

# LEVHA-İÇİ DEPREMLERİN GÖÇÜ

## Migration of the Intraplate Earthquakes

Haluk EYİDOĞAN \*

### ÖZET

1976 Ağustos Songpan, Çin, 1976-1984 Özbekistan, Gazli, ve 1983-1984 Ekim Narman-Horasan ve Şenkaya (Erzurum) depremlerinin uzay ve zamandaki karakteristikleri iyi saptanmış episantr ve odak mekanizması çözümleri kullanılarak incelenmiştir. Bütün odak mekanizması çözümleri ve odak derinlikleri yapay uzak-alan cisim dalgaları taslaklanarak elde edilmişlerdir. Buradaki bulgulara göre levha-içi depremler, ilgili fay zonları boyunca göç etmektedir. Depremlerin zamandaki göç süreleri birkaç günden birkaç yıla kadar değişmektedir.

### ABSTRACT

The spatial and temporal characteristics of the August 1976, Songpan, China earthquake sequence, 1976-1984 Gazli, Uzbekistan, USSR earthquakes, and 1983-1984 Narman-Horasan and Şenkaya, Erzurum, Turkey earthquakes were investigated using well constrained epicenter locations and fault plane solutions. All of the fault plane solutions and focal depths were determined by modelling of the synthetic far-field body waveforms. The observations presented here suggest that the intraplate earthquakes display migration of the seismic activity along the associated fault zones. The temporal separation of migration vary from days to years.

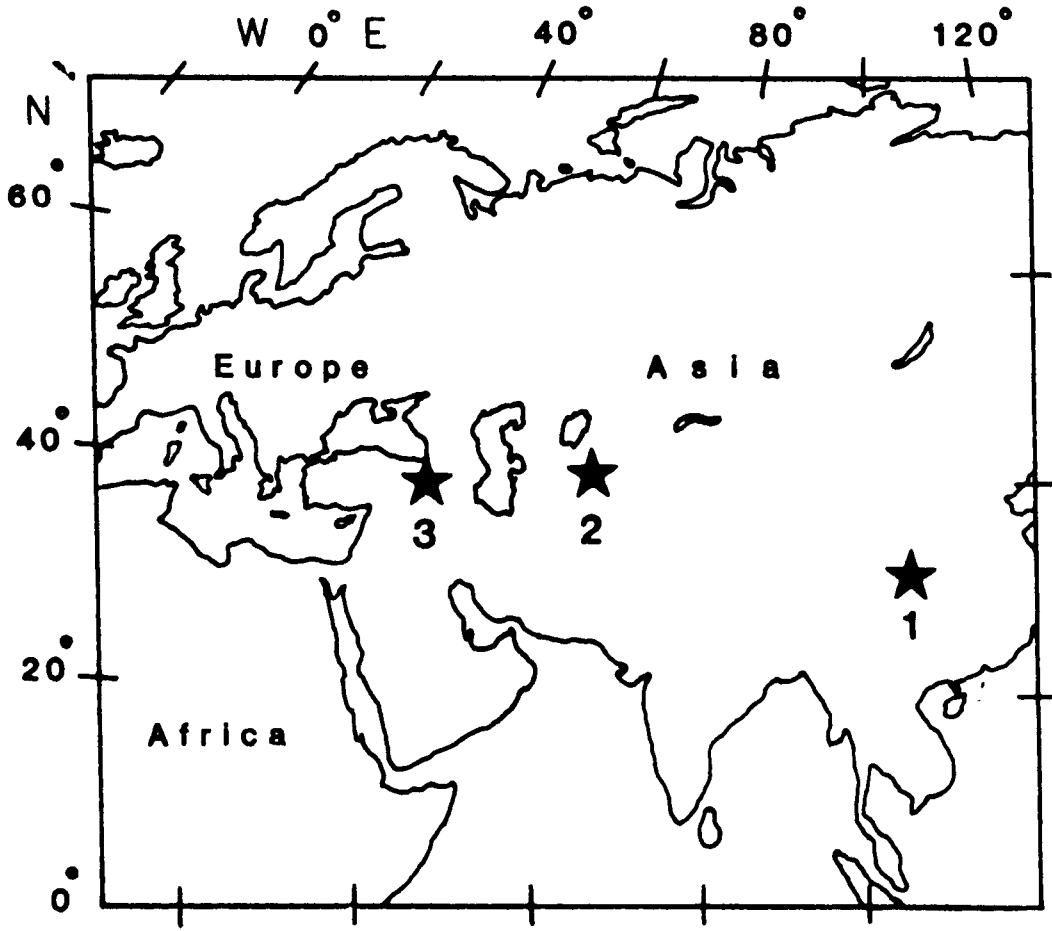
### GİRİŞ

Levha tektoniği kinematik bir kuramdır ve kural gereği levha-içi deformasyonları gözardı eder. Dalma-batma, okyanus ortası sırt ve dönüşüm fayı zonlarında depremselliğin çok dar sınırlar boyunca yer aldığı görülmektedir. Ancak, deprem istasyonu sayısının artmasına koşut olarak artan deprem verileri kıtasal yaklaşma zonlarının uzaklarında, levha içlerinde saçılmış ve önemli derecede deprem etkinlikleri ortaya koymaktadır. Orta-Asya'daki geniş alanlarda (Molnar ve Qidong 1984), Orta Doğu'da (Jackson ve McKenzie 1984, Eyidoğan ve Jackson 1985) ve Batı A.B.D.'de Basin ve Range bölgesinde (Wernicke 1982) önemli düzeyde levha-içi sığ deformasyon oluşmaktadır. Kıtasal levhaların çarpışma kuşaklarında ve bu kuşakların gerisinde depremsellik sığ ve saçılmıştır (McKenzie 1972). Genellikle, depremler daha önceden varolan zayıflık zonları üzerinde yer alırlar (Sykes 1978) ve yüksek gerilme düşünüsü gösterirler (Liti ve Karamori 1980). Dalma-batma zonlarındaki belirgin deprem göçü örüntülerine (Rikitake 1981,

