

leri ile belirleyip tanıtmak, bunların riski azaltmak bakımından gerekli ve uygulamaya değer olduğuna bireyleri inandırmak, eğitici ve özendirici olmak, yeterli sıklıkta pilot bölge çalışmalarını yürütmek olmalıdır.

DEĞİNİLEN BELGELER

- [1] Aytun, A., 1981, TÜBİTAK Yapı Araştırma Enstitüsü, Sanayileşmiş Konut Yapım Sistemlerinin Değerlendirilmesi Kollokyumu, Ankara.
- [2] Aytun, A., 1971, Türkiye Mühendislik Haberleri, İnşaat Mühendisleri Odası Yayını, Sayı 197 ve 198.
- [3] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1975, İmar ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [4] Aytun, A., Türel, Y. ve Şen, R., 1968, CENCO Conference on Earthquake Hazard Minimization, Ankara.

- [5] Country Monograph of Turkey, 1976, UNESCO Intergovernmental Conference on Assessment and Mitigation of Earthquake Risk, Paris.
- [6] Arioğlu, E. ve Anadol, K., 1977, Proc. Int. Conf. Disaster Area Housing, TÜBİTAK Yapı Araştırma Enstitüsü, İstanbul.
- [7] Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, 1972, İmar ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [8] Tabban, A., 1973, Türkiye'de Deprem Bölgeleri Nüfus ve Alan Araştırmaları, İmar ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [9] Aytun, A., 1983, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Konut Kurultayı, 1982, Ankara.
- [10] Yearbook of National Accounts Statistics 1975, Vol. III : International Tables, 1976, United Nations Publishing Service, New York.

30 Ekim 1983 Narman-Horasan depreminin kaynak mekanizması

M.N. TOKGÖZ
M. GUENETTE
L. GÜLEN
G. KEOUGH
J.J. PULLİ

MIT Earth Resources Laboratory, Cambridge, MA 02139

H. SAV
A. OLGUNER

MTA Temel Araştırmalar Dairesi, Ankara

Çeviri :

İsmail KUŞÇU

MTA Temel Araştırmalar Dairesi, Ankara

GİRİŞ

Kuzeydoğu Türkiye'de Erzurum ili sınırları içinde, 30 Ekim 1983 saat 04 : 13 UTC de yıkıcı bir deprem olmuştur. Deprem, Erzurum ve Kars illerinde büyük çapta hasara neden olmuş, 50 köy ve kasabada 7500'den fazla evin yıkılmasına veya zarar görmesine yol açmıştır. USGS episantrı 40,3°K ve 42,2°D olarak saptamıştır. Depremin magnitüdü NEIS tarafından $M_s = 7.1$, Atina tarafından $M_b = 6.5$, Viyana tarafından $M_b = 6.8$ olarak saptanmıştır. Bu makalede bölgenin tektonik konumunu, depremin sismolojik özelliklerini, kaynak mekanizmasını, artçı şoklarını ve ön belirtilerini de ele alarak, kısaca tanımlayacağız.

SİSMOTEKTONİK KONUM

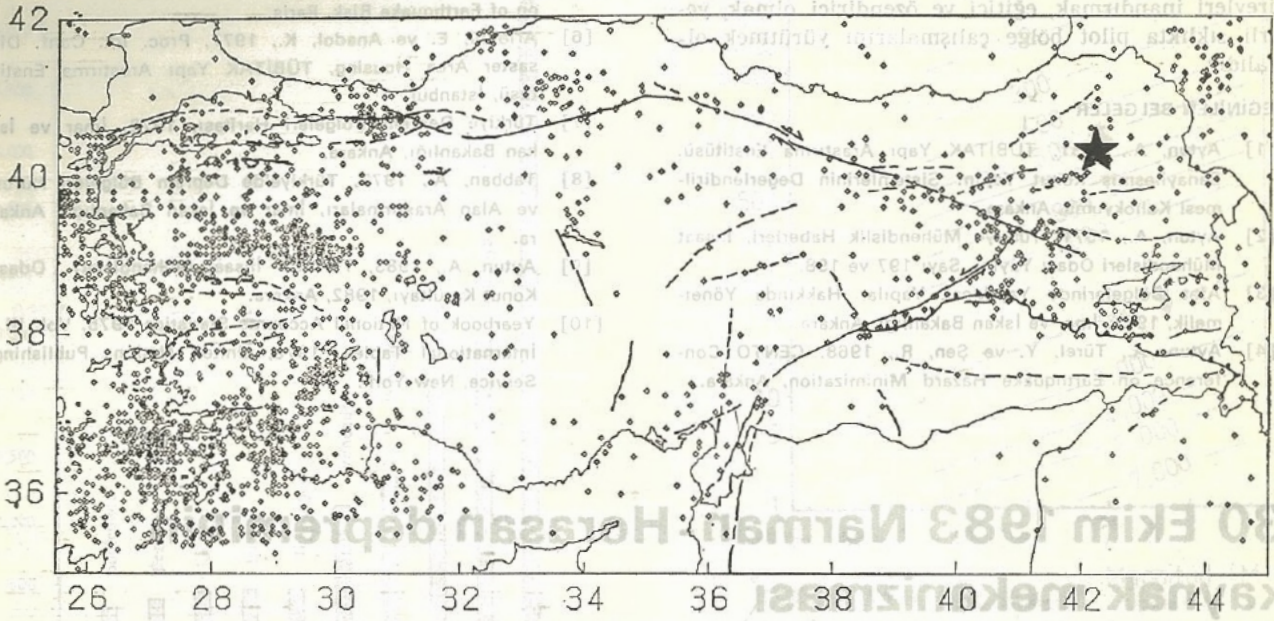
Depremin episantrı, Kuzey Anadolu Fay zonunun oldukça kuzeyinde kalır ve KD-GB yönünde uzanan, Kuzey Anadolu Fayına bir kuzey bileşen oluşturan sismik bir zon içindedir (Şekil 1). Arazide ve Landsat görüntülerinde, NE-SW yönelimli karmaşık bir sol yanal fay sistemi göze çarpar. İkincil

