

13 MART 1992 ERZİNCAN DEPREMİNİN ANA ŞOK VE ART SARSINTI ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE BİR TARTIŞMA

A Discussion on the Mainshock and Aftershock Characteristics of the Erzincan Earthquake of March 13, 1992

Haluk EYİDOĞAN*

ÖZET

13 Mart 1992 Erzincan depremi ana şoku ($M_s=6.8$), geniş, karmaşık ve kalın tortul içeren bir açılma-genişleme havzası niteliğinde olan Erzincan havzasında ve Kuzey Anadolu Fayı'nın Erzincan bölgesinde yer almıştır.

Bu çalışmada, Erzincan depreminin yeri ve faylanma özellikleri aydınlatılmaya çalışılmıştır. Ana şoku kaydeden yakın deprem istasyonlarının P ve S dalgaları varış zamanları kullanılarak yer bulma işlemi yapılmıştır. Ana şoktan sonra oluşan etkinliği incelemek amacıyla deprem sahasında taşınabilir 24 adet sayısal ve analog deprem istasyonu kurulmuş (Cisternas ve diğ. 1992) ve kaydedilen art sarsıntıların yerleri haritalanmıştır. Deprem kaynak parametrelerinin elde edilmesi için uzak istasyon kayıtlarından alınan P dalgaları taslaklanmıştır.

Yer bulma işlemi sonucu elde edilen koordinatların standart hataları büyük olduğundan ana şokun yerini bu yaklaşımla saptamak olanaksız görülmektedir. Art sarsıntıların bir bölümü havzanın kuzey sınırını oluşturan KAF'nın üzerinde olmakla birlikte, çoğunluğu havzanın güneydoğusunda yer alan ve havzanın dışına taşan 40 km uzunluğunda bir zon oluşurmuştur. Uzak alan uzun periyod (Telesismik) P dalgalarının kinematik deprem kaynak yaklaşımı izlenerek modellenmesi yoluyla elde edilen verilere göre depremin odak derinliği 10-12 km olup, depremin, doğrultusu $120^\circ-130^\circ$ ve dalımı $75^\circ-85^\circ$ GB olan bir doğrultu atımlı sağ yönlü faylanma ile oluştuğu ve ana şokun ard arda en az üç şok içerdiği bulunmuştur. Toplam sismik moment ortalama $1.2 \cdot 10^{26}$ dyne-cm dir. Sismik momenti $0.6 \cdot 10^{26}$ dyne-cm olan ilk şok, her birinin sismik momenti $0.3 \cdot 10^{26}$ dyne-cm olan iki şok tarafından izlenmiştir. İkinci şok, ilk şoktan ortalama 15 s sonra kuzeybatıda, üçüncü şok ise ilk şoktan ortalama 28 s sonra güneydoğuda olmuştur.

Art sarsıntı dağılımına ve ana şokun kinematik kaynak taslaklanmasıyla elde edilen faylanma parametrelerine dayanarak, Erzincan depreminin havzanın güneydoğusunda oluşan karmaşık bir faylanma ile oluşturulduğu ve KAF'nın bölgedeki diğer bazı dallarının da etkinlik kazandığı sonucuna varılmıştır.

ABSTRACT

The Erzincan earthquake of March 13, 1992 ($M_s=6.8$) is a major event occurred near the eastern end of the North Anatolian Fault (NAF). The epicentral region is characterized mainly by a wide and complex pull-apart basin which was developed due to shift of several branches of the NAF.

In this paper, we investigated the location and the mechanism of faulting of the Erzincan earthquake. The mainshock was relocated using the arrival times of P and S waves recorded at regional seismic stations. The aftershocks, which were recorded in the field using 24 portable digital and analog seismographs (Cisternas et. al. 1992), were located to study the activity after the mainshock. The long-period P and SH waveforms were modeled to obtain detailed fault parameters.

The standart error found for relocated hypocenter is beyond the limit of reliability to fix the location of the mainshock. Aftershock activity is clearly observed along the NAF on the northern border of the basin, but the most of it is situated to the SE of the basin, and out of the basin away from the NAF, for about a total length of 40 km. The modeling of the teleseismic P waveforms of the mainshock showed that the mainshock nucleated at a depth of about 10-12 km and took place on a right-lateral strike-slip fault striking $120^\circ-130^\circ$ SE and dipping $75^\circ-85^\circ$ SW. The mainshock consisted of three shocks. The first one had a seismic moment of about $0.6 \cdot 10^{26}$ dyne-cm and was followed by two smaller shocks, each having a seismic moment of about $0.3 \cdot 10^{26}$ dyne-cm. The second shock occurred about 15 s after the first shock to the northwest while the third one occurred about 28 s after the first shock to the southeast, respectively.

Based on the distribution of the aftershocks and the forward modeling of the mainshock source, it was suggested that a complex faulting associated with Erzincan mainshock occurred east of the basin activating several other branches of the NAF.

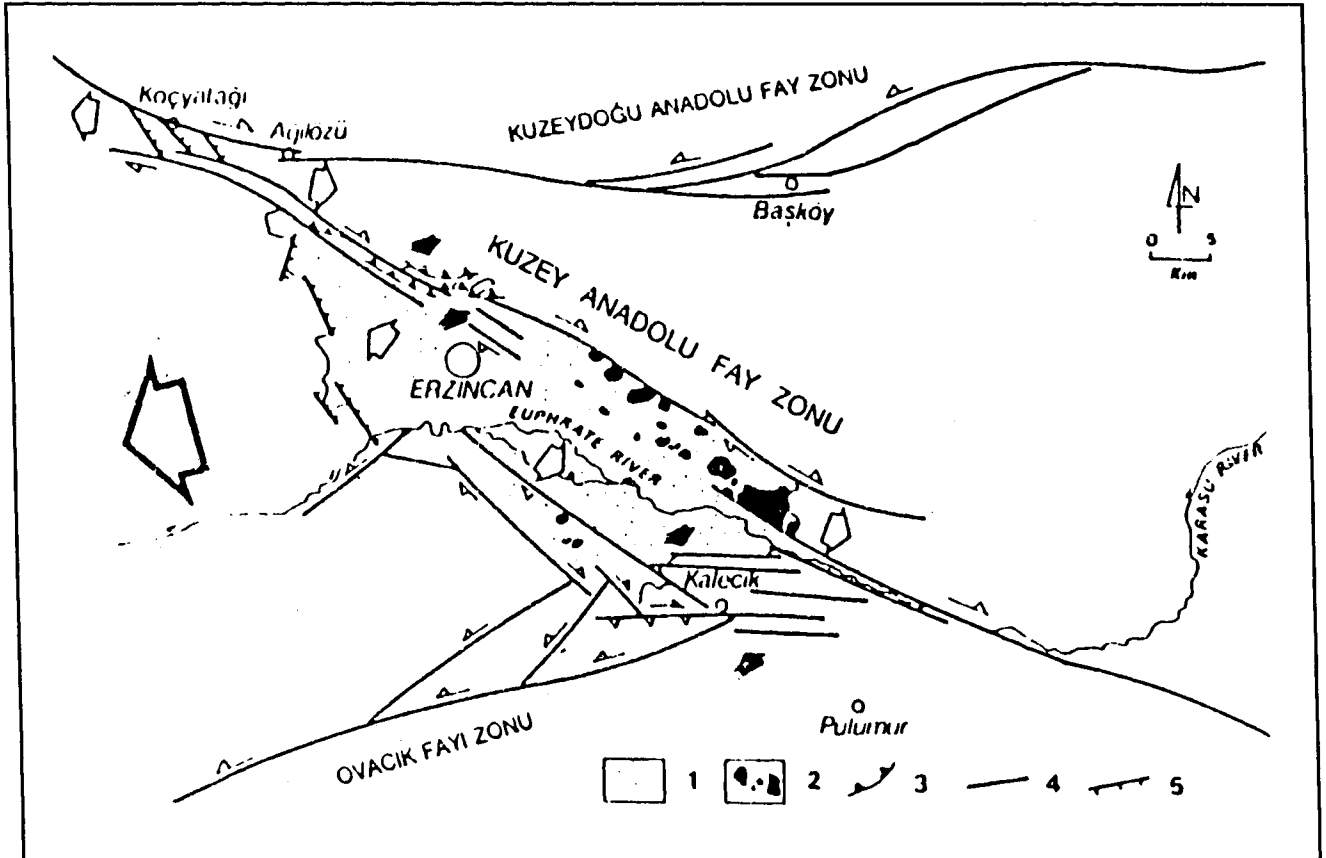
* İTÜ Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul.