McCann ve diğ. 1978) karşıt olarak levha-içi depremler için düzenli uzay-zaman örüntüleri bulunamamıştır. Son yıllarda bazı yayınlarda, özellikle Çin'de bilinen birkaç fay zonu üzerinde yeralan levha-içi depremlerin bir günden birkaç aya kadar olan zaman aralıklarında göç örüntüleri oluşturdukları belirtilmiştir. Örnek olarak, 8 Mart 1966'da başlayan Shingtai deprem etkinliği 14 gün içinde güneyden kuzeydoğuya göç eden biri  $M = 6.8$ , diğeri ise  $M = 7.2$  olan iki ana şok içermektedir (Hoading 1985, kişisel görüşme). 28 Temmuz 1976 Tangslan ana şokundan ( $M = 7.8$ ) sonra deprem etkinliği batıya göç etmiş ve  $M = 6.9$  büyüklüğünde bir deprem olmuştur (Butler ve diğ. 1979). 29 Mayıs 1976 Lonling depremini ( $M = 7.3$ ), aynı gün 10 km kuzeyinde yer alan  $M = 7.4$  büyüklüğünde bir deprem izlemiştir (Hoading 1985).

Bu çalışmada, levha-içi depremlerin göç ettikleri tezini vurgulayan üç ayrı yerdeki deprem olayı incelenecektir. Levha içi deprem etkinliğini simgeleyen bu üç olay Ağustos 1976 Songpan (Çin), 1976-1984 Gazli (Özbekistan) ve 1983-1984 Narman-Horasan (Türkiye) depremleridir. Depremlerin dünya üzerindeki yerleri Şekil 1'de gösterilmiştir.

\* İTÜ Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Böl., İstanbul



Şekil 1. Bu çalışmada incelenen levha-içi depremlerin yerleri. 1: Ağustos 1976 Songpan, Çin depremleri, 2: 1976-1984 Gazli, Özbekistan depremleri, 3: 1983-1984 Narman-Horasan ve Şenkaya depremleri.

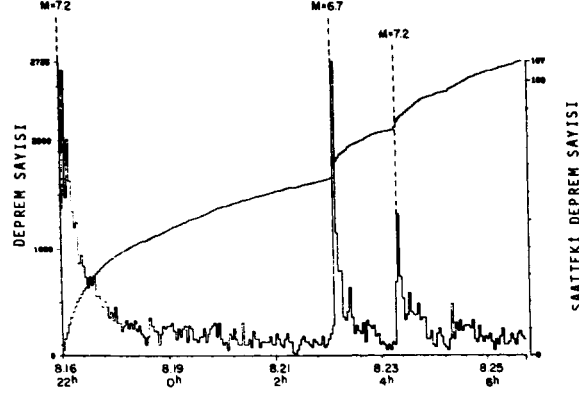
### 1976 AĞUSTOS, SONGPAN, ÇİN DEPREMLERİ

1976 Ağustos Songpan deprem etkinliği Çin Halk Cumhuriyeti'nin Sichuan eyaletinin kuzeybatısında yer alan Huya fayı üzerinde oluşmuştur. Bir haftalık bir zaman aralığında sırasıyla üç büyük şok ( $M = 7.2, 6.7$  ve  $7.2$ ) kuzeyden güneye doğru göç etmiş ve çok sayıda art sarsıntı tetiklenmiştir. Bu depremlerden önce 1975 yılında öncü şoklar da olmuştur (Wallace and Teng 1980). Kuzeyden güneye doğru büyük şoklarla göç eden 1976 Songpan depremleri Jones ve diğ. (1984) tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir. Şekil 2'de Songpan ana şok ve art sarsıntılarının zaman için dağılımı gösterilmiştir.

