

# 17 Ocak 1995 Hyogo Ken Nanbu depreminde (Japonya) gözlenen faylanmalar ve oluşan deprem dalgalarının özellikleri

Ömer Aydan

Tokai Üniversitesi, Shimizu, Japonya

17 Haziran 1995, saat 05.46'da Hyogo Prefecture'nin güney kesimlerinde Rihter ölçeğine göre 7.2 büyüklüğünde bir deprem meydana geldi. Deprem, 5550 den fazla can kaybına neden oldu ve binalar, köprüler, yüksek otobanlar ve demir yolları büyük hasara uğradı. Bu depremin episantri  $34.6^\circ$  kuzey olarak saptanmıştır ve odak derinliği 14.3 km. dir.

Depremin sağ yanal doğrultu atımlı olarak oluştuğunu işaret eden sismik dalgalar, dünyanın çevresindeki değişik yörelerden kaydedildi. Bununla birlikte detaylı dalga analizi, Yokohoma şehir üniversitesinden Prof. Dr. Kikuchi tarafından yapılacak istif içinde 3 aktif fay saptanmıştır. Bunlar Nojima, Rokko ve Maya fay sistemleridir. Maksimum yanal ve düşey hareket Nojima fay sistemindedir, sağ yönlü doğrultu atımlı fayın yanal atımı 180 cm, düşey atımı 135 cm ölçülmüştür. Diğer faylardaki hareket; temel kayanın granit olması, yoğun kentleşme bölgesinde bulunmaları ve kalın alüvyon örtü nedeniyle tanımlanamamıştır. Rokko fay zonuna dahil olan Ocsuki fayı boyunca olan 15 cm lik hareketin tek bulgusu Sakurai ve diğ. (1995)'ne aittir. Yazarların makalesindeki hareketlere ilişkin örnekler, Rokko fay sistemi içinde yer alan Takarazuka, Nishinomiya ve Kobe şehirlerine aittir, bundan başka deprem dalgalarının sismik karakterleri sunulmuş ve fay mekanizması ile olan ilişkileri tartışılmıştır. Sonuçta Sakurai ve diğ. (1995) zemindeki kalıcı deformasyonu, yapısal dizayndan kaynaklandığını vurgulamışlardır. Deprem, off - shore depremlerinden olup, kıta içinde dalgalar halinde şiddetlenmekte ve yayılmaktadır.

## Giriş

17 Ocak 1995'te Japonya'nın Hyogo Eyaletinin güneyinde Awaji Adası ile vilayet merkezi Kobe şehrinin bulunduğu Honshu Adası arasındaki Akashi Boğazında 7.2 büyüklükte bir deprem oluştu. Bu deprem yaklaşık 5500 kişinin ölümüne, çok sayıda bina, özellikle yükseltilmiş karayolları ile demiryollarında büyük hasarlara neden oldu. Bunun yanısıra, Dünyada örneği görülmemiş ölçüde sıvılaşma bütün deprem bölgesinde izlendi.

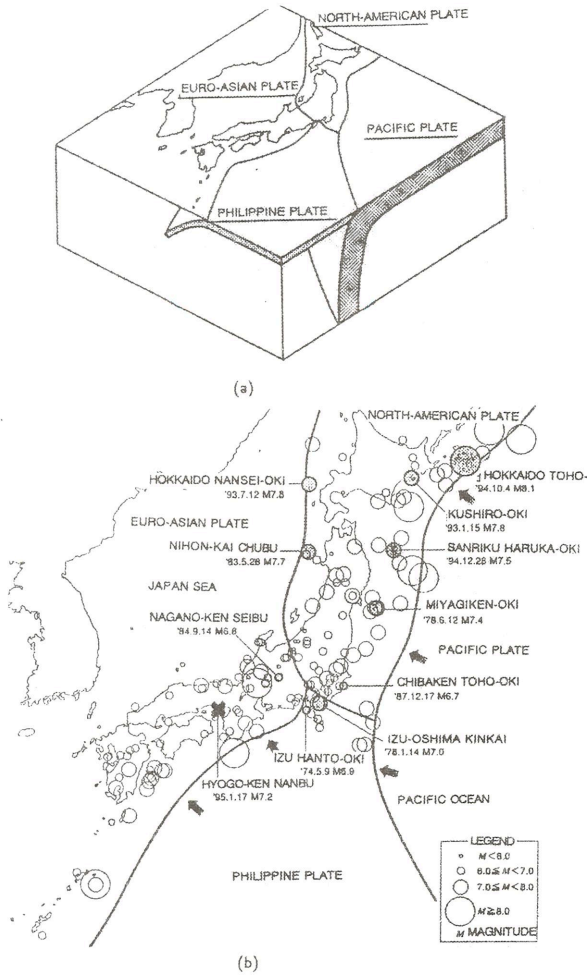
Bu çalışmada, ilk önce Japonya'nın bulunduğu bölgenin genel tektonik yapısı kısaca verilmektedir. Sonra depremin oluştuğu bölgenin jeolojisi ve tektonik yapısı anlatılmaktadır. Daha sonra, arazide gözlenmiş faylanmalar ve özellikleri verilmektedir. En son kısımda, faylanma mekanizmasına bağlı olarak oluşan deprem dalgaları ve özellikleri anlatılıp tartışılmaktadır.

## Japonya'nın genel tektonik yapısı

Japonya dört büyük ada üzerine kurulmuş bir ülke olup, bu adalar kuzeyde Hokkaido, ortada Honshu, güneyde Kyushu ve güneydoğuda Shikoku olarak adlandırılmaktadır. Japonya'nın genel tektonik yapısı Şekil - 1a'da gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere Japonya Kuzey Amerika Levhası ile Avrasya Levhası üzerinde olup, doğuda Pasifik ile güneyde Filipin Levhaları tarafından batıya doğru itilmekte ve depremlerin bu levhalar arasındaki çarpışmalardan kaynaklandığı varsayılmaktadır.