GİRİŞ

13 Mart 1992 Erzincan depremi ana sarsıntısı ($M_s=6.8$), geniş karmaşık ve kalın tortul içeren bir açılma-genişleme (pull-apart) havzası niteliğinde olan Erzincan havzasında olmuştur. Havza, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Kuzeydoğu Anadolu Fay Zonu (KDAFZ) ve Ovacık Fayı (OVF) arasında yer almaktadır (Şekil 1). Kuzeydeki KDAFZ, Karadeniz dağ sırasını güneyden sınırlayan sol yönlü doğrultu atımlı bir fay zonedir. Sağ yönlü doğrultu atımlı KAFZ'nun, Erzincan havzasının kuzey ve güneyinde, geniş bir zonda izleri görülmekte olup (Tüysüz 1992), fay bu bölgede bindirme bileşeni de içermektedir (Barka 1992). Bu faylar üzerinde elde edilen jeolojik kayma hızları, KAF için yaklaşık 1 cm/yıl, OVF ve KDAF ları için yaklaşık 0.15-0.2 cm/yıl olarak bulunmuştur (Barka ve Gülen 1989). KAF, Erzincan Ovasına ovanın güneydoğu köşesinden girer, ova içersinde ve güneyinde sona erer. Fayın diğer bir kolu, bir fay zonu durumunda ovanın kuzey sınırında görülür. Ters atım bileşeni de içeren fayların egemen olduğu bu zon ise ovanın kuzeybatısında sona ermektedir. Bunun bittiği yerin hemen kuzeyinde başlayan yeni bir kol ise kuzeybatıda Reşadiye'ye doğru uzanır. Erzincan Ovasının güneyinde de yanıl atımlı faylar gözlenmiştir. Ovanın güneyinde yer alan ve KAF'na açılı gelen Ovacık Fayı, Erzincan ovasından Ovacık ilçesine doğru kuzeydoğu-güneybatı yönünde uzanan sol yönlü doğrultu atımlı bir fay zonedir. Bu ana

fayların arasında daha ufak boyutlu ikincil faylar da bulunmaktadır. Erzincan Ovası bu fay zonlarının etkisi altında günümüzde de gelişimini sürdüren bir açılma-genişleme havzasıdır. Sözü ettiğimiz bu fayların bir bölümü zaman zaman ötekilerine göre daha etkin duruma gelmekte ve yaşadığımız depremleri oluşturmaktadırlar. Erzincan ovası bugünkü yapısını bu fay zonlarının dinamizmi ile kazanmıştır. Havza kenarlarının faylarla yükseltilmesi, havzanın ise izafi olarak çökmesi sonucu çok geniş tortul yelpazeler gelişmiştir (Tüysüz 1992). Fayların oluşturduğu çatlaklara bağlı olarak havza sınırlarından çıkan genç volkanitler ova kenarlarında sivri tepelikler oluşturmaktadırlar. Bunun yanı sıra dere ötelenmeleri, heyelanlar, mineralli su kaynakları gibi çok sayıda etkin faya bağlı unsurlar da ova içi ve çevresinde gözlenmektedir.

Jeolojik ve makrosismik gözlem bilgilerine dayanılarak, 26 Aralık 1939 Erzincan depreminin ana sarsıntısının dış merkezinin havzanın kuzeyini sınırlayan KAF'nın Koçyatağı çevresindeki bölümünde olduğu belirtilmektedir (Koçyiğit ve Rojay 1992). 13 Mart 1992 Erzincan depreminin makrosismik episanır bölgesinde (en fazla hasar olan yerde) geniş bir alana yayılmış olarak, türleri tartışmalı olan bir çok kırık ve çatlak gözlenmiştir (Barka ve Gülen 1989, Koçyiğit ve Rojay 1992, Barka ve Eyidoğan 1993). Çatlaklar, kum fıskırmaları, hasara uğrayan yol ve köprülerin KAF'nın batıda Davarlı'dan doğuda Tanyeri'ye kadar tetiklendiğini göstermektedir. Ancak 13 Mart



Şekil 1. Erzincan ve çevresinin jeolojik ve neotektonik özellikleri, 1. Pliyo-Kuvaterner yaşlı havza dolgusu, 2. Pliyo-Kuvaterner volkanik kayalar, 3. Pliyo-Kuvaterner yaşlı bindirme fayı, 4. Diğer faylar, 5. Normal faylar (Koçyiğit ve Rojay 1992).
Fig. 1. Geologic and neotectonic characteristics of Erzincan and surroundings. 1. Plio-Quaternary Basin sediments, 2. Plio-Quaternary volcanic rocks, 3. Plio-Quaternary thrust zone, 4. Undefined faults, 5. Normal faults (Koçyiğit and Rojay 1992).

1992 ana sarsıntısının ilk oluştuğu yerin (iç merkez, hiposantr) tam olarak nerede olduğu konusunda birçok belirsizlikler vardır. 1939 depreminin dış merkez yeri deprem istasyonlarımızın olmaması nedeniyle duyarlı olarak verilememiştir. Ancak, 1993 yılına gelinmesine rağmen Türkiye'de büyük bir depremin yerinin günümüzde bile 15-20 km lik hatalarla verilmesi en temel önemli sorunlarımızdan birisi olarak önümüzde durmaktadır. Bu sorunun çözümü, depremselliği yüksek ülkelerden biri olan Türkiye'de deprem sismolojisine gereken önemi vermek ve deprem istasyonlarının sayısını ve kalitesini arttıracak yatırımları yapmakla olacaktır.