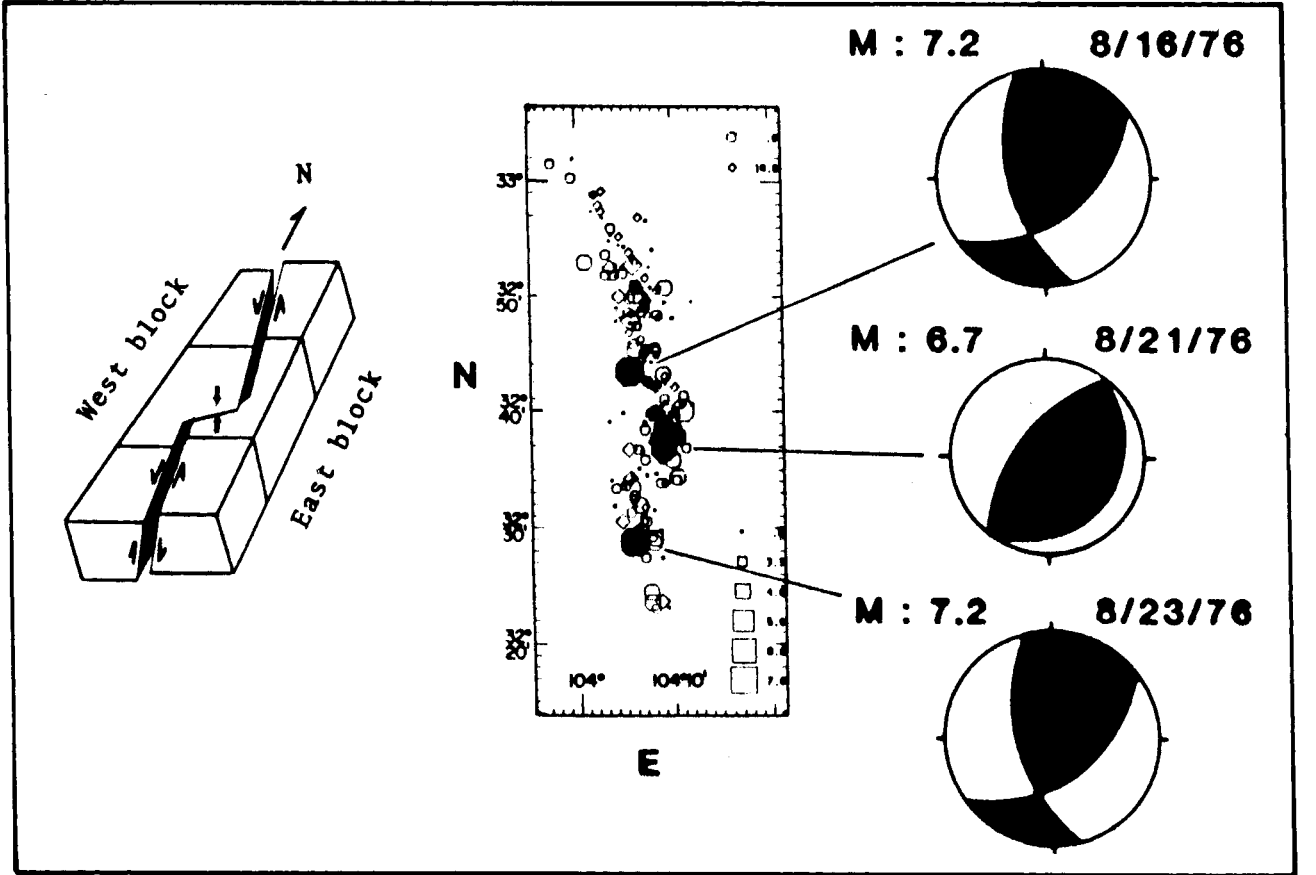
Art sarsıntılar en fazla 15-20 km derinliklere kadar inmekte ve Huya fayı boyunca toplam 80 km uzunluğunda bir zon oluşturmaktadır. 16 Ağustos 1976'daki

ilk ana şoktan 5 gün sonra 21 Ağustos 1976'da ikinci ana şok güneyde ortaya çıkmıştır. Bu şokla ilgili art sarsıntı zonu, ilk şokla ilgili artsarsıntı zonuna  $125^\circ$ 'lik bir açı oluşturacak biçimde yönelmektedir. İkincisinden 30 saat sonra 23 Ağustos 1976'da üçüncü bir ana şok zonun daha güneyinde yer almıştır. Her üç şok da 5-12 km arasında değişen sığ derinlikte oluşmuştur. Ana şokların mekanizma çözümleri uzak-alan düşey P dalga biçimleri taslaklanarak bulunmuştur ve çözümlerin duyarlı olarak saptanmış art sarsıntı zonları ile uyumlu olduğu görülmüştür (Şekil 3) (Jones ve diğ. 1984).

Birinci ve üçüncü ana şok kuzey-güney doğrultulu sol yanıl atımlı ve batıya eğimli Huya fayı üzerinde yer almıştır. İkinci deprem ise, kuzey-güney doğrultulu bu fayı ortasından dike yakın bir doğrultuda kesmektedir. 1976 Songpan deprem dizisi levha-içi Huya fayı üzerinde oluşan kısa dönemli bir deprem göçü olayını simgelemektedir.



Şekil 2. 1976 Songpan ana şoklarının ve ilgili art sarsıntılarının zaman içindeki dağılımları. Büyüklüğü  $M > 2$  olan depremlerin saat başına düşen sayıları şeklin sağındaki eksende gösterilmiştir.