olarak, KB-GD yönelimli sağ yanal faylar da görülebilir. İyi bir rastlantı olarak, Shuttle Imaging Radar (Uzay Mekiği) (SIR-A) yörüngesi hemen episantr alanının kuzeyinden geçmiştir. SIR-A görüntüleri sol yanal yerdeğiştirmeyi ve KD-GB yönelimli fay zonunu açıkça göstermektedir. Bu görüntü Şekil 2'de verilmiştir.

Episantr alanının jeolojisi karmaşıktır. Yüzeyleyen en eski kaya birim Üst Kretase ofiyolitli karışığıdır. Bu oldukça şekil değiştirmiş ve bozulmuş, birimi denizel Eosen çökelleri üzerlemişdir. Bunların üzerinde transgresif Akitanien çökelleri yer alır. Linyit içeren, yaygın olarak gölsel çökellerle temsil edilen Orta-Üst Neojen ile denizel Akitanien çökellerini bir uyumsuzluk ayırır.

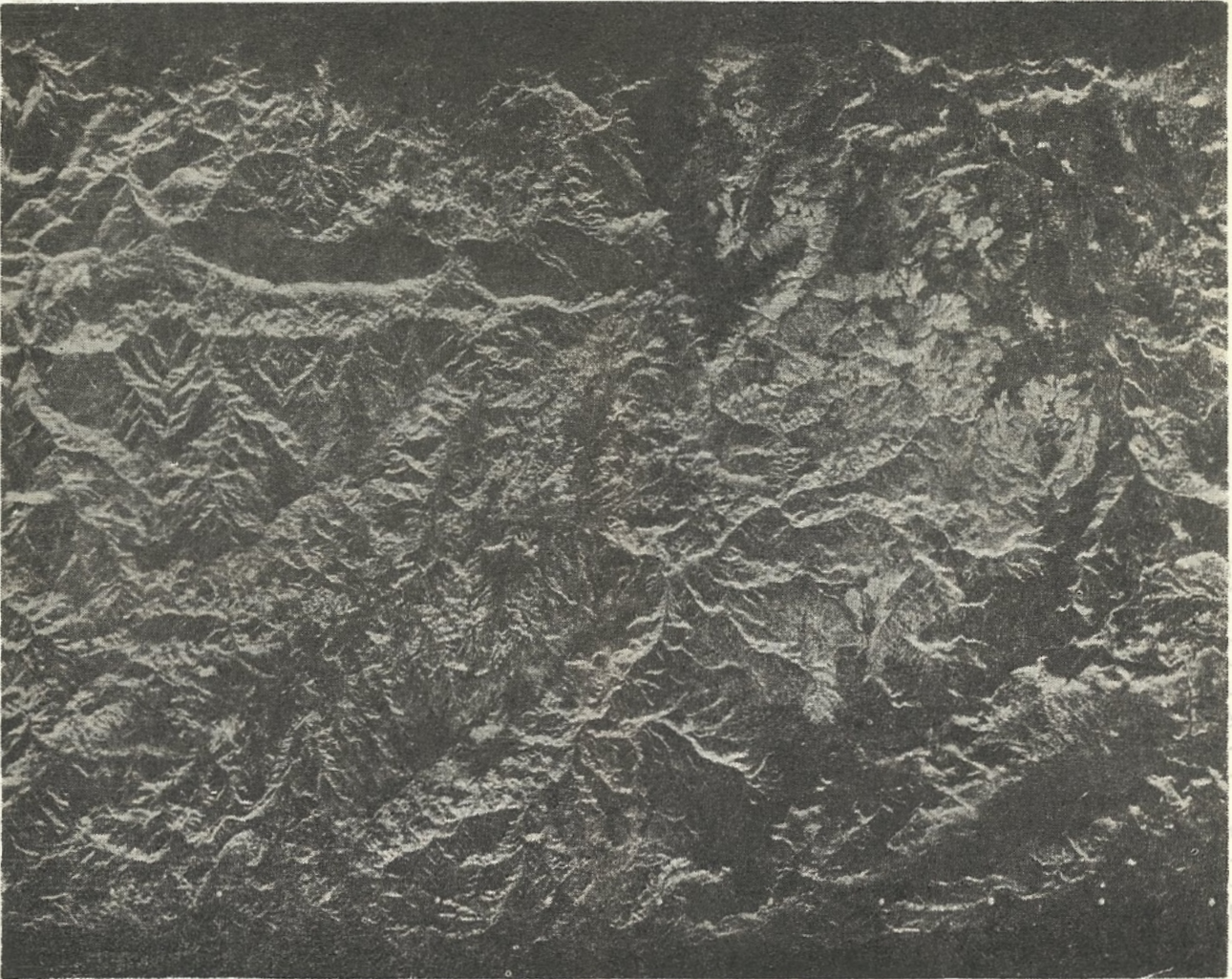
Volkanitler yüzey jeolojisinde ve gözlenen yüzey faylanmalarında önemli yer tutar. Bu bölgede volkanik etkenlik Miyosende başlamıştır ve dasitler, andezitler ve hipersten normatif bazaltlarla kanıtlanan kalk-alkalin özellik gösterir [1]. Akitanien sonrası Neojen seriler, bu kalk-alkalin volkanizma-

1900-1975



haritası. 30 Ekim 1983 depremi episantrı yıldızla gösterilmiştir.

Sekil 1 — Türkiye'deki ana faylar ve deprem episantrları