Bu çalışmada, 13 Mart 1992 Erzincan depremi ana sarsıntısının nerede ortaya çıktığı ve depremin olurken kaynağında ne tür hareketlerin oluştuğu sorularına yanıt bulma çabalarımız anlatılmaya çalışılacaktır. Bu amaçla, deprem bölgesinde yapılan art sarsıntı kayıt ve ön değerlendirme sonuçları ve ana sarsıntı sırasında deprem kaynağındaki kırılmanın zaman ve yer içindeki gelişimi tartışılacaktır.

P DALGALARININ VARIŞLARINA GÖRE ANA SARSINTININ YERİ

13 Mart 1992 ana sarsıntısının ve izleyen belli başlı art sarsıntıların yerleri ve diğer bazı deprem parametreleri, depremlerden kısa bir süre sonra bazı ulusal ve uluslararası sismoloji araştırma ve veri merkezleri tarafından yayınlanmıştır. Çi-

zelge 1'de bu depremler için ABD Ulusal Deprem Bilgi Merkezi (NEIS) tarafından yayınlanan deprem parametreleri verilmiştir. Bu çalışmada İTÜ, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Dairesi tarafından Türkiye'nin çeşitli yerlerinde çalıştırılan deprem istasyonlarının kaydettiği P ve S dalgalarının varış zamanları kullanılarak 13 Mart 1992 ana sarsıntısının 15 Mart 1992 büyük art sarsıntısının yerleri yeniden saptanmıştır. Bu iki deprem için NEIS'in verdiği ve bu çalışmada bulunan konumları Şekil 2'de gösterilmiştir. NEIS tarafından verilen konumlardaki hatalar enlem ve boylam için sırasıyla 4 ve 3 km dir. Türkiye'deki yakın istasyonları kullanarak saptadığımız konumlardaki hatalar ise enlem, boylam ve derinlik için sırasıyla 17, 8 ve 10 km dir. Bu sonuç, Türkiye'deki deprem istasyon dağılımı ve kayıt kalitesi ile ilgili sorunların boyutunu açıkça ortaya koymaktadır. NEIS'in verisine göre 13 Mart 1992 depremi, havzanın kuzey sınırındaki KAF segmenti (1939 depreminin kırıdığı fay parçası) üzerinde olmamıştır. Bu çalışma sırasında bulunan konum ise ana sarsıntının, havzanın kuzeyindeki KAF segmentine daha yakın bir yerde oluştuğunu göstermektedir.

ART SARSINTI DAĞILIMINA GÖRE ANA SARSINTININ YERİ

Bir büyük depremi izleyen ve aylarca sürebilen art sarsıntılar (artçı şoklar) depremi oluşturan kırılmanın zaman ve

Çizelge 1. 13 Mart 1992 Erzincan depremi ana sarsıntısı ve izleyen art sarsıntılarının NEIS tarafından saptanan deprem parametreleri.

Table 1. Earthquake parameters of 13 March 1992 Erzincan earthquake and its aftershocks which are reported by NEIS.

Tarih	Oluş. Z	Enlem	Boylam	H	Mb	Ms	M	Mo
G. A. Y.	S. D. Sn.	K°	D°	km				dyne.cm
13 03 1992	17 18 39.9	39.710	39.605	27	6.2	6.8	6.9	1.3 10 ²⁶
13 03 1992	18 37 53.8	39.843	39.520	10	4.7		(BRK)	
13 03 1992	20 15 18.1	39.433	39.914	10	4.5			
13 03 1992	22 47 2.8	40.021	39.744	28	4.7			
14 03 1992	01 24 33.7	39.527	39.701	22	4.7	4.3		
15 03 1992	16 16 24.2	39.532	39.929	21	5.5	5.8	6.0	4.0 10 ²⁵
21 03 1992	23 15 50.2	39.602	39.870	15	4.7	3.8		
22 03 1992	21 52 57.8	38.068	37.851	10	3.6			
25 03 1992	03 58 26.2	39.749	39.622	10	3.5			
29 03 1992	09 26 20.1	39.433	39.647	10	4.2			
19 04 1992	10 14 35.8	39.510	39.633	10	4.4			
20 04 1992	18 04 59.0	39.537	39.859	14	4.6	4.2		
22 04 1992	03 03 52.0	39.532	39.718	29	4.5	3.5		
28 04 1992	07 16 27.7	39.606	39.915	10	4.2			
07 05 1992	19 15 02.3	38.677	40.130	10	5.0	4.4		
14 07 1992	04 26 24.5	39.116	41.756	10	4.6			

ortam boyutunda nasıl geliştiği ve kırılmanın özellikleri ile değerli bilgiler verir. Bu nedenle sismologlar büyük depremlerden hemen sonra deprem bölgesine giderek çeşitli türde deprem kayıtçıları yerleştirir ve haftalarca kayıt alırlar. Kayıt alma işlemleri ne kadar önce başlarsa o kadar değerli bilgiler elde edilir.

13 Mart depreminden 48 saat sonra İTÜ olarak deprem bölgesine erişmiş olmakla birlikte, saha tipi portatif deprem kayıtçılarımızın olmaması, önceleri birlikte çalışmak arzusunda olup, daha sonra deprem bölgesindeki koşullar nedeniyle araştırma yapmaktan vazgeçen İngiliz bilim adamlarının neden olduğu saha programı aksamasından ve birlikte çalışmaya karar verdiğimiz Fransa, Strasbourg Yer Fiziği Enstitüsü (IPG) eleman ve aletlerinin ancak 10 günlük bir gecikmeyle deprem bölgesine gelebilmeleri nedeniyle 13 gün sonra bölgede art sarsıntı kaydı başlatılabilmektedir. Bölgede yerleştirilen 9 adet telsiz bağlantılı (telemeter) kayıtçı, 8 adet GEOSTRAS modeli analog teyp kayıtçı ve 8 MEQ-800 modeli isli kayıtçı kullanılarak 24 deprem istasyonu kurulmuştur (Şekil 3). 26 Mart 1992 tarihinden başlayarak önce Erzincan havzası sınırlarında 9 adet telsiz bağlantılı deprem istasyonu kurulmuş ve bu istasyonlardan ilk elde edilen art sarsıntı dağılımı geometrisine ve zor arazi koşullarına bağlı olarak daha sonra diğer tür deprem kayıtçıları arazide yerleştirilmişlerdir. Bu deprem kayıtçıları ile 26 Mart 1992 - 4 Mayıs 1992 tarihleri arasında 2000'e yakın art sarsıntı kaydı yapılmıştır (Eyidoğan ve Cisternas 1992, Cisternas ve diğ. 1992). Şekil 4 de 3 Nisan - 10 Nisan 1992 tarihleri arasında kaydedilen ve yerleri (enlem, boylam ve derinlik) ± 1000 m'den daha az hata ile bulunan art sarsıntılarının episantr dağılımı gösterilmiştir. Art sarsıntılarının yerlerinin saptanması için HYPOINVERSE programı kullanılmış ve hız modeli olarak $d_1=4$ km, $\alpha_1=5.3$ km/s; $d_2=35$ km, $\alpha_2=6.0$ km/s; $d_3=\infty$, $\alpha_3=8.0$ km/s alınmıştır. 10 Nisan 1992 sonrası art sarsıntı kayıtlarının değerlendirilmesi sürmekte olup daha ayrıntılı episantr haritaları izleyen makalelerde yayınlanacaktır. Art sarsıntılarının bir bölümü havzanın kuzey sınırını oluşturan KAFZ'nun bir kırığı üzerinde olmakla birlikte, çoğunluğu havzanın güneydoğusunda yer alan ve havzanın dışına taşan 40 km uzunluğunda bir alan oluşturmıştır. 13 Mart 1992 ana sarsıntısından sonra ilk 15 günlük art sarsıntı dağılımının karakteri konusunda duyarlı verilerimiz yoktur. Deprem bölgesinde art sarsıntı kayıt çalışmaları yapan TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi ve Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi'nden diğer iki ekibin elde ettiği art sarsıntı dağılımı da Şekil 4'de görülen dağılımla aynı niteliktedir (Ergintav ve diğ. 1992, Barka 1992). Şekil 4'de görülen art sarsıntı dağılımına dayanarak iki yorum yapmak olanaklıdır. Buna göre; (1) deprem istasyonlarının kurulmadığı ilk 15 gün art sarsıntı etkinliği havzanın kuzey batısında yoğunlaşmış ve daha sonra güneydoğuya kaymıştır ya da (2) art sarsıntılar başlangıçtan beri güneydoğuda oluşmuştur. Bu iki yoruma göre ana sarsıntının konumu değişebilir. Birinci yorumun geçerliliğinde ana sarsıntının Erzincan iline daha yakın, ikinci yoruma göre ise Erzincan'ın güneydoğusunda olduğu önermeleri yapılabilir. 15 Mart 1992 tarihinde olan ve özellikle Pülümür çevresinde hasar yapan depremin ana sarsıntısına göre konumu birinci yorumu güçlendirmektedir. Ancak, KAF'nın havzanın kuzeyindeki ana kolu üzerinde çok az sayıda art sarsıntı olması, ana sarsıntıyı oluşturan kırılmanın burada olmadığı şeklinde bir yoruma yol açmaktadır.