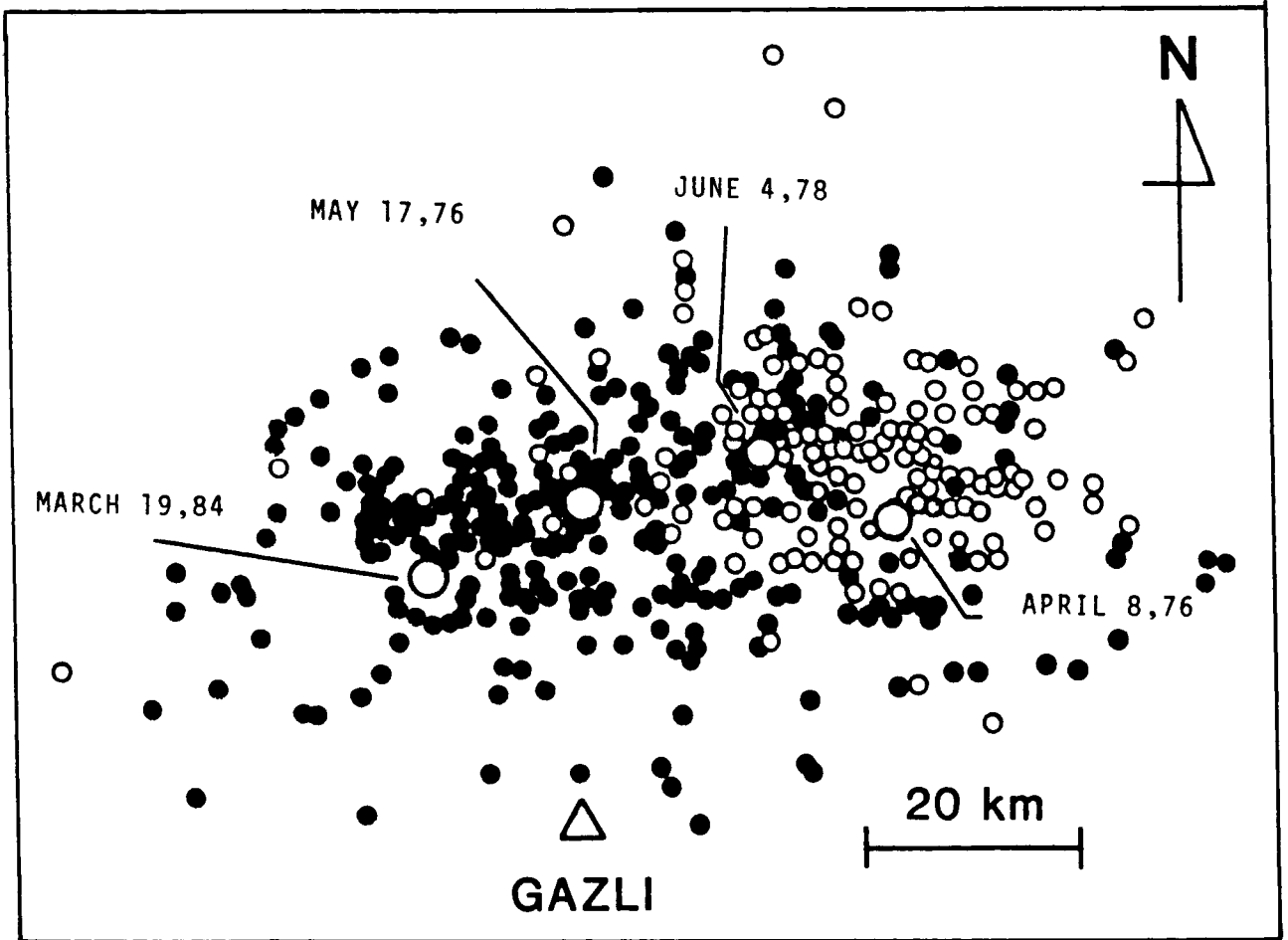
Şekil 3. Songpan ana şokları ve art sarsıntılarının dağılımları. Art sarsıntılar büyüklük ve derinliklerine bağlı olarak değişik karakterlerle gösterilmiştir. Oktagonlar 10 km ve daha sığ, baklava biçimli olanlar ise 10 km'den derin olan depremleri göstermektedir. 21 Ağustos 1976'daki  $M = 6.7$  büyüklüğündeki reprem, art sarsıntı dağılımına uygun olarak birinci ve üçüncü büyük şoklara kıyasla bir atım (off set) belirlemektedir. Şeklin solunda görülen blok çizim art sarsıntı ve odak mekanizması çözümlerinden esinlenerek çizilmiş bir faylanma taslağıdır.