Şekil 2 — Episantrın kuzeyindeki fay zonunu gösteren SIR-A (Shuttle Imaging Radar-A) görüntüsü.

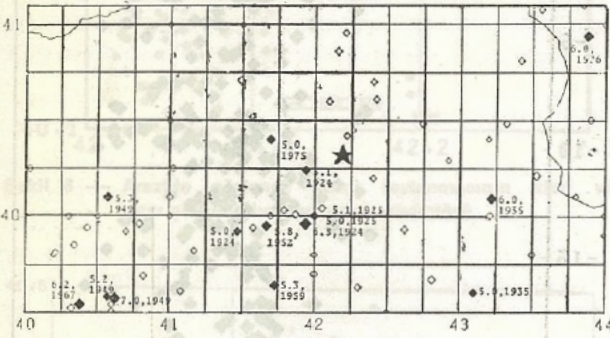
nın ürünleri olan lav akıntıları ve piroklastiklerle ardalanmıştır. Pliyosen ve Pleyistosen'de, volkanizma tekrarlanmış ve ürünü olan olivin bazaltlar, akarsu çökelleriyle ardalanmıştır.

Bölge orta deprensellik karakteri taşır. Bununla beraber, episantr saptama duyarlılığı, yerel istasyon olmayışı ve doğuya doğru veri azlığı nedeniyle düşüktür. Episantrlar Şekil 3'te gösterilmiştir. Bunlardan iki tanesi özellikle önemlidir : (1) 31 Ekim 1952 Pasinler Depremi (39.95°N, 41.67°E, $m_b = 5.8$), (2) 13 Eylül 1924 Depremi (40.0°N, 42.0°E, $m_b = 6.8$). 1924 depremi aynı köyleri etkilemiştir ve köy halkının çoğu o zaman oluşan yıkımı hatırlamaktadır. O zamanki hasar önemli olmakla beraber, 30 Ekim 1983 depremindeki kadar büyük değildir. Şekil 3'te bölgeyi etkileyen orta dereceli depremlerin tarih ve magnitüdüleri verilmiştir. 30 Ekim 1983 tarihinden önce, en son önemli deprem 1975'te olmuştur ($m_b = 5.9$). Şekil 3'te gösterilen episantrlar, bir tek fay zonu belirten bir çizgi üzerine sıralanmışlardır. Bu da bir seri fayın varlığı konusundaki jeolojik kanıtları destekler.