Şekil 5a ve Şekil 5b'de, Şekil 4'de görülen art sarsıntılarının iç merkezlerinin enlem ve boylam değişimine göre odak derinlik kesitleri verilmiştir. Kesitlerden görüleceği gibi art sarsıntılar 15 km den daha sığda oluşmaktadırlar. Odak derinliklerinde hata değerleri 1 km ya da daha azdır. Ana şokun oluştuğu derinlikte art sarsıntılarının yoğun olarak oluşacağı görüşü ışığında, ana sarsıntının derinliğinin 15 km den daha derin olamayacağı tezi güç kazanmaktadır.

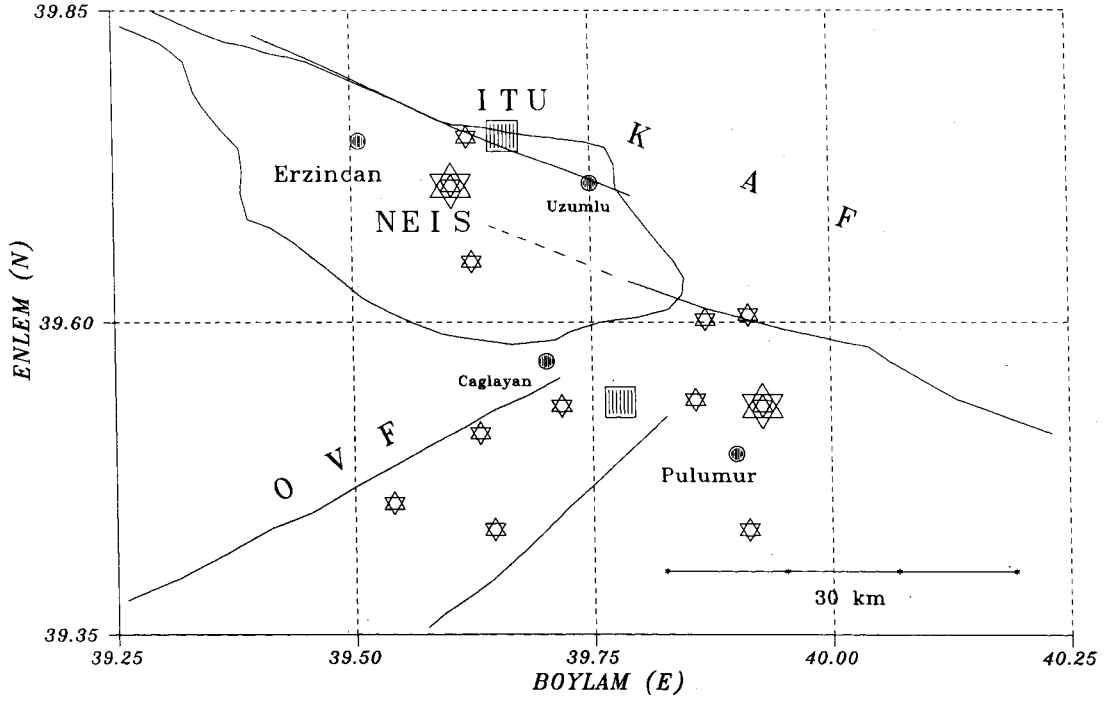
Bütün bu veriler gözönüne alındığında 13 Mart 1992 ana sarsıntısı odağının, Erzincan ilinin doğusuna doğru tortul havzanın altında yer alan ve KAF zonunun parçaları olan faylarla ilgili olduğunu ve odak derinliğinin de kabuğun üst bölümlerinde (<15 km) yer aldığını önerebiliriz. Deprem sırasında Erzincan ilinin güneydoğusunda KB-GD doğrultulu bir fayın harekete geçtiği, ayrıca güneydeki KD-GB doğrultulu sol yönlü Ovacık Fayı'nın kollarının da etkinleştiği ve KAF'ı ile girişimi sonucu karmaşık bir art sarsıntı dağılımının oluştuğu söylenebilir. Art sarsıntılarının yerleri ve fay mekanizması çözümleri ile ilgili çalışmalarımız sürmekle birlikte ilk elde ettiğimiz bazı sonuçlara göre havzanın doğusunda çek-ayır (pull-apart) mekanizması tetiklenmiştir. Bu konu ile ilgili çalışmalarımız sürmekte olup daha sonraki yayınlarda ele alınacaktır.

DEPREM SIRASINDA KIRILMA NASIL OLUŞTU?