## 1976 ve 1984 GAZLI, ÖZBEKİSTAN DEPREMLERİ

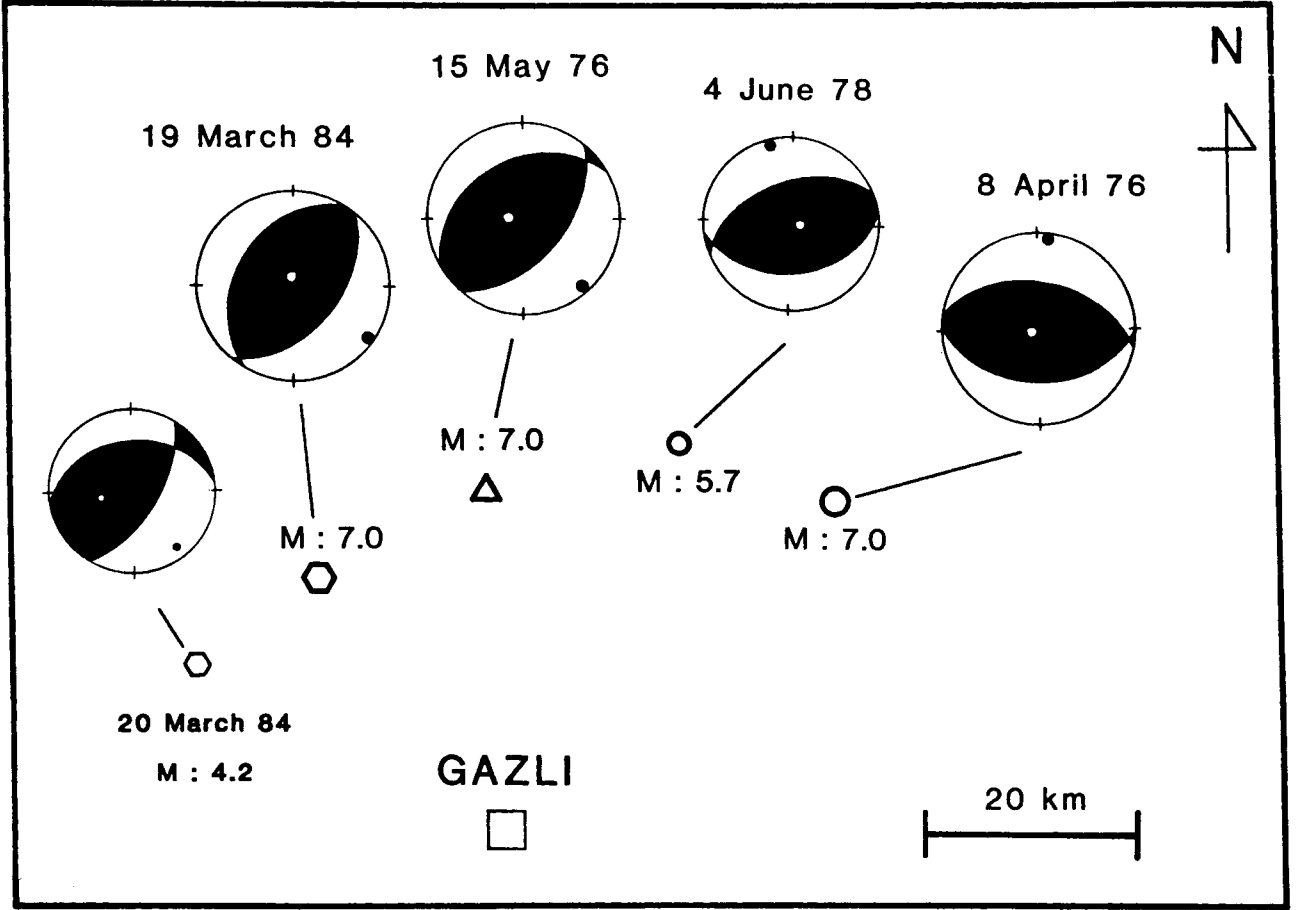
Batı Özbekistan'ın Gazlı şehrine yakın yerde 1976-1984 yılları arasında üç büyük bir orta büyüklükte dört deprem ortaya çıkmıştır. Tarihsel olarak asismik olarak bilinen bu yerde ilki 8 Nisan 1976'da, ikincisi ise, 17 Mayıs 1976'da iki büyük ( $M = 7.9$ ) deprem oluşmuştur. Her iki deprem Hartzell (1980), Kristy ve diğ. (1980) ve Grayzer (1983) tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Şekil 4'de bu iki depremin yerleri ve tetikledikleri art sarsıntı dağılımı görülmektedir. 4 Haziran 1978'de orta büyüklükte ( $M = 5.7$ ) bir deprem ilk iki ana şokun ortalarında yer almıştır. 19 Mart 1984'de  $M = 7.0$  büyük-

lüğünde, bir deprem ilk iki şokun batısında yer alarak Şekil 5'de gösterilen örüntüyü oluşturmuştur. Yalnızca üç büyük şok alındığında doğudan batıya doğru belirgin bir göç örüntüsü ortaya çıkmaktadır. 19 Mart 1984 depreminin uzak-alan P ve SH ve geniş-band cisim dalgalarının ters çözümü yapılmış, depremin KD-GB doğrultulu ve kuzeybatıya dalan bir ters fay üzerinde olduğu bulunmuştur (Eyidoğan ve diğ. 1985). 1976 ve 1984 Gazlı depremleri için bulunan odak mekanizması çözümlerinden faylanma zonu doğrultusunun BKB-DGD'dan batıya doğru KD-GB doğrultusuna döndüğü görülmektedir. Gazlı depremlerinin ortaya koyduğu en önemli sonuç üç büyük levha-içi depremin 50 km uzunlukta bir zon içerisinde doğudan batıya doğru sekiz yıllık bir zaman aralığında göç etmiş olmasıdır.



Şekil 4. 8 Nisan 1976 ve 17 Mayıs 1976 Özbekistan, Gazlı depremlerinin art sarsıntı dağılımı. Büyüklükler 2 ile 5 arasında değişmekte ve derinlikler 15 km'den daha derin değildir. Art sarsıntı yerleri Gorbunova'dan (Krestnikov ve diğ. 1980'e bak) alınmıştır. Açık daireler 8 Nisan 1976, kapalı daireler ise, 17 Mayıs 1976 depremlerinin art sarsıntılarınıdır. Odak mekanizması çözümlerinin hepsi uzak-alan cisim dalgalarının taslaklanmasıyla elde edilmişlerdir. Çözümlerdeki siyah bölgeler yukarı ilk hareketleri, beyaz yerleri ise, aşağı ilk hareketleri gösterirler. Çözümler, eşit alan ve alt yarım küre izdüşümüne göre yapılmıştır.



Şekil 5. Gazlı bölgesindeki büyük depremlerin dağılımı. Deprem episantırları yeniden saptanmıştır. 19 Mart 1984 depremi kılavuz deprem (master event) alınarak diğerlerinin yerleri bulunmuştur. Dolu daireler bu çalışmada saptanan yerleri, boş daireler ise ISC tarafından bulunan episantırları göstermektedir. Mekanizma çözümleri uzak-alan cisim dalgası taslaklanması ile saptanmıştır. Çözümler için Şekil 3'de açıklanan notasyon kullanılmıştır (Eyidoğan ve diğ. 1985).