Şekil-1b'de son 20 yılda oluşan depremlerin yerleri ve büyüklükleri gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere depremlerin büyük bir çoğunluğu levhaların çarpıştıkları ara yüzeylerde veya ara yüzeylere yakın üstteki levhada oluşmaktadır. Depremlerin şiddetleri büyüğe olsa Japon adalarından uzak yerlerde oluşması, deprem dalgaları adalara ulaştıklarında yerkabuğunun viskoz özelliği nedeniyle şiddetleri azalmaktadır. Karasal dep-





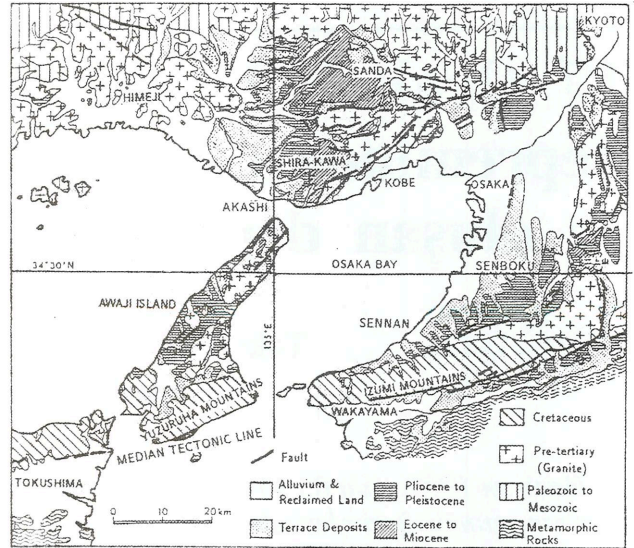
Şekil 1. (a) Japon adalarının tektonik yapısı (b) Son 20 yılda oluşan depremlerin yerleri ve büyüklüğü.

remlerin sayısı az olmakla beraber, Türkiye'de olduğu gibi, çok büyük can kaybı ile yapılarda hasarlara neden olmaktadır.

## Deprem bölgesinin jeolojisi ve tektonik yapısı

Depremin olduğu bölge Kinki Bölgesi olarak adlandırılmaktadır. Levha 1a NASA tarafından 1972 yılında alınmış Kinki Bölgesinin uydu görüntüsünü ve Levha 1b ise depremden 3 gün sonra CNES tarafından alınmış Kobe şehri ve çevresinin uydu görüntüsünü göstermektedir. Levha-1a'daki görüntüye karşılık gelen jeolojik yapı ise Şekil-2'de verilmiştir. Kinki bölgesinin güneyinde Orta Tektonik Hat (Media Tectonic Line) olarak adlandırılan ters atımlı verev bir fay bulunmaktadır. Bu fay boyunca çok uzun bir süre herhangi bir deprem oluşmadığı için tektonik açıdan aktif olmadığı düşünülmektedir.

Orta Tektonik Hattın güneyindeki kısımda Orta Tektonik Hatta paralel olarak dinamik metamorfizmaya



Şekil 2. Kinki bölgesinin jeolojisi.

uğramış yeşil şistler yer almaktadır. Orta Tektonik Hattın kuzeyindeki kısımda granitik kütleler temeli oluşturmakta ve bunların üzerinde tortul kökenli ardışık kumtaşı ve kiltası bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, Japon adalarının aktif volkanizması nedeniyle yer yer tüf kütleleri görülmektedir. İrmakların aktığı ve denize ulaştığı bölgelerde alüvyonlar granitik veya tortul kütleleri örtmektedir. Osaka körfezinin kıyılarında yapay dolgu oldukça yaygın olup, üç tane yapay dolgu ada bulunmaktadır. Bunlar Kobe şehrinde Port Adası ve Rokko Adası ve Osaka şehrinde Uluslararası yeni Kansai Havaalanı adası olarak adlandırılmaktadır:

Awaji adası, uzun eksenine paralel iki sağ yanallı faylar ile sınırlanmaktadır. Adanın batısındaki fay Nojima fayı olarak adlandırılmaktadır. Bu fayların doğrultusuna yakın olarak Honshu Adasında Rokko fay sistemi bulunmakta ve bu fay sistemi parçalı olarak çek - ayır sonucu oluşan Biwa gölü üzerinden Japon Denizi'ne ulaşmaktadır. Rokko fayı ile Awaji adası fayları arasında sağ basamaklı (right step) ve ters atımlı verev bir fay sistemi bulunmaktadır. Kobe şehri ve yakın çevresindeki faylar Şekil-3'de gösterilmiştir. Şekil-4'de Rokko dağı ile Ashiya ve Nishinomiya şehirlerinin kıyılarında kapsayan jeolojik bir kesit verilmiştir. Her iki şekilden de görüleceği üzere Kobe şehri ve çevresinde yoğun bir faylanma olup şehirleşmenin yaygın olduğu yerler alüvyonlar ile örtülmüş durumdadır. Ayrıca yumuşak tortul kütleler dağlara doğru giderek incelmekte kama gibi bir yapıya sahiptir.