Telesismik (uzak alan) uzun periyodlu P ve SH dalgalarının dalga biçimleri modellenerek bir depremin kaynağındaki olayların zaman ve tektonik ortam içindeki gelişmesi ve mekanizma özellikleri aydınlatılabilir (Eyidoğan ve Jackson 1985). Bu çalışmada 13 Mart 1992 Erzincan depreminin WWSSN istasyonlarının 30° - 90° uzaklıkta bulunan bazılarından sağlanan P dalgaları dalga biçimleri zaman ortamında modellenerek deprem sırasında faylanmanın zaman ve yer içinde nasıl geliştiği incelenmiştir. Düz çözüm modelleme tekniği kullanılarak yapay P-dalgaları oluşturulmuş ve gözlemsel kayıtlarla karşılaştırılmıştır. Gözlemsel ve yapay uyumunun en iyi olduğu kaynak modeli için (Şekil 6a ve Şekil 6b) ana sarsıntının kaynak mekanizması, odak derinliği, kaynak-zaman fonksiyonu elde edilmiştir. Buna göre depremde oluşan faylanma KAFZ'nun doğrultusuna ve karakterine uygundur, ancak sağ yönlü fay atımına ek olarak bir miktar da normal faylanma bileşeni vardır (Şekil 7). Deprem derinliği sığ olup 10-12 km'den daha derin değildir. Depremin basit bir faylanma (kırılma) mekanizması içermediği; ana sarsıntının ikincisi ve üçüncüsü ortalama 15 ve 28 saniye sonra oluşan en az üç kaynaklı bir faylanma oluşumu biçiminde geliştiği anlaşılmaktadır (Şekil 8). Ana sarsıntı için toplam sismik moment ortalama $1.2 \cdot 10^{26}$ dyne-cm olarak elde edilmiştir.

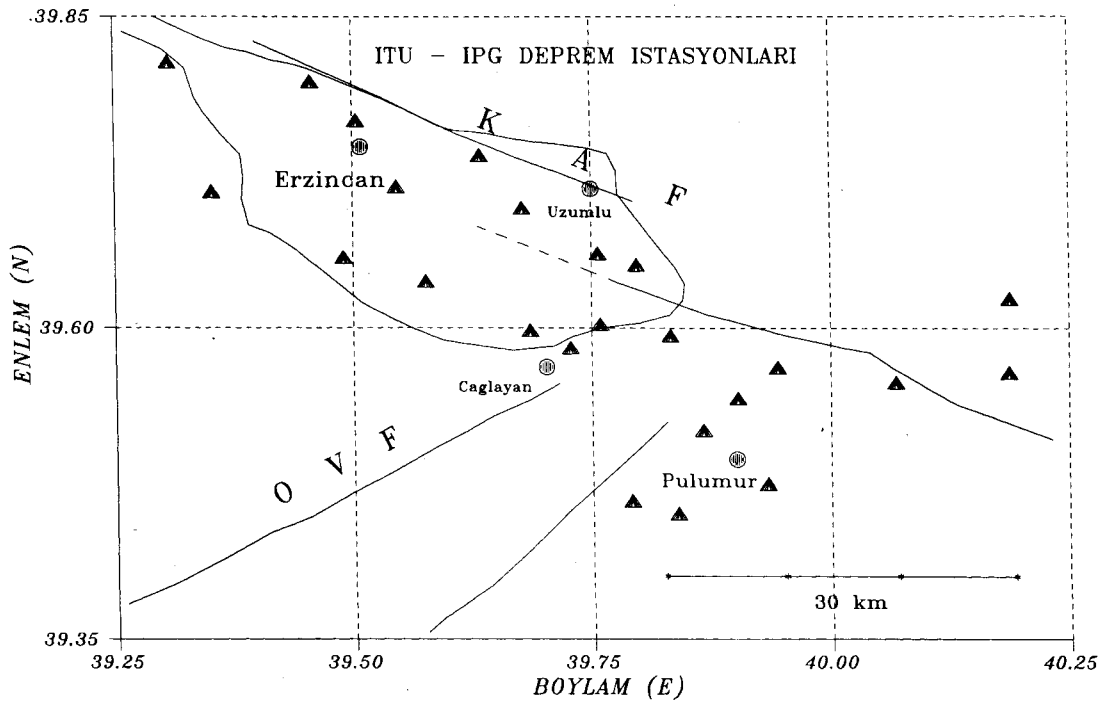
SONUÇ

13 Mart 1992 depremi sonrası deprem bölgesi çevresinde kurulan portatif deprem istasyonları ile 3 Nisan - 10 Nisan 1992 tarihleri arasında kaydedilen ve ilk aşamada yerleri bulunan art sarsıntı dağılımına göre etkinliğin ana şok sonrası havzanın güneydoğusunda yoğunlaştığı bulunmuştur. Ana şokun kesin yeri belirsiz olmasıyla birlikte, bu dağılıma bakarak ana sarsıntının Erzincan ilinin doğusunda ya da güneydoğusunda olduğu söylenebilir. 13 Mart 1992 depreminin oluşumundan



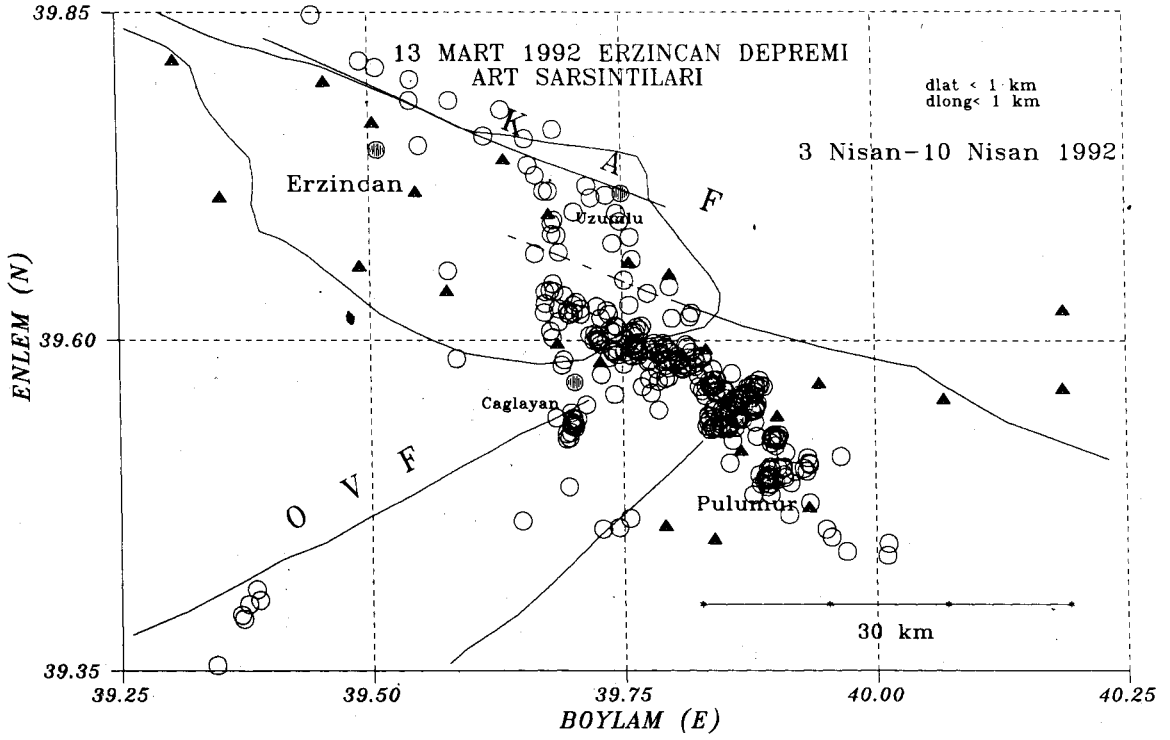
Şekil 2. 13 Mart 1992 Erzincan ana sarsıntısı ve 15 Mart 1992 art sarsıntısı için NEIS'in verdiği episantırlar (büyük yıldız) ile bu çalışmada bulunan episantırların (büyük kare) karşılaştırılması, KAF, Kuzey Anadolu Fayı; KDAF, Kuzeydoğu Anadolu Fayı; OVF, Ovacık Fayı. Ufak yıldızlar Çizelge 1'de verilen art sarsıntılarının dış merkez konumlarını göstermektedir.