### 1983 - 1984 NARMAN - HORASAN VE ŞENKAYA DEPREMLERİ (ERZURUM)

Narman-Horasan ve Şenkaya depremleri etkinliği Türkiye'nin kuzey doğusunda yer almıştır. Şimdiye kadar bilinmeyen yeni bir fay zonunun üzerinde olmuşlardır. 30 Ekim 1983 tarihinde  $M = 6.9$  büyüklüğünde bir deprem Narman-Horasan bölgesinde olmuş ve arazide KD-GB yönünde fay gözlenmiştir. Depremden hemen sonra yerleştirilen portatif deprem kayıtçıları ile duyarlı olarak saptanan art sarsıntılara (Şekil 6), eş-şiddet eğrilerine ve odak mekanizması çözümüne göre (Tok-söz ve diğ. 1984), Narman-Horasan depremi KD-GB doğrultulu bir fay üzerindedir. Şekil 6'da 30 Ekim 1983-31 Ekim 1984 tarihleri arasında bölgede saptanan deprem etkinliği görülmektedir. Şekil 6'da görülen depremlerin toplam sayısı 2880'dir.

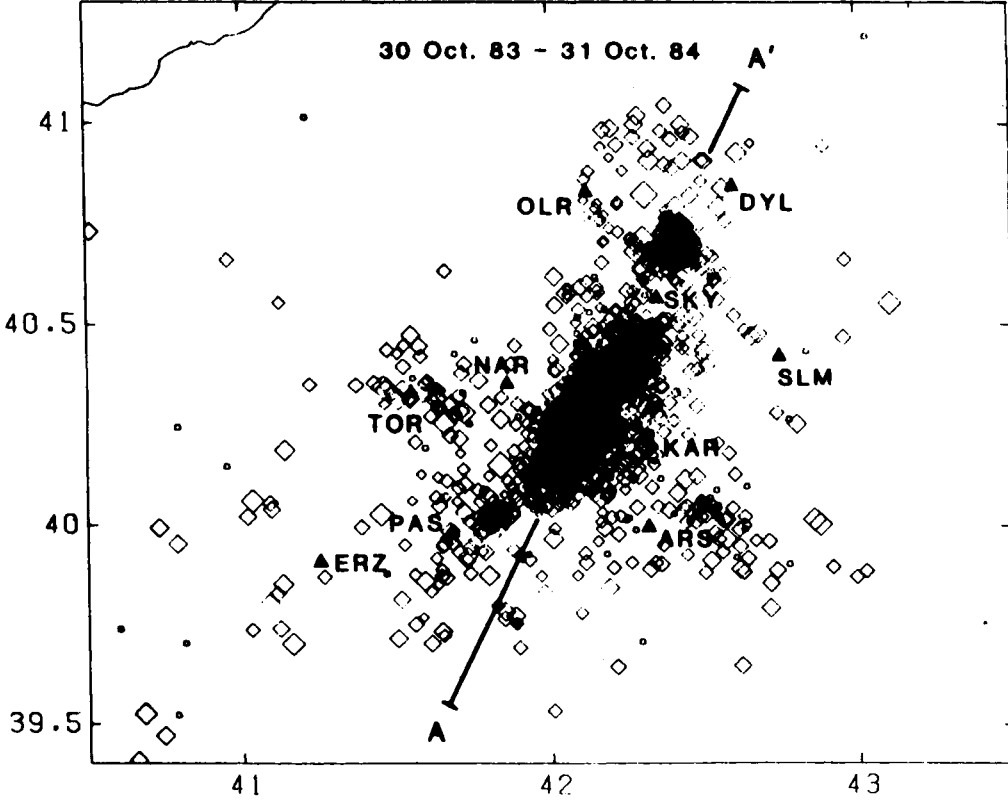
Bir yıllık bu zaman aralığında Narman-Horasan ana şokuyla başlayan etkinliğin önce az güneye, daha sonra da kuzeye göç ettiği gözlenmiştir. Şekil 7 bu göç olayını ve etkinliğin düzeyini vurgulamak amacıyla çizilmiştir. 13 Ocak 1984'de ana şokun güneyinde sayısı günde 50 şoka varan bir etkinlik görülmektedir.

18 Eylül 1984'de Narman-Horasan ana şokundan 50 km kuzeydoğuda Şenkaya-Olur ilçeleri arasındaki yerde  $M = 5.6$  büyüklüğünde bir şok ve az sayıda art sarsıntı olmuştur. Bir ay sonra, 18 Ekim 1984'de Şenkaya'ya yakın  $M = 4.8$  büyüklüğünde ikinci bir şok daha olmuştur. Bu son şok sayısı günde 50'ye varan art sarsıntı tetiklemiştir. Şekil 8'de Narman-Horasan ve Şenkaya depremlerinin odak mekanizması çözümleri verilmiştir.

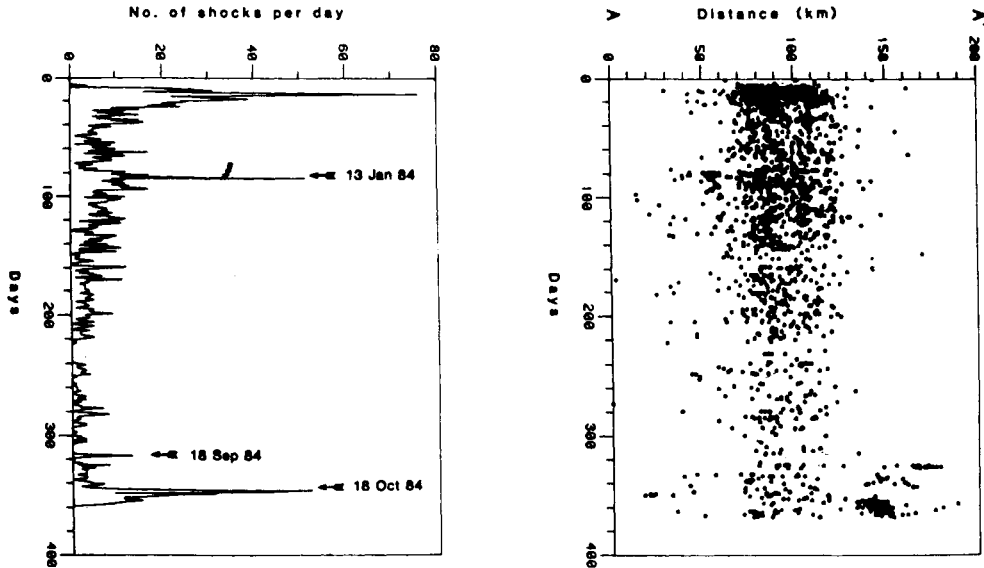
18 Ekim 1984 Şenkaya depremi, 30 Ekim 1983 Narman-Horasan ve 18 Eylül 1984 Şenkaya depremleri