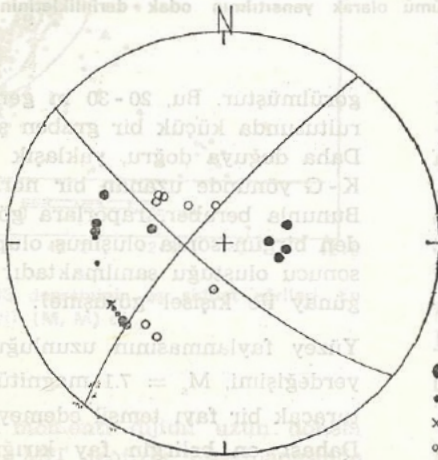
KAYNAK MEKANİZMASI

Fay Düzlemi Çözümü

Depremlerin kaynak mekanizması, yerel kısa ve uzun dönemli istasyonlarla telesismik uzun dönemli



Şekil 3 — Kuzeydoğu Türkiye'deki önemli depremlerin episantrları.



Şekil 4 — 30 Ekim 1983 depreminin fay düzlemi çözümü.

istasyonların ilk hareketleri değerlendirilerek araştırılır. Kısa dönemli P dalgaları birden ortaya çıkarlar ve yaklaşık 3 saniyelik bir öncülük özellikleri vardır. Bu, yakın istasyonlarda kolayca farke dilediği fakat telesismik uzaklıklarda aletin büyütmesine ve gürültüye bağlı olarak gözlenebilir veya gözlenemez. Nzun dönem P dalgaları öncülük özelliği taşımaz. Fay düzlem çözümü Şekil 4'te verilmiştir. İki düzlemden birincisinin doğrultusu 42°, dalımı 80° dir ve bu değerler artçı şok kalıbına uygun düşer. İkinci düzlemin ise, doğrultusu 130°, dalımı 80° dir. Bu verilere, artçı şok dağılımına ve şiddet dağılım haritasına dayanarak, esas faylanmanın ilk düzlemden olduğunu ve depremin sol yanal doğrultu atımlı olduğunu söyleyebiliriz. Bununla beraber, daha sonra değineceğimiz gibi, kaynak mekanizması karmaşıktır ve bazı fay hareketleri ikinci düzlemden yer almış olabilir.

ARTÇI ŞOK DAĞILIMI

Depremden hemen sonra, MTA, İTÜ, ODTÜ ve, Deprem Araştırma Enstitüsü ve MIT'nin katılımlarıyla, sekiz portatif analog ve üç dijital (Sprengnether DR-100) aletin oluşturduğu bir ağ, artçı şokları incelemek için olay yerinde kuruldu. Dijital olanları hariç bütün aletler kısa dönemli düşey sismometrelerdi. Hava şartları ulaşma elvermediği için, aletler (çoğu yıkılmış) köylere kuruldu. Düşük büyütme kullanıldığında bile, depremden sonraki ilk hafta içinde günde 50 den fazla artçı şok kaydedildi. Bunların magnitüdüleri genellikle $M_c = 4$ 'ten azdı. En büyük artçı şok 30 Ekim günü saat 9 : 42 UT de oldu. Magnitüdü $M_c = 5.4$ idi. Bu artçı şok, fay zonunun kuzeydoğu ucunda yeni hasara neden olmuştur. Tipik artçı şok kayıtları Şekil 5'te verilmiştir.

Artçı şokların yerleri Şekil 6'da verilmiştir. Bu veriler 4-15 Kasım arasında alınmıştır ve 446 artçı şoku kapsar. Artçı şoklar, K40°D yönünde ilksel zonlar tanımlar. Zonun güney ucunda ikincil bir salkımlanma görülür. Bunun yönelimi yardımcı fay düz-

NARMAN-HORASAN, TÜRKİYE-ERZURUM

31 VERİ NOKTASI

DERİNLİK 17.0 KM.