Fig. 2. Comparison of locations of the mainshock and major aftershock of 15 March 1992, which are located by NEIS (asterisk) and ITU (square). KAF, North Anatolian Fault; KDAF, Northeast Anatolian Fault; OVF, Ovacık Fault. The small asterisks are the aftershock epicenters reported by NEIS.



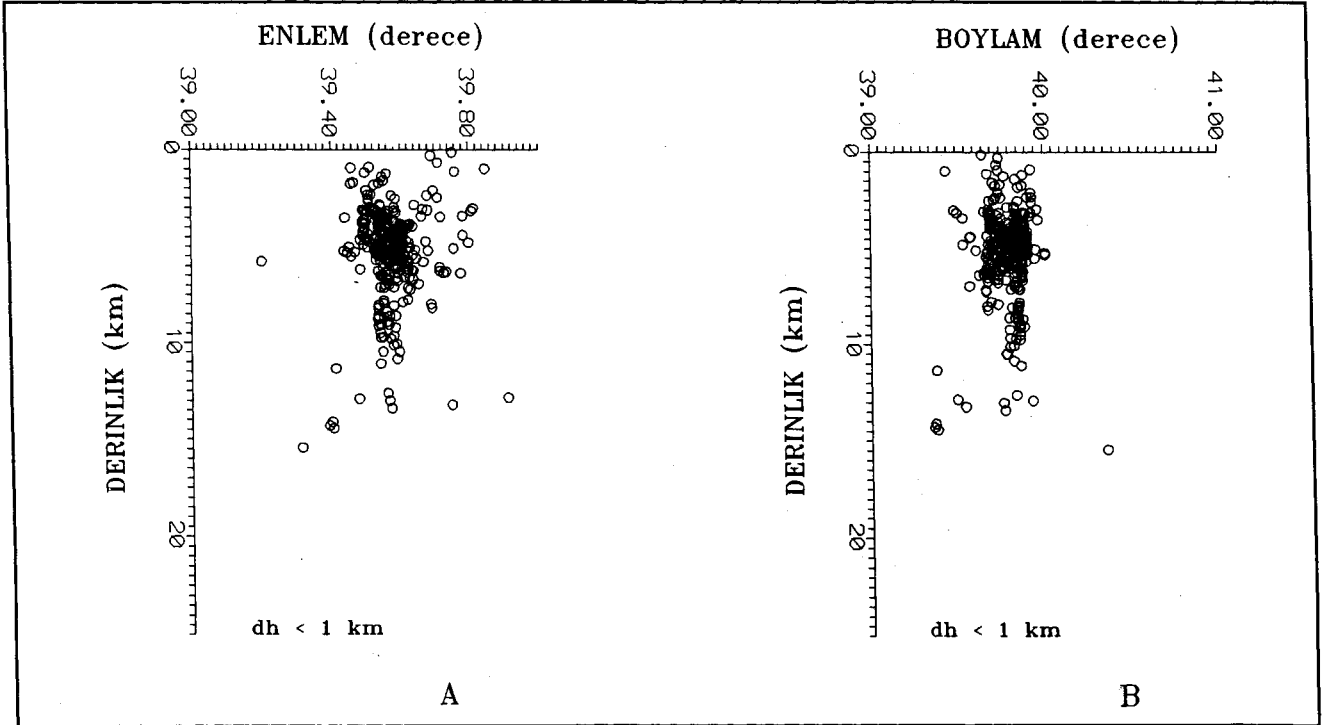
Şekil 3. 26 Mart 1992 tarihinden başlayarak Erzincan ve çevresinde kurulan deprem istasyonlarının konumları.

Fig. 3. The location of the ITU-IPG portable seismic stations around Erzincan Basin. The recording operation started as of March 26, 1992.



Şekil 4. 3 Nisan - 10 Nisan 1992 tarihleri arasında olmuş ve yerleri saptanmış art sarsıntılarının dış merkez dağılımları. Enlem ve boylam saptamalarında standart hata 1 km yada daha azdır.

Fig. 4. Locations of the aftershocks occurred between 4 April 1992 and 10 April 1992. The standart error of the locations is equal or less than 1 km.

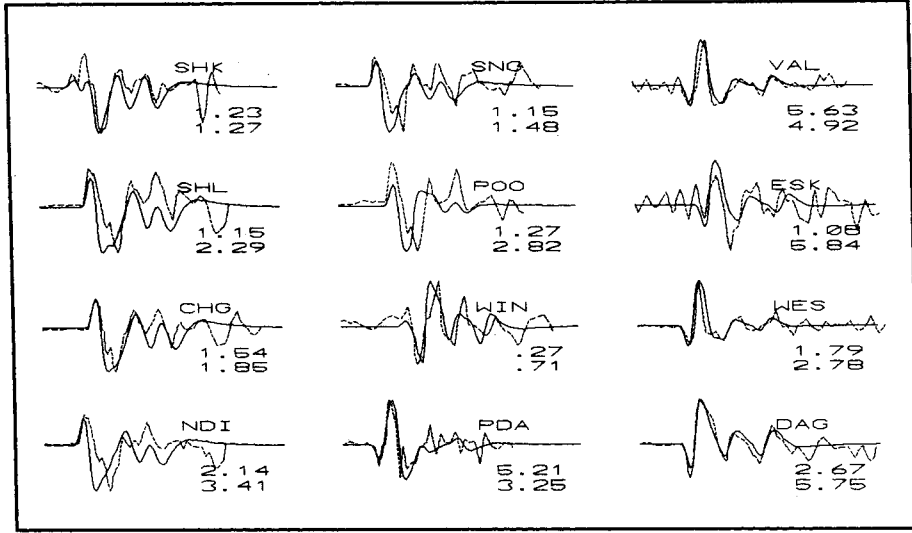


Şekil 5. Şekil 4'de verilen art sarsıntı dağılımı için iç merkezlerin (hiposantır) (A) enlem-derinlik, (B) boylam-derinlik kesitlerindeki görünümü. Derinliklerdeki standart hata 1 km ya da daha azdır.