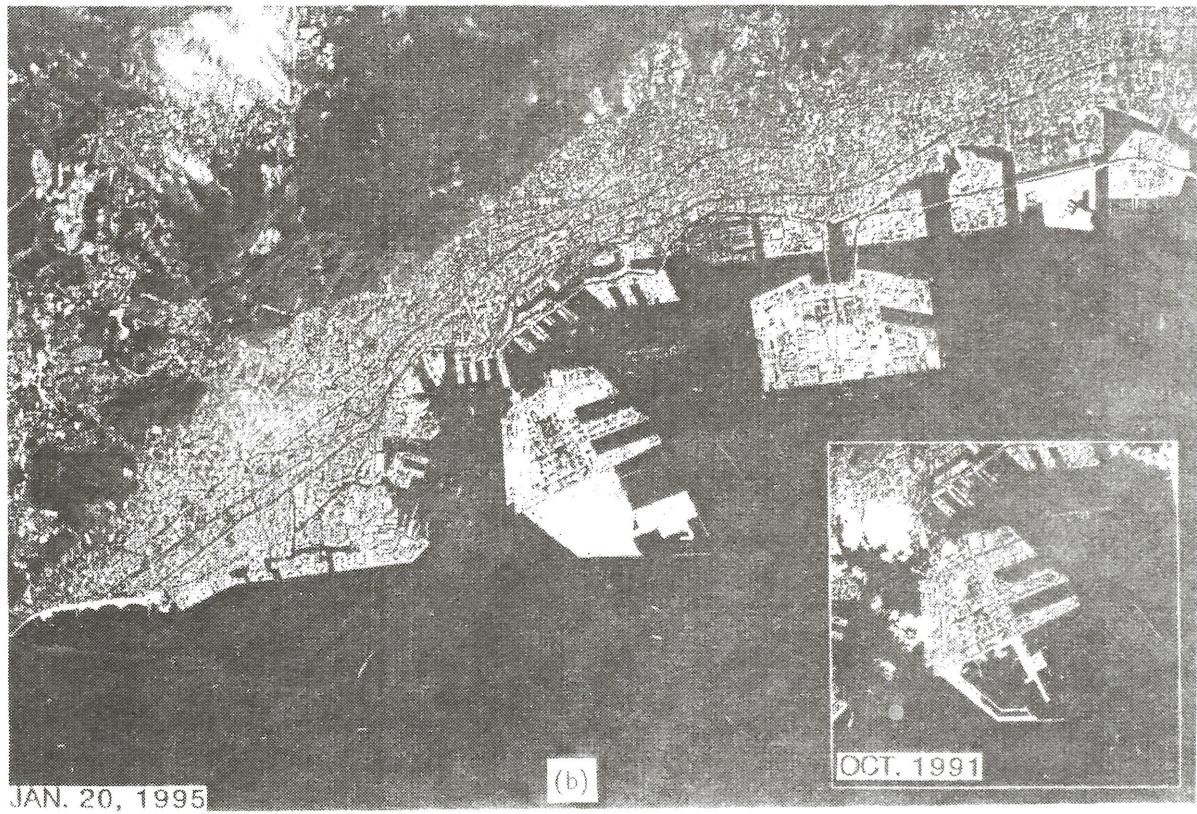
## Faylanma

17 Ocak Depreminde arazide en belirgin kırılma Nojima fayı boyunca gözlemlendi. Yapılan arazi incelemelerinde bu fayın sağın yanallı atımı yaklaşık olarak 180 cm ve düşey atımı 135 cm olarak ölçülmüştür (Lin ve



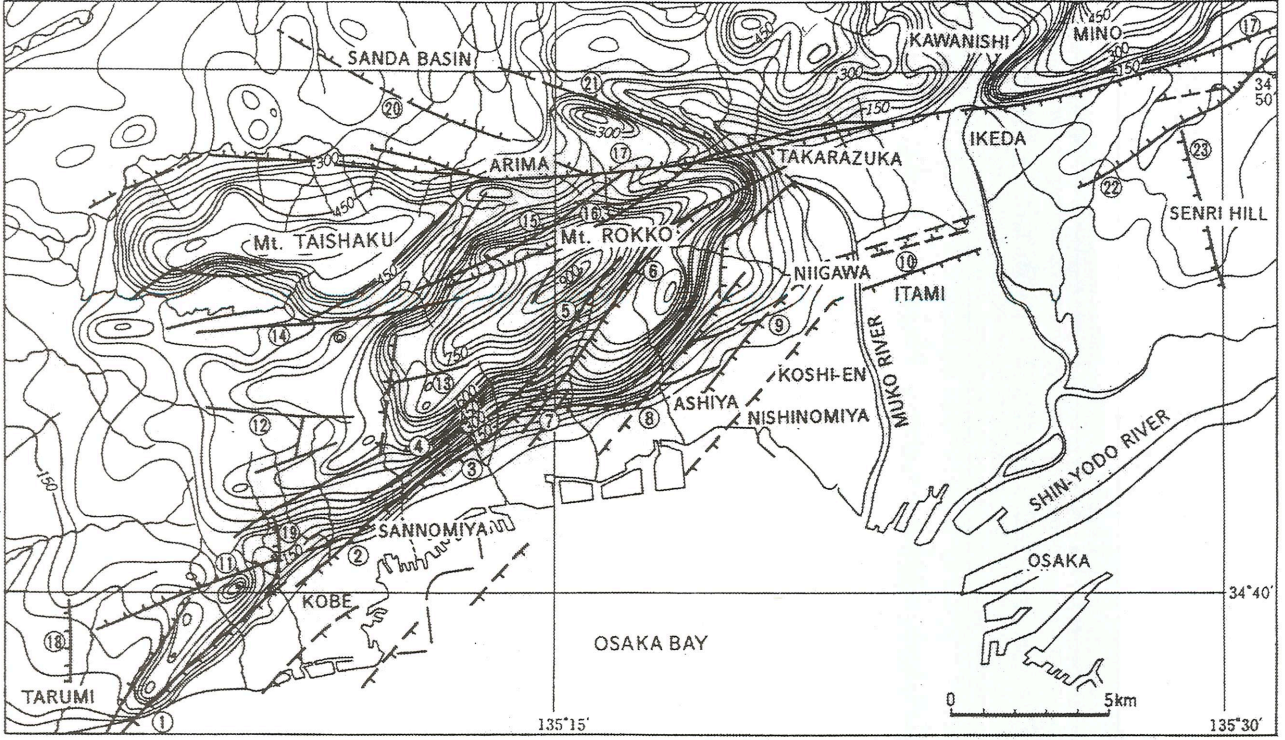


(a)