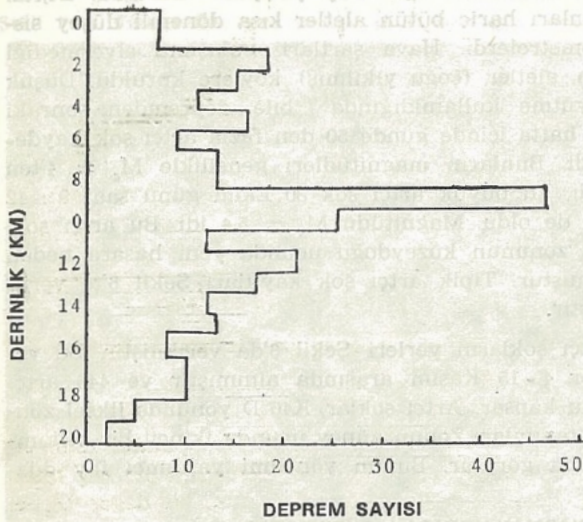
ENLEM : 40.290, BOYLAM : 42.170

- İTİCİ SIKIŞTIRMA
- ORTAYA ÇIKAN SIKIŞTIRMA
- x DÜĞÜM NOKTASI
- ORTAYA ÇIKAN GENİŞLEME
- İTİCİ GENİŞLEME



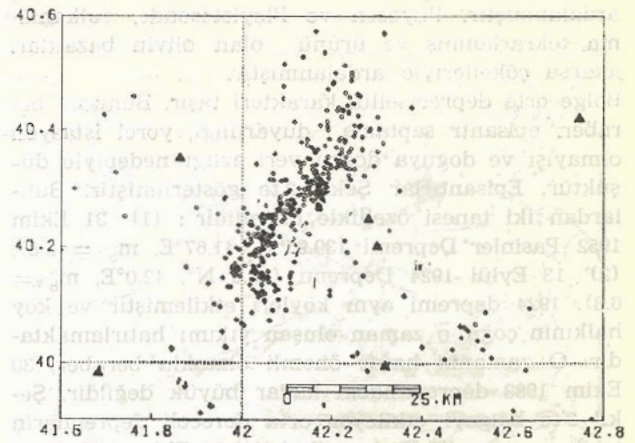
Şekil 5 — 11-12 Kasım'da Narman'da kaydedilen, birkaç artçı şok gösteren bir sismogram.

lemi ile uyumludur. Artçı şokların derinliği, istasyon dağılımı sınırlı olduğundan ve gerekli hız bilgisi yeterli olmadığından sağlıklı olarak saptanamamıştır. Odak derinlikleri dağılımı Şekil 7'de gösterilmiştir.

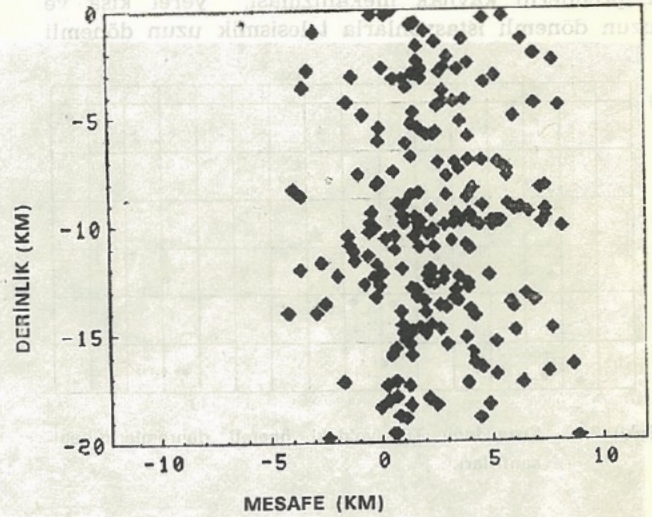


Şekil 7 — Artçı şok kalıbının doğrultusuna izdüşümü olarak yansıtılmış odak derinliklerinin dağılımı.

Artçı şokların esas düzlemi, gözlenen yüzey faylanmasının kuzeybatısına düzer (Şekil 8). Ayrıca, artçı şok zonu, 10-12 km olarak gözlenen faylanma zonundan daha da uzundur. Yüzey faylanması genellikle birbirini izleyen bir çok parçalar şeklinde olmuştur. En belirgin olanı K15°D doğrultulu, 100 cm sol yanal doğrultu atımlıdır. Parçaların boyları 10-80 m arasında değişmektedir. Düşey hareket de (bir yerde 60 cm ve doğu taraf aşağıda olarak) görülmüştür. Araziye saptanabildiği kadarıyla dalımı da 90° (90° ± 10°) dur. En belirgin kırık, bazı süreksizliklere rağmen, yaklaşık 12 km kadar izlenebilmiştir (Şekil 8). Buna ek olarak, esas kırığın güneybatısında daha küçük bir yüzey faylanması da



