. Splitting parameters obtained from ISK station exhibit parallelism with those obtained from ANTO station. This suggests that seismic anisotropy under ISK and ANTO are effected by similar tectonic regimes, however, due to the incoherent SKS fast polarization direction ( $\phi$ ) and Pn anisotropy directions upper-mantle structure beneath ISK station is suggested to be more complex.*

**Keywords:** SKS splitting analyse, seismic anisotropy, Marmara region.

## Giriş

Anizotropik bir ortamda ilerleyen makaslama dalgaları, hızlı polarlanma yönü doğrultusunda yönelme eğilimi gösterirler. Bu olay, makaslama dalgası ayrımlanması (shear wave splitting) olarak adlandırılır. Makaslama dalgası ayrımlanması çalışmalarında ölçülen parametreler;  $\phi$  hızlı polarlanma yönü ve  $\delta t$  gecikme zamanıdır. Bu iki parametre farklı bilgiler içerir. Hızlı polarlanma yönü üst-manto için baskın akış doğrultusu hakkında bilgi taşıırken gecikme zamanı, anizotropik tabakanın kalınlığı hakkında bilgi verir. Mantodaki anizotropinin nedeni, olivin gibi minerallerin, mantodaki yamulma alanlarını temsil edecek şekilde yönelmeleridir. Makaslama dalgası ayrımlanması analiziyle, mantodaki yamulma alanları hakkında bilgi edinmemiz mümkündür.

Anizotropi ile tektonik süreçler arasındaki ilişkiyi yorumlayabilmek, deformasyonlarla tektonik süreçler arasında bağ kurulmasını gerektirir. Son birkaç on yılda yapılan çalışmalarla bu ilişkilere açıklık getirilmeye çalışılmıştır. Bunlara göre anizotropi ile ilişkilendirilebilecek temel tektonik olaylar, gerilme ve yamulma, litosferik deformasyon, manto ve kabuğun birlikte deforme olması, geçmiş tektonik olaylardan kalmış donmuş (frozen-in) yönelme, astenosferik akış, bariyerle etrafından akış, mutlak ya da göreceli levha hareketleridir (Savage, 1999).

Marmara Bölgesi, doğuda doğrultu atımlı Kuzey Anadolu fayı ile batıda gerilme rejimi etkisindeki Ege Bölgesi arasında kalan, farklı tektonik rejimlerin etkisi altında bir köprü konumundadır. Bu bölgede makaslama dalgası ayrımlanması analizinin gerçekleştirilmesi ile bölgedeki karmaşık tektonik rejimlere ışık tutulacağı düşünülmektedir. Buradan hareketle manto deformasyon yönlerinin araştırılarak, var olan GPS ölçümleri ve bölgenin tektoniği, yakın bölgelerde yapılmış çalışmaların sonuçlarının da karşılaştırılması ve katkısıyla çıkarımda bulunmak amacıyla, İstanbul'da yer alan ISK geniş-bant istasyonu verilerine makaslama dalgası ayrımlanması analizi uygulanmıştır.

## Veri ve yöntem

Marmara Bölgesi için üst manto anizotropisinin çalışılması amacıyla, telesismik deprem verile-

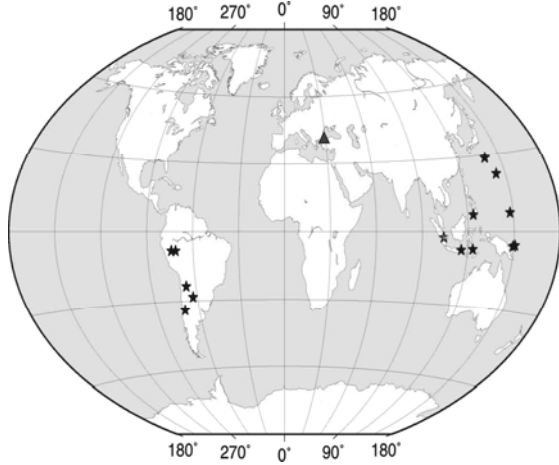
rine makaslama dalgası ayrımlanması analizi uygulanmıştır. Analizde kullanılmak üzere, İstanbul (ISK) geniş-bant istasyonuna (KRDAE-UDİM) ait 15 adet telesismik deprem verisi seçilmiş ve bu veriler üzerinde makaslama dalgası ayrımlanma analizi uygulanmıştır. Depremlerin seçilmesinde episantr uzaklıklarının  $85^\circ$  ile  $120^\circ$  arasında olması, deprem büyüklüğünün 5.0 (Mw)'den, odak derinliğinin 100 km'den fazla olması ve belirgin SKS fazı gözlemlenebilmesi kriter olarak kullanılmıştır. Analiz yapılmak üzere seçilen depremlerin listesi Tablo 1'de gösterilmiştir.