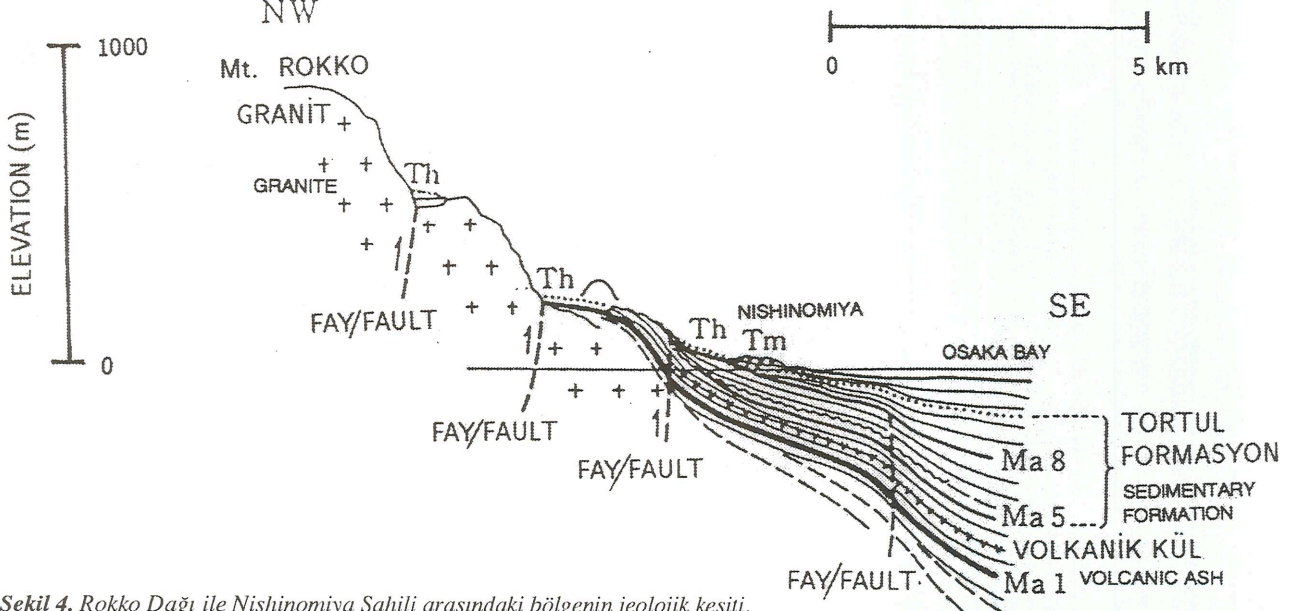
**Levha 1.** (a) Kinki bölgesinin uydu görüntüsü. (b) Kobe Şehrinin depremden 3 gün sonraki uydu görüntüsü.





- (1) Suma (2) Egeyama (3) Suwayama (4) Nunobiki (5) Otsuki (6) Gosukebashi (7) Uzugamori (8) Ashiya (9) Koyo (10) Itami  
 (11) Takatori-yama (12) Manpukuji (13) Kita-maya (14) Yamada (15) Ibayama (16) Yuokedani (17) Rokko (18) Takazuka-yama  
 (19) Maruyama (20) Suzuran-dai (21) Najio (22) Onohara (23) Butsunen-ji

Şekil 3. Kobe şehri ve çevresindeki faylar.

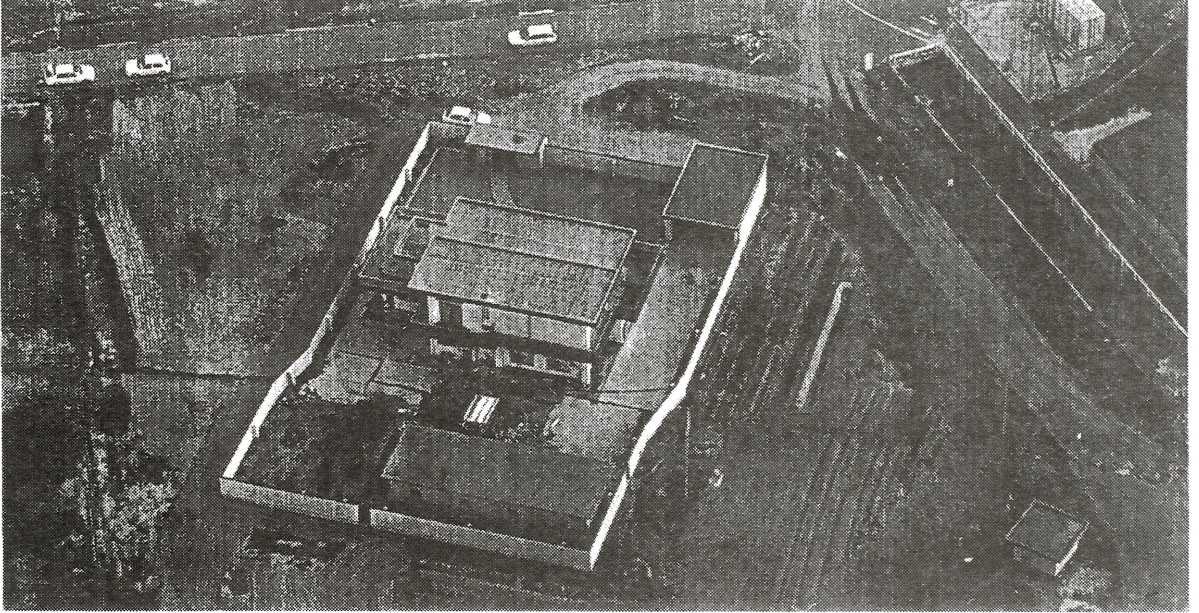
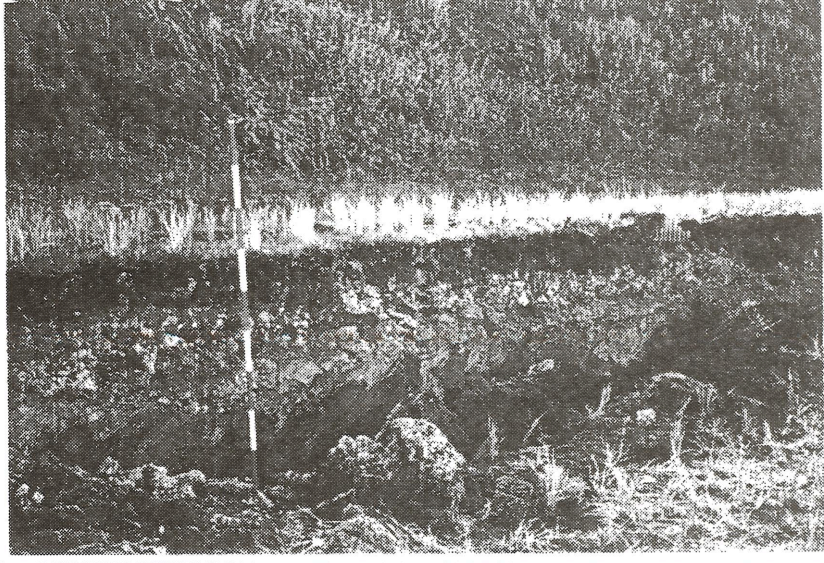
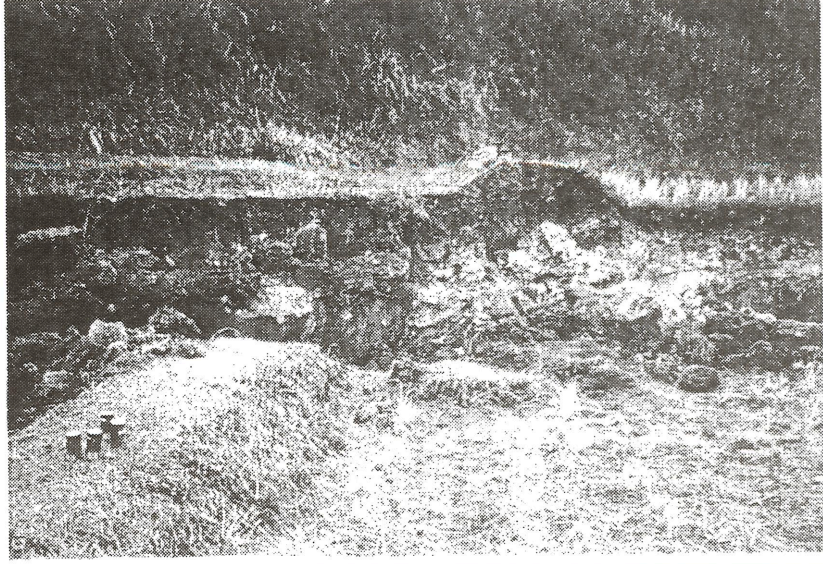