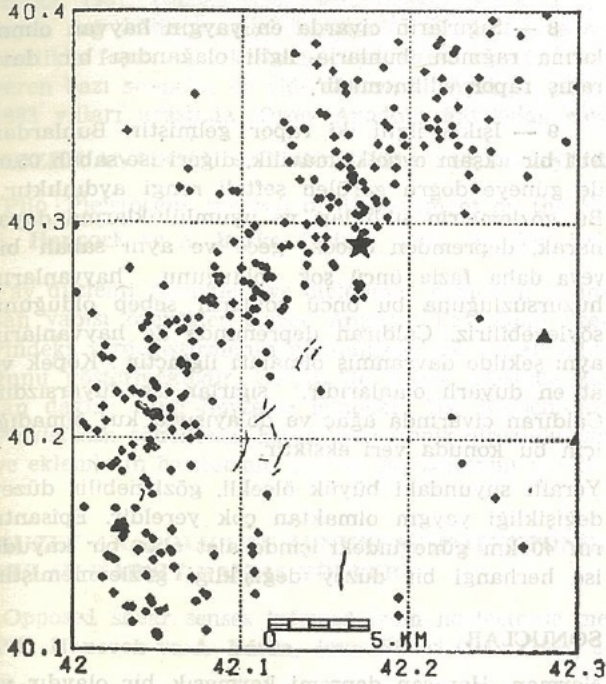
Şekil 6 — 4-15 Kasım arası kaydedilmiş artçı şokların episantr haritası. 30 Ekim episantrı yıldızla gösterilmiştir. Üçgenler istasyonları belirtir.



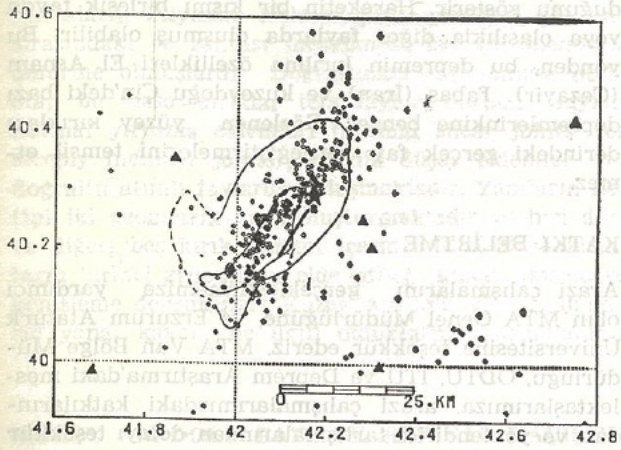
görümüştür. Bu, 20-30 m genişliğinde, K10°D doğrultusunda küçük bir graben şeklinde gözlenmiştir. Daha doğuya doğru, yaklaşık 1000 m uzunluğunda, K-G yönünde uzanan bir normal fay görülmüştür. Bununla beraber, raporlara göre bu kırık, depremden bir gün sonra oluşmuş olup bunun bir artçı şok sonucu oluştuğu sanılmaktadır (M. Erdik ve O. Ergünay ile kişisel görüşme).

Yüzey faylanmasının uzunluğu ve gözlenen yüzey yerdeğişimi, $M_s = 7.1$ magnitüdü bir deprem oluşturacak bir fayı temsil edemeyecek kadar küçüktür. Dahası, en belirgin fay kırığı maksimum şiddet konturlarının yan tarafına düşer. Bu konturlar, artçı şok dağılımı ile çakışır.

Fayın ilk hareketinin derinde olduğunu söylemek yerinde olacaktır. Yüzey faylanması toplam yerdeğiştirmenin sadece bir kısmını temsil eder. Karmaşık jeoloji ve şekil değiştirmeye yatkın ofiyolitler ve volkanoklastikler, fayın hareketinin yüzeye ulaşmadan değişmesini, karmaşıklaşmasını sağlamış olabilir.



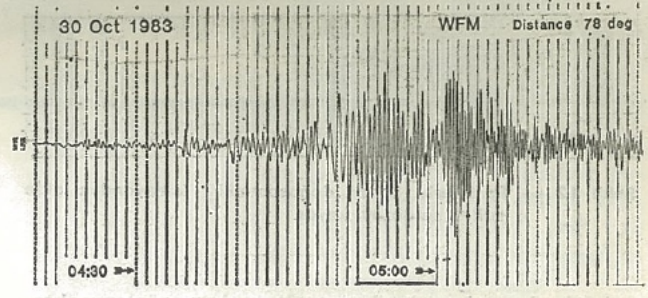
Şekil 8 — Arazide gözlenen yüzey faylanması izleri ve artçı şok dağılımının yakın görüntüsü.