*Tablo 1. SKS ayrımlanması analizinde kullanılan depremlerin listesi ((-) enlemler güneyi, (-) boylamlar batıyı göstermektedir)*

Tarih gün/ay/yıl	Derinlik (km)	Büyüklük (Mw)	Enlem ( $^\circ$ )	Boylam ( $^\circ$ )
25/07/2004	577.5	7.3	-2.40	104.02
26/05/2003	559.7	6.8	6.8	123.75
12/10/2002	535.9	6.8	-8.26	-71.53
03/10/2002	315.2	6.2	-7.42	115.77
07/08/2000	648.5	6.5	-7.02	123.36
06/08/2000	394.8	7.3	28.86	139.56
06/16/2000	120.02	6.4	-33.88	-70.09
12/05/2000	225	7.2	-23.55	-66.45
23/04/2000	608.5	7	-28.31	-62.99
03/28/2000	126.5	7.6	22.34	143.73
10/05/1999	138	7.1	-5.16	150.88
04/05/1999	150	7.4	-5.59	149.57
20/08/1998	441	7.0	28.93	139.93
04/03/1998	165	6.6	-8.15	-74.24
22/12/1997	179.3	7.2	7.2	147.87

Makaslama dalgası ayrımlanması analizinde kullanılan depremlerin dünya üzerindeki azimutal dağılımlarını gösteren harita, Şekil 1'de verilmiştir. Haritada yıldız, depremin olduğu yeri, üçgen ile ifade edilen bölge ise kayıtçı istasyonu (ISK) göstermektedir.

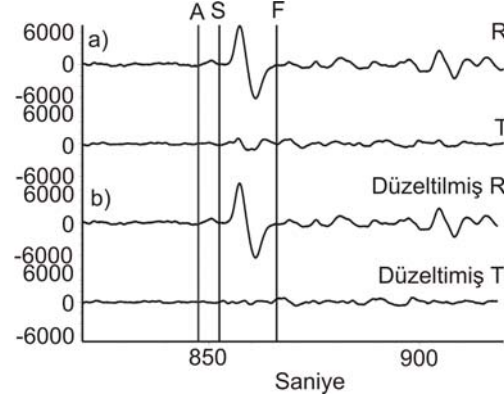
Seçilen verilerin görsel olarak incelenmesi için Seismological Analyse Code, SAC (Goldstein vd., 1999) programı kullanılmıştır. Veriye uygulanan işlem adımları izleyen şekildedir; SKS fazının geliş zamanı, depremin oluş zamanı ve deprem ile istasyon arasındaki uzaklık baz alınarak



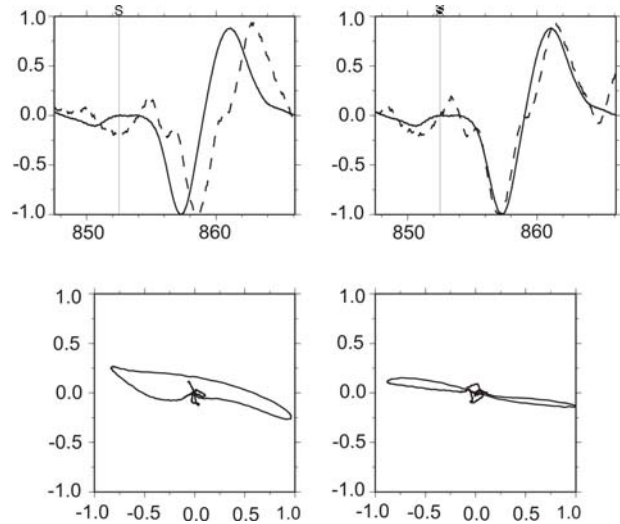
Şekil 1. Makaslama dalgası ayırılma analizinde kullanılan depremlerin dünya üzerindeki azimutal dağılımı (Depremler yıldızlar ile ISK istasyonu ise üçgen ile gösterilmiştir)