Şekil 4. Rokko Dağı ile Nishinomiya Sahili arasındaki bölgenin jeolojik kesiti.

diğ., 1995). Şekil-5 Awaji Adasında Nojima fayı boyunca yapılan ölçümleri göstermektedir. Bu fay boyunca oluşan yer değiştirmelerle ilgili birkaç görüntü Levha-2'de gösterilmiştir.

Nojima fayı depremin oluşumunu başlattığı ve diğer fayların hareketlenmesine neden olduğu yer fiziği uzmanlarınca ileri sürülmekle birlikte Kobe şehrinin bulunduğu Honshu adasındaki faylarda Nojima fayındaki gibi büyüklükte yer değiştirmeler gözlenememiştir.



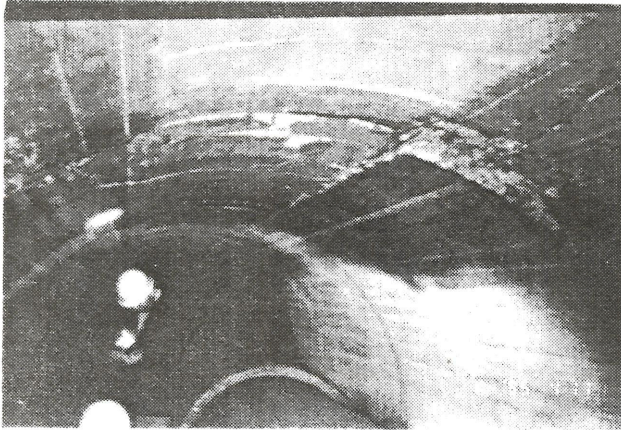


*Levha 2. Nojima fayında oluşan atımlar ile ilgili görüntüler.*





Şekil 5. Nojima fayında gözlenen atımlar.

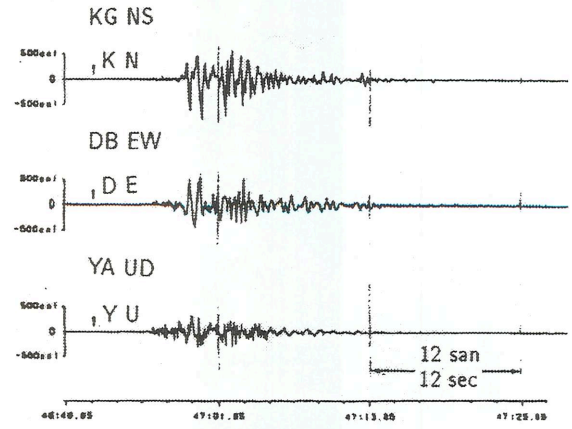


Levha 3. Otsuki fayını üzerindeki Bantaki Tünelinin kaplamasında oluşan atım.

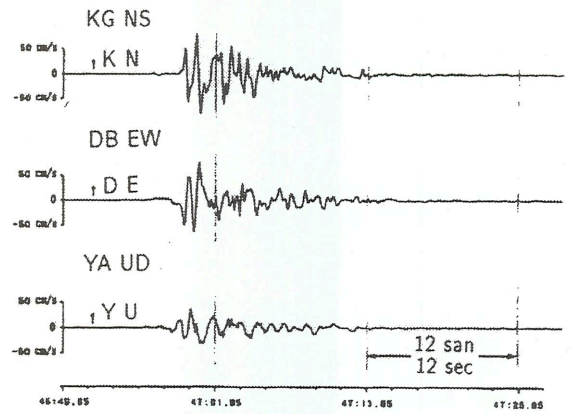
Buna neden olarak fayların, kalınlığı 1000 metreye kadar ulaşan alüvyonlarla örtülmüş olması (Şekil-4) ve yaygın bir şehirleşme fayların atımını izlemeyi engellediği düşünülmektedir.