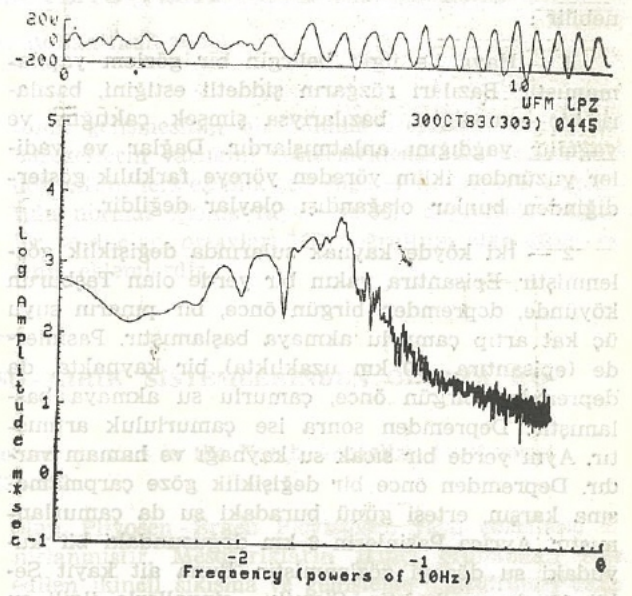
Şekil 9 — 30 Ekim 1983 depreminin eş şiddet eğrileri. En içteki kontur VIII (M, M) dir.

Sismik Moment

Bu depremin sismik momentini dijital uzun dönem verileri kullanılarak, MIT Jeofizik Rasathanesinde hesaplanmıştır. Uzun dönemli düşey sismogram Şekil 10'da, ve karşılık gelen Rayleigh dalgaları tayfı



Şekil 10 — M.I.T. Jeofizik Rasathanesinde kaydedilen uzun periyotlu düşey kayıt. Episantr uzaklığı 78° dir.



Şekil 11 — Şekil 10'da gösterilen sismogramın Rayleigh dalgaları tayfı.

da Şekil 11' de gösterilmiştir. Hesaplanan moment $M_0 = 1 \times 10^{26}$ dyne/cm dir. Momentin bir kaç istasyondan hesaplanması önerilir ama, bu değer $M_s = 7.1$ magnitudü ile uyumludur [2].

Belirti Araştırmaları

1976 Çaldıran depreminde edinilen deneylere dayanarak, arazi araştırmacıları, bölgede yaşayanlardan ön belirti olarak kabul edilebilecek bazı olayları saptamak için çalışmalara başladılar. Bir anket formu düzenlendi ve araştırmacı gruplar, depremden sonraki ilk hafta içinde köylülere sorular sordular. Sorular hissedilen öncü şoklar, top sesine benzer sesler, su düzeyi ve miktarındaki değişiklikler, hayvanların olağandışı davranışları, gökyüzündeki ışıklar, hava ve köylülerin olağandışı sayacakları diğer olaylar üzerineydi. Şu noktaları vurgulamak gerekir : (1) Deprem yerel saatle sabah 7 : 13 te oldu, (2) Bölgedeki çoğu köylüler hayvan (çoğunlukla sığır, koyun, at, tavuk, kaz ve köpek) beslemekteler. Cıvardaki bir çok soğuk ve sıcak su kaynakları vardı. Bölgenin güneyindeki sedimanter hav-



Şekil 12 — Pasinleriy 8 km doğusundaki istasyondan elde edilen su düzeyi kaydı.

zalarda bazı kuyularda yeraltı suları gözlenmektedir.

Bu anketin sonuçları bu kısa raporun konusu dışında kalmaktadır. Bununla beraber, şu şekilde özetlenebilir :

1 — Hava ile ilgili belirgin bir gözlem yapılmamıştır. Bazıları rüzgarın şiddetli estiğini, bazıları hiç esmediğini, bazılarıysa şimşek çaktığını ve yağmur yağdığını anlatmışlardır. Dağlar ve vadiler yüzünden iklim yöreden yöreye farklılık gösterdiğinden bunlar olağandışı olaylar değildir.

2 — İki köyde kaynak sularında değişiklik gözlenmiştir. Episanıra yakın bir yerde olan Taşburun köyünde, depremden birgün önce, bir pınarın suyu üç kat artıp çamurlu akmaya başlamıştır. Pasinlerde (episanıra 40 km uzaklıkta) bir kaynaktan, da depremden birgün önce, çamurlu su akmaya başlamıştır. Depremden sonra ise çamurluluk artmıştır. Aynı yerde bir sıcak su kaynağı ve hamam vardır. Depremden önce bir değişiklik göze çarpmasına karşın, ertesi günü buradaki su da çamurlanmıştır. Ayrıca Pasinlerin 8 km doğusundaki bir kuyudaki su düzeyi gözlenmiştir. Buna ait kayıt Şekil 12 de verilmiştir. Sismik sinyallerle ilgili su düzeyi değişimi yaklaşık 1 m yi bulmaktadır. Depremden sonra su düzeyinde 35 cm lik bir düşüş olmuştur. Depremden on ve iki gün önce yaklaşık 1.5 cm. lik iki düzey değişikliği gözlenmiştir. Bu değişikliklerin depremle ilgili olup olmadığını saptayamayız. Çoğu diğer köyde, yüzey faylanmasına yakın alanlarında bile, depremden önce su miktarı veya çamurluluğu ile gözlem yapılmamıştır. Fakat depremden sonra suda çamurluluk, hatta azalma görülmüştür.