hesaplandıktan sonra, kayıt üzerinde SKS fazı belirlenir. Fazın 50 sn önce ve sonrası kesilerek radyal ve transvers bileşenleri incelenir. Anizotropinin mevcut bulunduğu kanaat getirebilmek için gereken koşullar, radyal bileşende enerji görülmesi ve tanecik hareketinin eliptik olmasıdır. Bu koşulların sağlanması durumunda kesilmiş olan veriye, ayırılma parametrelerinin hesaplanması için, otomatikleştirilmiş ayırılma analizi programında (Teanby vd., 2004) ayırılma analizi uygulanır. Bu programın temeli Silver ve Chan (1991)'in ayırılma düzeltme metoduna (splitting correction method) dayanır. Bu metotta manuel olarak bir makaslama dalgası analiz penceresi seçilir. Anizotropi mevcut ise bu pencerede eliptik tanecik hareketi gözlemlenir. Sonraki adımda radyal ve transvers bileşenler belirli aralıklarla grid taraması yaptırılarak değiştirilen  $\phi$  ve  $\delta t$  parametrelerince,  $\phi$  kadar döndürülüp,  $\delta t$  kadar kaydırılarak düzeltilir. Düzeltilmeden sonra düzeltilmiş tanecik hareketi kovaryans matrisinde, en küçük ikinci değeri sağlayan değerler, çizgisel bir tanecik hareketi gösterirler ve ayırılmayı düzeltirler. %95 güvenlik sınırı içindeki en uygun değer değerleri seçmek için F test uygulanır. Bu yöntemin Silver ve Chan (1991)'in yöntemine göre olan üstünlüğü, analiz pencerelerinin otomatik olarak seçilmesidir. Bu pencerelerin otomatik olarak seçilmesi için gereken parametreler kullanıcı tarafından tanımlanır.

Tanecik hareketi, veriye ait radyal ve transvers bileşenler, üretilen parametreler ve elde edilen en iyi parametre çiftine karşılık gelen kontur diyagramına ilişkin bir örnek, sırasıyla Şekil 2, 3 ve 4'te verilmiştir.



Şekil 2. Verinin düzeltilmemiş (a) ve düzeltilmiş (b) radyal (R) ve transvers (T) bileşenleri

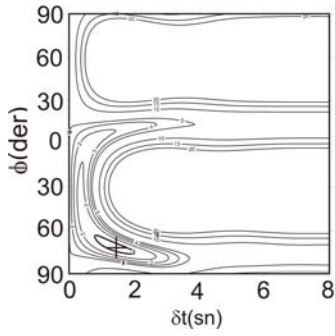


Şekil 3. Düzeltilmemiş (sol) ve düzeltilmiş (sağ) verinin tanecik hareketi

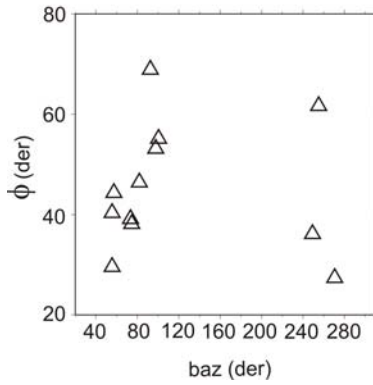
## Sonuçlar ve öneriler

Hesaplanan ayırılma parametrelerinin ( $\phi$ ,  $\delta t$ ) geri azimuta göre dağılımları ve bunların gül diyagramı üzerindeki görüntüsü sırasıyla Şekil 5, 6 ve 7'de verilmiştir.

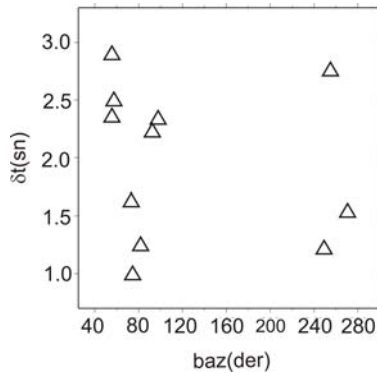
ISK istasyonu için yapılan makaslama dalgası ayırılma analizinden elde edilen ayırılma parametreleri  $\phi=43.7^\circ$ ,  $\delta t=1.96$  saniyedir. Elde edilen aç değeri bölge için hesaplanmış olan



Şekil 4. Grid aramasından sonra elde edilen en iyi parametre çiftine karşılık gelen kontur diyagramı (Artı işareti en iyi ayrımlanma parametresi çiftine ( $\phi$ ,  $\delta t$ ) karşılık gelmektedir)