Şu ana kadar yapılan yerinde incelemelerde Rokko fay sistemine dahil olan Otsuki fayını kesen Bantaki tüneline yanal olarak 15 cm'lik bir atımın olduğu Kobe

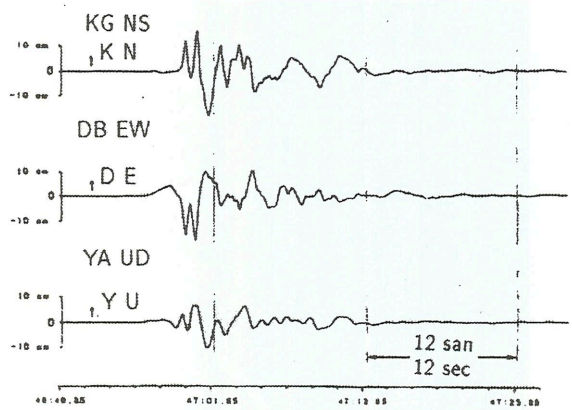
#### İVME/ACCELERATION



#### HIZ/VELOCITY



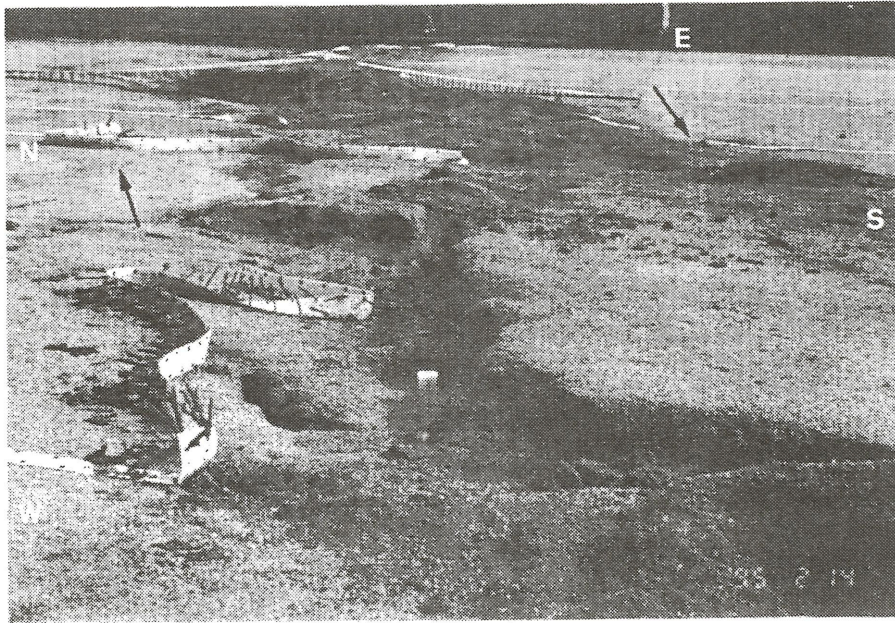
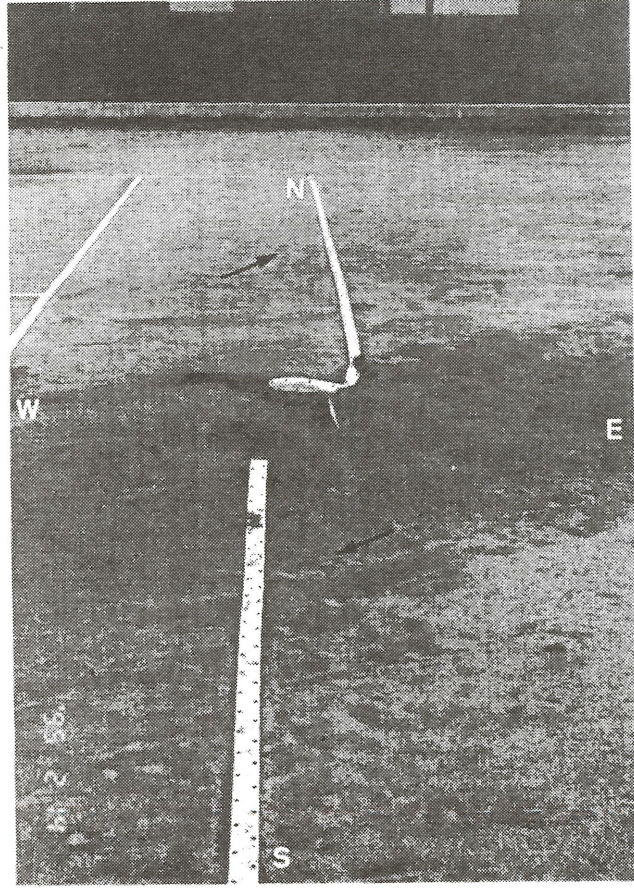
#### YER DEĞİŞTİRME/DISPLACEMENT



Şekil 6. Kobe Denizcilik Meteoroloji Kurumundaki ivme, hız ve yer değiştirme kayıtları.