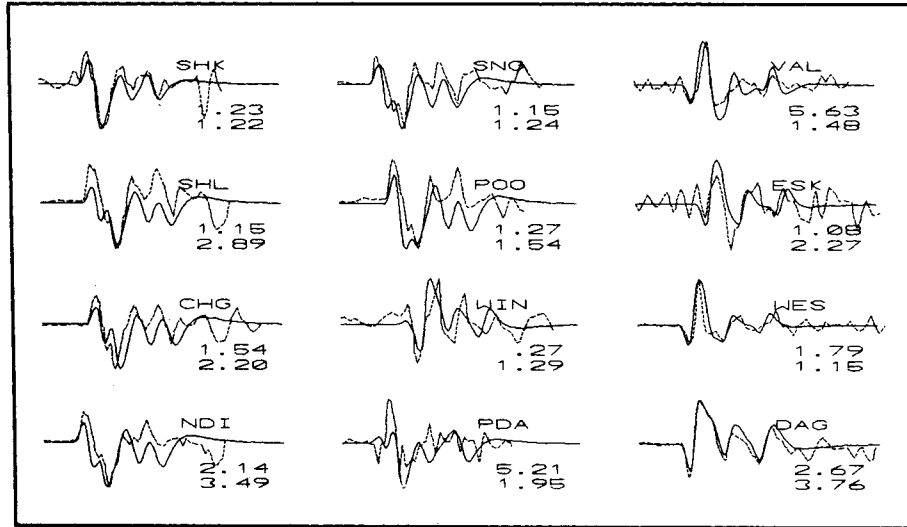
Fig. 5. Cross sections of aftershock focal depth distribution given in Figure 4. (a) Projection along the profile parallel to latitude and (b) parallel to longitude, respectively. The standart error of the focal depths is equal or less than 1 km.

13 MART 1992 ERZİNCAN DEPREMİ
WWSSN P-DALGASI
Delta > 30°

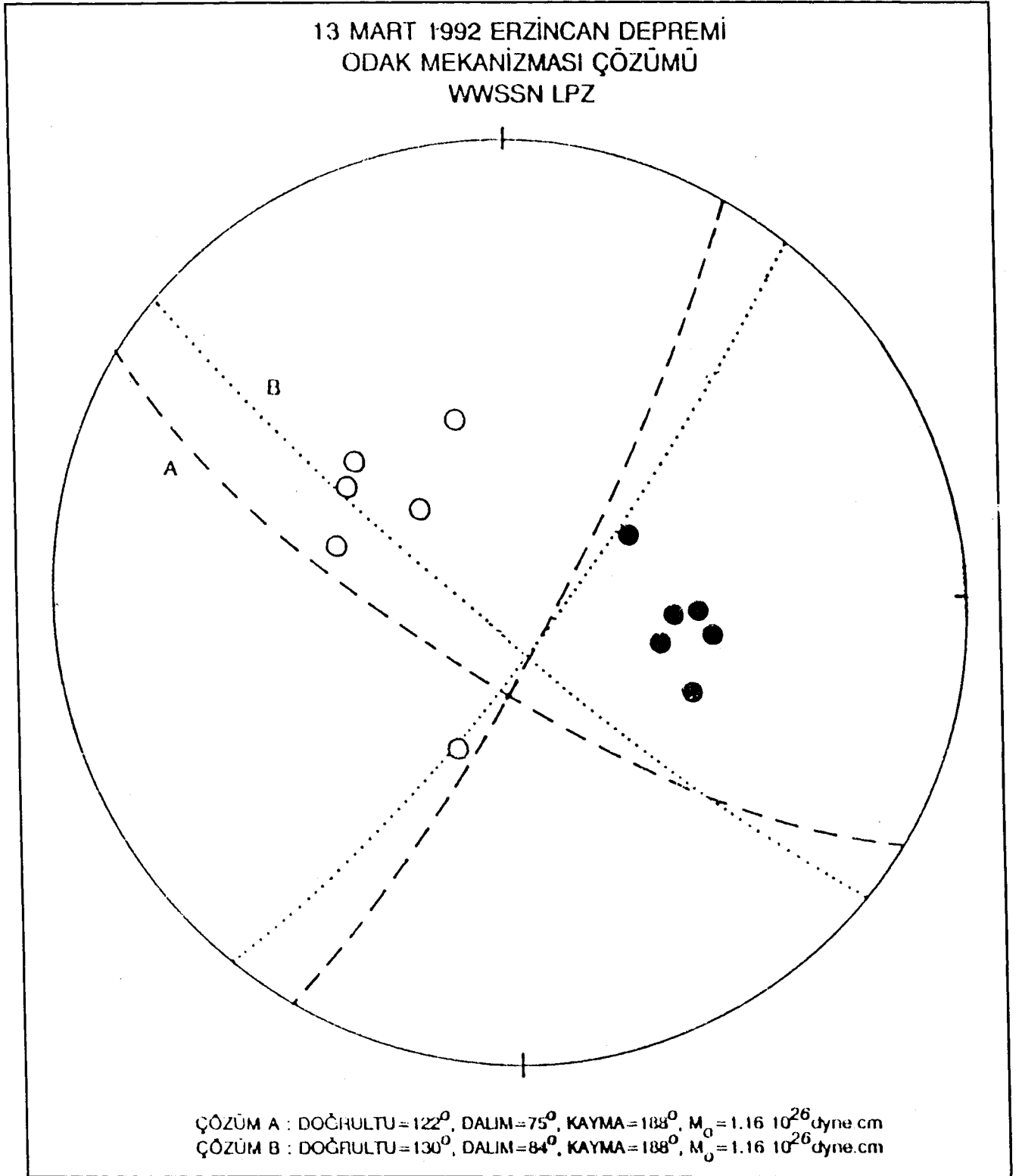
Çözüm A: $\phi=122^{\circ}\text{GD}$, $\delta=75^{\circ}\text{GB}$, $l=188^{\circ}$, $M_0=1.16 \cdot 10^{26}$ dyne.cm



Çözüm B: $\phi=130^{\circ}\text{GD}$, $\delta=84^{\circ}\text{GB}$, $l=188^{\circ}$, $M_0=1.16 \cdot 10^{26}$ dyne.cm