zonuna hemen hemen dik yönde gelişen bir bindirme zonunun varlığını belirtir gibi görünmektedir. Narman-Horasan ve Şenkaya depremlerinin mekanizma çözümleri ve zaman-uzay dağılımları Anadolu levhası içinde

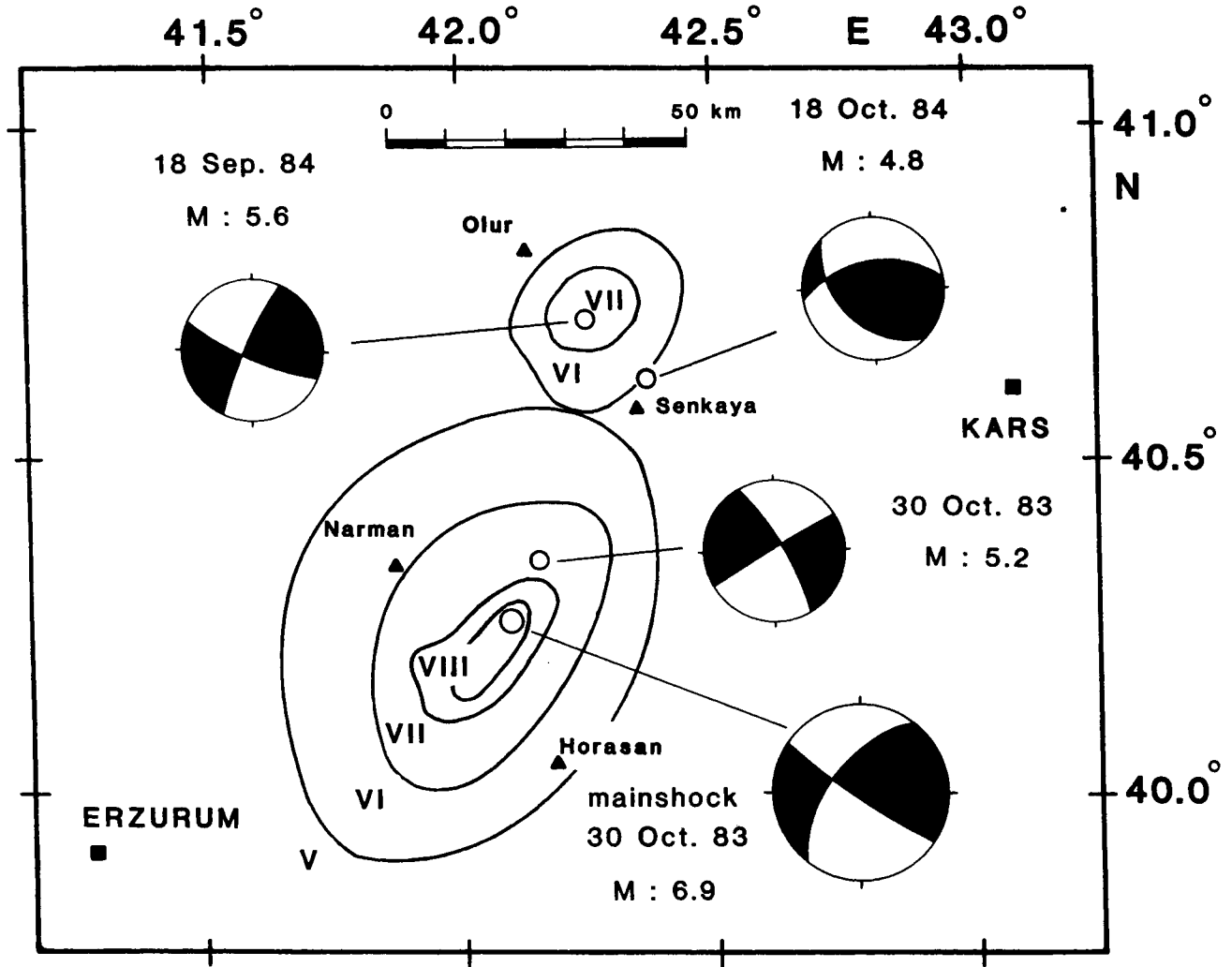
bir deprem etkinliğinin güneyden kuzeye doğru göç ettiğini göstermektedir.



Şekil 6. Narman-Horasan ve Şenkaya (Erzurum) depremleri art sarsıntılarının episant dağılımı. Art sarsıntı kümesinin doğrultusu ile gözlenen deprem fayı doğrultusu arasında tam bir uyum vardır. Siyah üçgenler portatif sismograf istasyonlarının yerlerini gösterir.