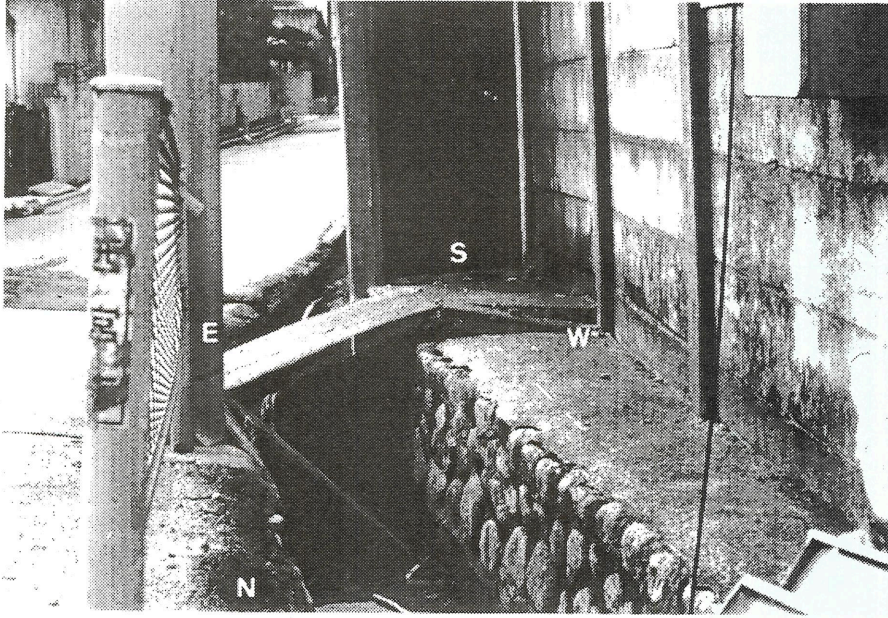
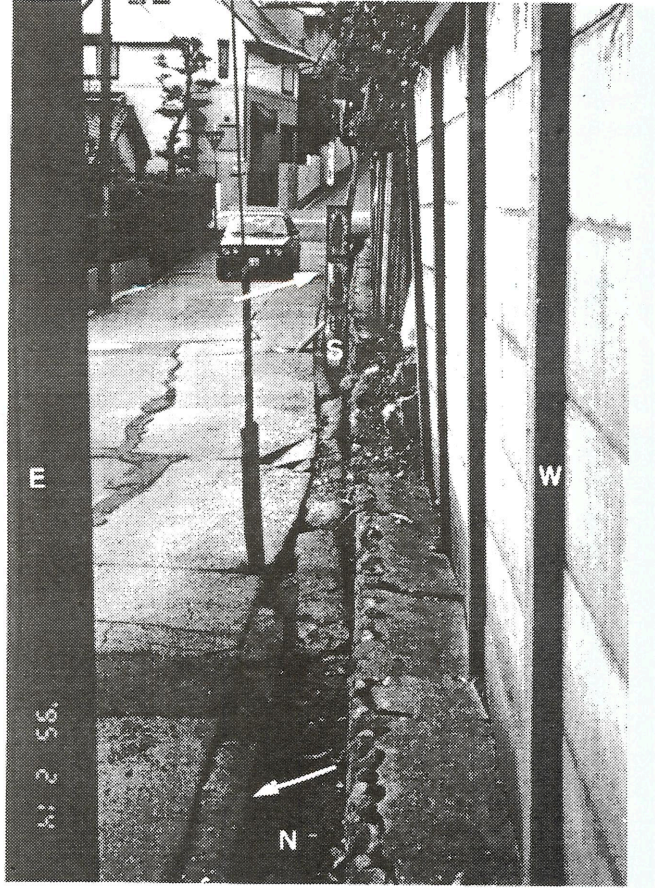
Üniversitesi araştırma ekibi tarafından bildirilmektedir (Sakurai ve diğ., 1995). Levha-3, tüneline kaplamasında olan hasarı ve göreceli yer değiştirmeyi göstermektedir. Bunun yanısıra, Hirano ve Fujita (1995) Rokko fay sistemine dahil olan Ashiya fayında 10 - 20 cm ve Goku-





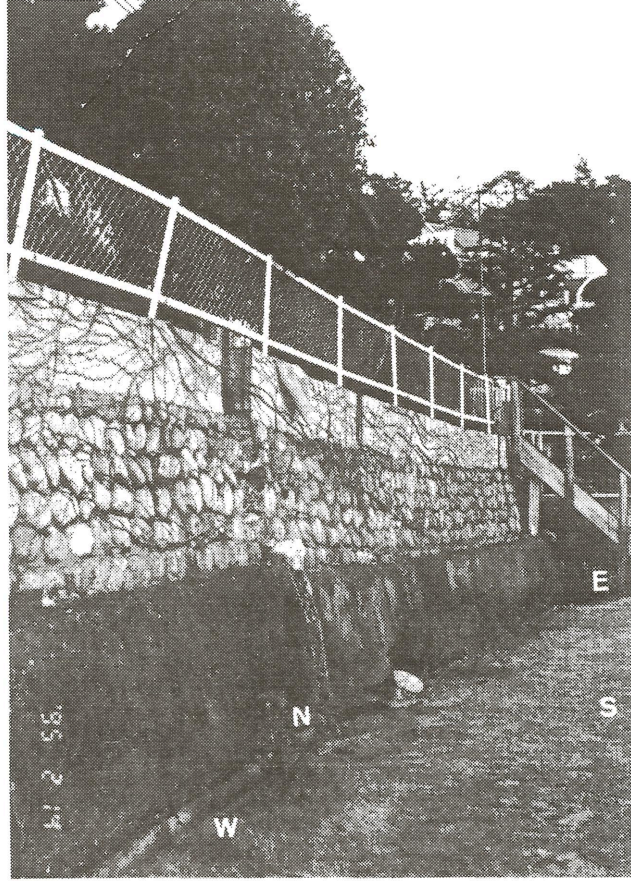
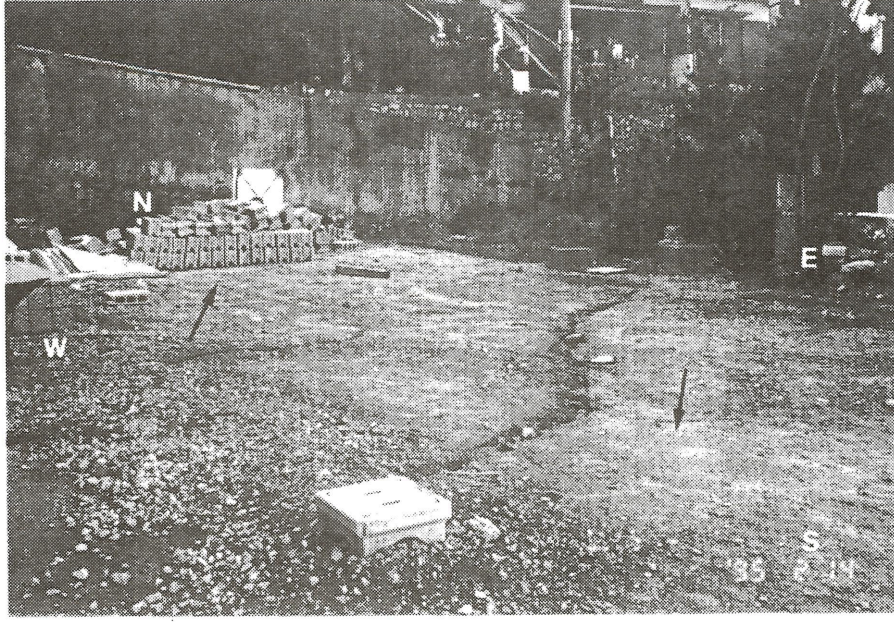
*Levha 4. Koyo fayında oluşan atımlar ile ilgili görüntüler (Takarazuka Şehri Niigawa - takadai).*