3 — Çoğu köylerde (Taşburun, Alakilise) depremden bir önceki akşam 6.30-10.30 arasında top sesine benzer gümlemeler duyulmuştur. Sütpınar ve Zanzak köylerinde ise aynı akşam saat 10 dan önce bir sallantı hissedilmiştir. En yakın istasyonlarımız, Karakaya, Van, Trabzon, $M_b = 3.0$ dan küçük depremleri kaydedemez. Böylece bu anlatılan olay küçük magnitüdü ($M < 2.5$) bir öncü şok olmalıdır.

4 — Atların depremden önceki gece ve aynı sabah huzursuz olduğuna ilişkin bilgiler edinilmiştir. Çoğu kaçmış ve sabaha doğru kişnemeleri artmıştır.

5 — Köpeklerin de bir gece önce ve deprem sabahı havladıklarına tanık olunmuştur. Episanıra yakın köylerde anlatılan en olağandışı hayvan davranımı ve havlamalardır.

6 — Kargaların ve diğer kuşların çok ses çıkarmaları ve rahatsız görünmeleri de gözlenmiştir.

7 — Koyunların da, bir gece öncesinde huzursuz olduklarına bir raporda değinilmiştir.

8 — Sığırların civarda en yaygın hayvan olmalarına rağmen, bunlarla ilgili olağandışı bir davranış rapor edilmemiştir.

9 — Işıklıla ilgili iki rapor gelmiştir. Bunlardan biri bir akşam evvelki mavilik, diğeri ise sabah 05.00 de güneye doğru görülen şeftali rengi aydınlıktır. Bu gözlemlerin sıklıkları ve uyumluluklarına dayanarak, depremden önceki gece ve aynı sabah bir veya daha fazla öncü şok olduğunu, hayvanların huzursuzluğuna bu öncü şokların sebep olduğunu söyleyebiliriz. Çaldıran depreminde de hayvanların aynı şekilde davranmış olmaları ilginçtir : Köpek ve at en duyarlı olanlarıdır, sığırlar ise duyarsızdır. Çaldıran civarında ağaç ve dolayısıyla kuş olmadığı için bu konuda veri eksiktir.

Yeraltı suyundaki büyük ölçekli, gözlenebilir düzey değişikliği yaygın olmaktan çok yereldir. Episanıranın 40 km güneyindeki içinde alet olan bir kuyuda ise herhangi bir düzey değişikliği gözlenmemiştir.

SONUÇLAR

Narman-Horasan depremi karmaşık bir olaydır ve birden fazla fayın hareketiyle ilgilidir. Fay düzlemi çözümleri ve artçı şok dağılımları ilk fay hareketinin $K40^{\circ}D$ doğrultulu, sol yanal doğrultu atımlı olduğunu gösterir. Hareketin bir kısmı birleşik fayda veya olasılıkla diğer faylarda oluşmuş olabilir. Bu yönden, bu depremin kırılma özellikleri El Asnam (Cezayir), Gabas (İran) ve kuzeydoğu Çin'deki bazı depremlerinkine benzer. Gözlenen yüzey kırıkları derindeki gerçek fay yerdeğiştirmelerini temsil etmez.

KATKI BELİRTME

Arazi çalışmalarını gerçekleştirmemize yardımcı olan MTA Genel Müdürlüğüne, ve Erzurum Atatürk Üniversitesine teşekkür ederiz. MTA Van Bölge Müdürlüğü, ODTÜ, İTÜ ve Deprem Araştırma'daki meslektaşlarımıza, arazi çalışmalarımızdaki katkılarından ve yönlendirici tartışmalarından dolayı teşekkür ederiz. M.I.T'den Andrew Osler artçı şok yeri belirleme hesaplamalarında yardımcı oldu.

DEĞİNİLEN BELGELER

- [1] Pasquare, G., 1971, Geol. Rundschau, 60, 900-911.
[2] Kanamori, H. ve Anderson, D.L., 1975, B.S.S.A., 65, 1073-1095.