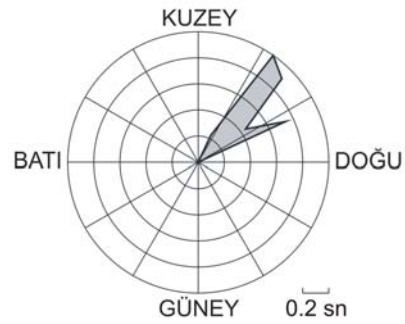
Şekil 5. ISK istasyonu için elde edilen  $\phi$  değerlerinin geri azimuta bağlı değişimi



Şekil 6. ISK istasyonu için elde edilen  $\delta t$  değerlerinin geri azimuta bağlı değişimi

GPS vektörleri ile tam uyumlu değildir (McClusky vd., 2000). Bu da mantodaki anizotropinin sadece kabuktaki güncel deformasyonlardan kaynaklanmadığını göstermektedir. Hesaplanan  $\delta t$  gecikme zamanı parametresi de anizotropinin derinliğinin üst manto seviyele-

rinde bulunduğunu desteklemektedir. Orta Anadolu'da yer alan Ankara (ANTO) geniş-bant istasyonu için daha önce hesaplanmış (Şapaş ve Boztepe Güney, 2004) olan  $\phi$  değeri ( $\phi=43^\circ$ ) ile uyumlu olması iki bölgede de benzer tektonik süreçlerin hakim olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, yapılmış Pn anizotropisi çalışmalarından elde edilen (Al-Lazki vd., 2004) ve en üst manto seviyelerinden bilgi taşıyan Pn anizotropisi yönleri, ISK istasyonu için hesaplanan SKS anizotropisi doğrultusuyla uyumlu değildir. Bu da bölgenin üst manto yapısının oldukça karmaşık olduğunu işaret etmektedir.



Şekil 7. ISK istasyonu için yapılan ayrımlanma analizinden elde edilen parametrelerin ( $\phi$ ,  $\delta t$ ) gül diyagramı

Bu çalışmada elde edilen SKS ayrımlanması parametrelerinin bölgenin içinde nasıl bir değişim gösterdiğinin bilinmesi, deformasyon dağılımı bilgisinin elde edilmesini, bu da tektonik süreçlerin bölge bazında değişiminin anlaşılmasını sağlayacaktır. Bölge için farklı istasyonların iyi bir azimutal dağılımıyla kurulacak ağdan elde edilecek veriler üzerinde yapılacak analizlerin incelenen konu ile ilgili detaylı bilgilerin elde edilmesini sağlayacağı düşünülmektedir.

## Kaynaklar

- Al-Lazki, A., Sandvol, E., Seber, D., Barazangi, M., Turkelli, N. ve Mohamad, R., (2004). Pn tomographic imaging of mantle lid velocity and anisotropy at the junction of the Arabian, Eurasian, and African plates, *Geophysical Journal International*, **158**, 1024-1040.
- Babuska, V., Montagner, J-P, Plomerova, J. ve Girardin, N., (1998). Age-dependent large-scale fabric of the mantle lithosphere as derived from surface-wave velocity anisotropy, *Pure and Applied Geophysics*, **151**, 257-280.

- Goldstein, P., Dodge, D. ve Firpo, M., (1999). SAC2000: Signal processing and analysis tools for seismologists and engineers, UCRL-JC-135963, Invited contribution to the IASPEI, *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H.-G., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prlepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksoz, M. ve Veis, G., (2000). Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus, *Journal of Geophysical Research*, **105**, 5695-5719.
- Savage, M., (1999). Seismic anisotropy and mantle deformation: What have we learned from shear wave splitting?, *Reviews of Geophysics*, **37**, 65-106.
- Silver, P.G. ve Chan W.W., (1991). Shear-wave splitting and subcontinental mantle deformation, *Journal of Geophysical Reserach*, **96**, 16429-16454.
- Şapaş, A. ve Boztepe Güney, A., (2004). The analysis of SKS splitting in Ankara, Central Turkey, 16<sup>th</sup> International Geophysical Congress, 7-10 December 2004, Ankara, Turkey.
- Şengör, A.M.C., Görür, N. ve Şaroğlu, O., (1985). Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, in Biddle, K.T. ve Christie Blick, N., eds, Strike-slip deformation, basin formation and sedimentation, *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publications*, **37**, 227-264.
- Teanby, N.A., Kendall, J.M. ve Van der Baan, M., (2004). Automation of shear-wave splitting measurements using cluster analysis, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **94**, 2, 453-463.
- Vinnik, L.P., Makeyeva, L.I., Milev, A. ve Usenko, A. Yu., (1992). Global patterns of azimuthal anisotropy and deformations in the continental mantle, *Geophysical Journal International*, **111**, 3, 433-447.