Şekil 7. Narman-Horasan ve Şenkaya (Erzurum) deprem etkinliğinin zaman içinde dağılımı. 30 Ekim 1983'den sonra etkinlik sırasıyla 13 Ocak 1984, 18 Eylül 1984 ve 18 Ekim 1984'de artmıştır. Etkinlik zaman içinde kuzeye doğru yavaş yavaş göç etmektedir. Ancak kuzeydeki etkinlik ansızın başlamıştır (üstteki şekil).



Şekil 8. Narman-Horasan ve Şenkaya (Erzurum) depremlerinin yerleri ve odak mekanizması çözümleri. Çözümler P ve SH cisim dalgalarının ters çözümüyle elde edilmişlerdir. 30 Ekim 1983 tarihli ve M = 5.2 büyüklüğündeki deprem ilk ana şoktan altı saat sonra olan art sarsıntıdır. Çözümlerde kullanılan notasyon Şekil 3'deki gibidir.

## SONUÇLAR

1976 Songpan, Çin, 1976-1984 Özbekistan, Gazli ve 1983-1984 Narman-Horasan depremleri incelenmiştir. Her üç deprem etkinliği de bilinen levha sınırlarından oldukça uzakta, levha-içi ortamlarda yer almışlardır. İlgili depremlerin art sarsıntı dağılımları duyarlı olarak saptanmıştır. Odak mekanizma çözümleri ise telesismik cismin dalgalarının taslaklanmasıyla bulunmuştur. Her üç levha-içi deprem de belirgin bir biçimde bağlı oldukları fay zonları üzerinde göç özelliğini sergilemişlerdir. Daha önceki ve buradaki bulgulardan levha-içi bazı depremlerin birkaç saatten birkaç yıla kadar değişen zaman aralıklarında göç ettiği görülmüştür. Bu göç mekanizmasının açıklanmasıyla; levha-içi deformasyon, kırılma (faylanma) oluşumu ve depremin ön belirtileri gibi deprem biliminin güncel sorunlarına ışık tutulacağına inanılmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Butler, R., Stewart, G.S. and Kanamori, H. 1979, The July 27, 1976 Tangshan, China earthquake-a complex sequence of intraplate events, *Bull. Seism. Soc. Am.* 69, 207-220.
- Eyidoğan, H. and Jackson, J. 1985, A seismological study of normal faulting in the Demirci, Alaşehir and Gediz earthquakes of 1969-1970 in western Turkey: implications for the nature and geometry of deformation in continental crust, *Geophys. J.R. astr. Soc.* 81, 569-607.
- Eyidoğan, H., Nabelek, J. and Toksöz, M.N. 1985, The Gazli, U.S.S.R., March 19, 1984 earthquake: the mechanism and tectonic implications, *Bull. Seism. Soc. Am.* 75, 661-675.
- Grayzer, V.M. 1983, Movement near the focus of the Gazli earthquake (in Russian), *Izvestiya* 19, 1903-1907.
- Hartzell, S. 1980, Faulting process of the May 17, 1976 Gazli, USSR earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.* 70, 1715-1736.
- Jackson, J. and McKenzie, D. 1984, Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan, *Geophys. J.R. astr. Soc.* 77, 185-264.
- Jones, L., Han, W., Hauksson, E., Jin, A., Zhang, Y. and Luo, Z.

- 1984, Focal mechanisms and aftershocks locations of the Songpan earthquakes of August, 1976 in Sichuan, China, *J. Geophys. Res.*, 89, B9, 7697-7707.
- Krestnikov, V.N., Belousov, T.P. and Shtange D.V. 1980, Seismotectonic conditions of the occurrence of the Gazli earthquakes of 1976, *Bull. (Lzv.) Acad. Sci. USSR, Earth Physics*, 16, 6648-6668.
- Kristy, M.J., Burdick, L.C. and Simpson, D.W. 1980, The focal mechanisms of the Gazli, USSR, earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 70, 1737-1750.
- Lin, Hsui-Lin and Kanamori, H. 1980, Determination of source parameters of mid-plate earthquakes from the wave forms of body waves, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 70, 1989-2004.
- McCann, W.R. Nishenko, S.P., Sykes, L.R. and Krause, J. 1978, Seismic gaps and plate tectonics: seismic potentials for major plate boundaries, *Proceeding of Conference VI Methodology for identifying seismic gaps and soon-to-break gaps*, U.S.G.S. Open File Report, 78-943, 441-584.
- McKenzie, D.P. 1972, Active tectonics of the Mediterranean region, *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 30, 109-185.
- Molnar, P. and Qidong, D. 1984, Faulting associated with large earthquakes and the average rate of deformation in central and eastern Asia, *J. Geophys. Res.*, 89, 6203-6227.
- Rikitake, T. (ed) 1981, *Current Research in Earthquake Prediction, I, Developments in Earth and Planetary Sciences*, D. Reidel Pul, Comp.
- Sykes, L.R. 1978, Intraplate seismicity, reactivation of preexisting zones of weakness, alkaline magmatism, and other tectonism postdating continental fragmentation, *Rev. Geophys. Space Phys.*, 16, 621-688.
- Toksöz, M.N., Guenette, M., Gülen, L., Keough, G., Pulli, J.U., Sav, H., Olguner, A. 1983, 30 Ekim 1983 Narman-Horasan depreminin kaynak mekanizması, *Yeryuvarı ve İnsan*, 8, 47-52.
- Wallace, R.E. and Teng, Ta-Liang 1980, Prediction of the Sangpan-Pingwu earthquakes, August 1976, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 70, 1199-1223.
- Wernicke, B.P. 1982, *Processes of Extensional Tectonics*, Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology Cambridge.