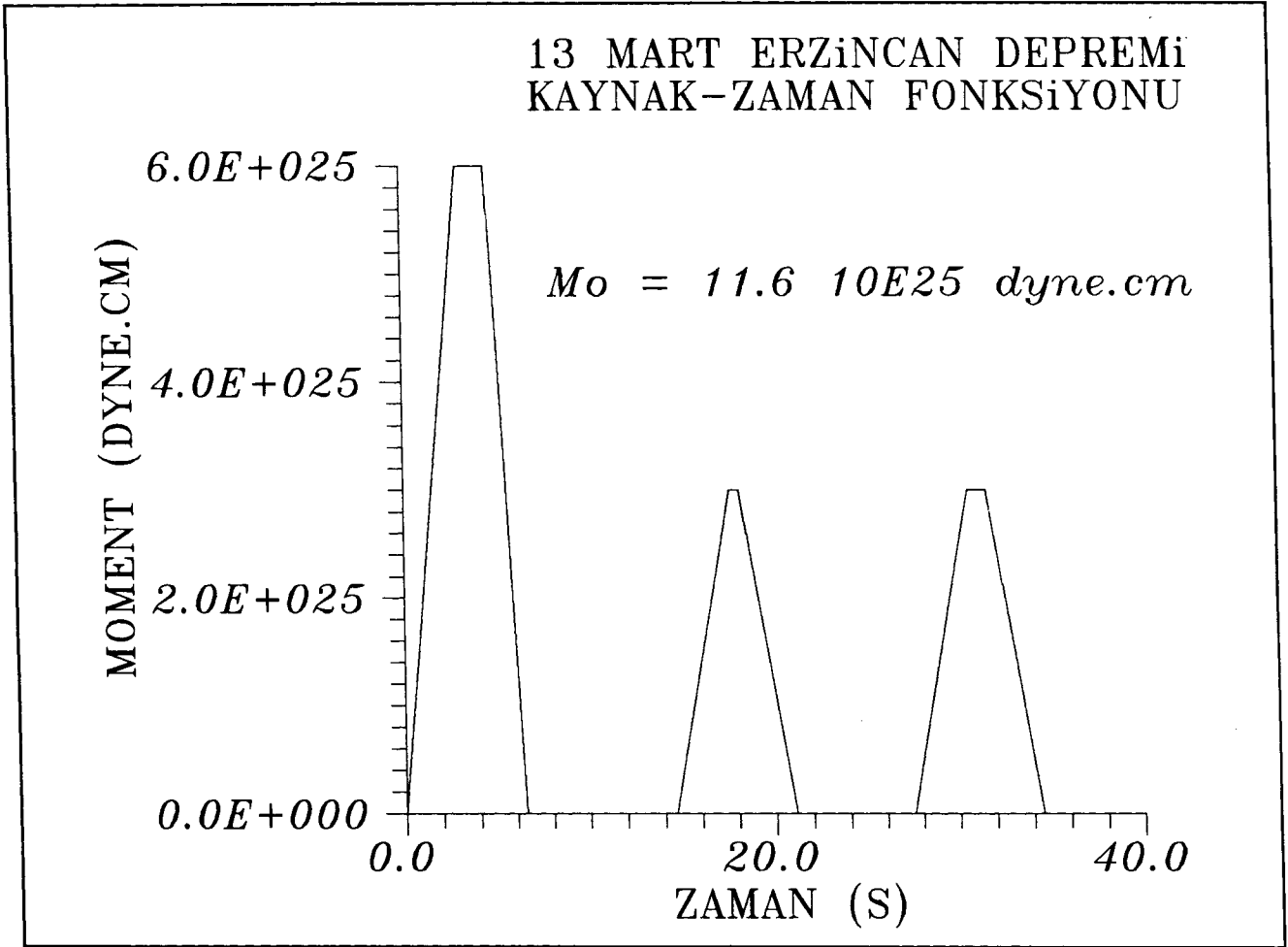


- Şekil 6. Bu çalışmada elde edilmiş yapay (noktalı çizgi) uzun periyodlu düşey P dalgalarının, gözlemsel (düz çizgi) WWSSN deprem kayıtları ile karşılaştırılması. İki farklı olası odak mekanizması çözümü için elde edilen dalga şekilleri Çözüm A ve Çözüm B başlıkları altında verilmiştir. ϕ , δ , l ve M_0 sırasıyla fay düzleminin azimutu, dahlımı, kayma açısı ve sismik momentidir.
- Fig. 6. The best-matching synthetic (dashed lines) and the observed (solid lines) P wave seismograms for the 1992 Erzincan event. The theoretical seismograms are for the two probable source mechanisms (solution A and B) given at the top of the waveforms. The parameters f , d , l and M_0 are the strike, dip, rake and seismic moment of the fault, respectively.



Şekil 7. Şekil 6 da gösterilen P dalgası modellemesi için elde edilen odak mekanizması (fay düzlemi) çözümleri. İçi dolu daireler uzun periyod düşey P dalgalarının yukarı ilk hareket yönlerini, içi boş daireler ise aşağı ilk hareket yönlerini gösterirler. Çözüm, Schmidt alt yarım küre izdüşümüne göre yapılmıştır.

Fig. 7. The earthquake mechanism solutions obtained by P wave modeling shown in Figure 6. The mechanisms are shown in lower hemisphere equal area projections. Filled circles are compressional first motions, open are dilational.



Şekil 8. 13 Mart 1992 depremi P dalgalarının modellenmesi ile bulunan kaynak-zaman fonksiyonu. Kaynak fonksiyonu modellenirken üç parametrelili (dt_1 , dt_2 ve dt_3) yamuk türü kaynak fonksiyonu kullanılmıştır.

Fig. 8. The point source-time function of the 1992 Erzincan earthquake obtained by the P wave modeling. A trapezoid with the parameters dt_1 , dt_2 , dt_3 was used to construct the source-time function.

sonra havzanın çeşitli yerlerinde bulunan, bir bölümü KAF depreminin oluşumundan sonra havzanın çeşitli yerlerinde bulunan, bir bölümü KAF zonunun parçalarını oluşturan ve olasılıkla havzanın kalın tortul kütlelerinin altında da bulunan fayların birbirlerini etkileyerek hareket ettikleri ve art sarsıntı etkinliğinin havzanın güneydoğusuna doğru göç ettiği anlaşılmaktadır.

Uzak-alan P dalgalarının modellenmesinden elde edilen sonuca göre deprem KB-GD doğrultulu, sağ yönlü doğrultu atımlı bir faylanma ile oluşmuştur. Ana şok ile ilişkili faylanma 10-12 km derinlikte başlamış, ana sarsıntıdan sonra ana sarsıntıya göre biraz daha ufak iki faylanma ile deprem sürmüştür. İkinci ve daha ufak faylanma ortalama 15 saniye sonra oluşmuştur. Üçüncü faylanma ise ana şoktan ortalama 28 saniye sonra ilk faylanmanın güneydoğusunda yer almıştır. Her üç şok için toplam sismik moment ortalama $1.2 \cdot 10^{26}$ dyn.cm dir. Faylanma sırasında oluşan bu ardışık faylanma olaylarının yapısal hasarı artırıcı etkisi olduğu sanılmaktadır.

KATKI BELİRTME

Deprem bölgesinde art sarsıntı kaydı çalışmaları sırasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen İTÜ Rektörlüğüne, TÜBİTAK Başkanlığı ve mensublarına, Erzincan Valiliğine, İTÜ Maden Fakültesi Dekanlığına, mensubu olduğum Jeofizik Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi ve yardımcılarına, A.M.C. Şengör ve ailesine, Fruko-Tamek A.Ş. mensublarına ve Erzincan Kredi ve Yurtlar Kurumu Öğrenci Yurdu Müdürlüğüne teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

Barka, A. 1992, Kuzey Anadolu Fayı'nın Erzincan çevresindeki davranışı ve 13 Mart 1992 depremi, Yerbilimci gözüyle Erzincan depremi dünü, bugünü ve yarını ve Türkiye deprem sorunu sempozyumu, İTÜ Maden Fakültesi, 15 Aralık 1992.