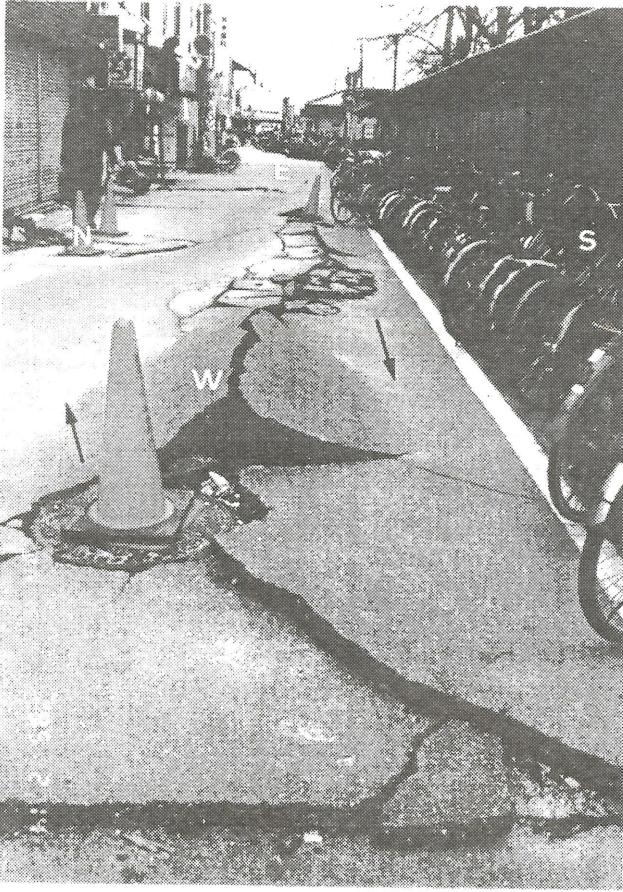
*Levha 5. Koyo fayında oluşan atımlar ile ilgili görüntüler (Nishinomiya Şehri Niigawa semti).*





*Levha 6. Koyo fayında oluşan atımlar ile ilgili görüntüler (Nishinomiya - Şehri Koto - en semti).*





**Levha 7.** Koshi - en fayının atımlarından dolayı oluşan sıkışma ve açılma olguları ile ilgili görüntü (Nishinomiya - Şehri Koshi - en istasyonu).

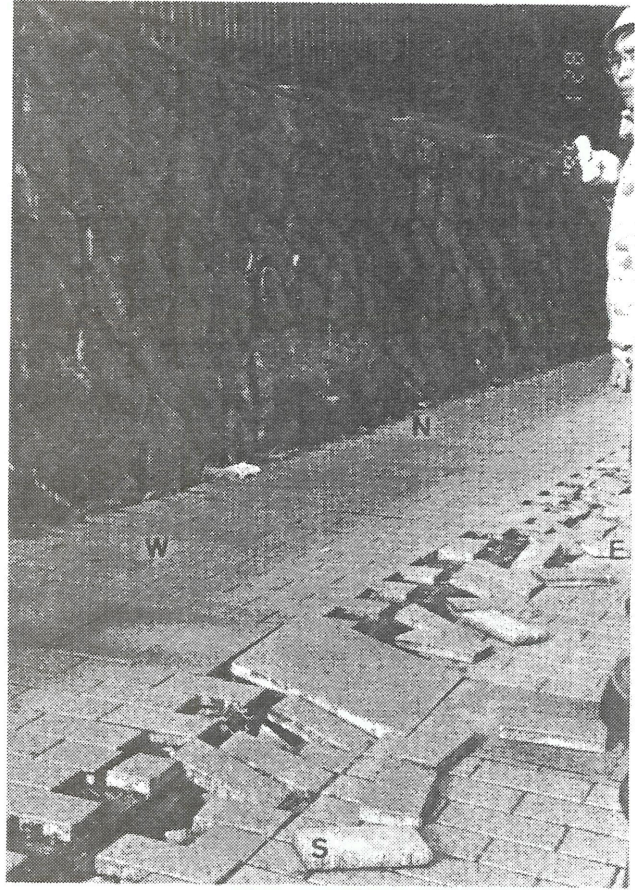
sebashı fayında 5 - 30 cm'lik yanal atımların olduğunu bildirmektedir.

Yukarıda sözü edilen gözlemlerin yanısıra, yazar, şehir içerisinde yaptığı arazi incelemelerinde değişik yörelerde faylanmaların olduğunu gözlemiş, bu gözlemler aşağıda özetlenmiştir.

Levha-4'de, Takarazuka şehrinin Niigawa - Takadai semtinde (yer için Şekil-3'e bak) bir tenis sahasında gözlenen sağ yanal atımlı bir fayın iki değişik görüntüsü verilmiştir. Yanal atım yaklaşık olarak 35 cm olup güneydeki blokta 6 - 7 cm'lik ters düşey bir atım gözlenmiştir. Bu fay Rokko fay takımına dahil olan Koyo fayının yüzeydeki bir belirtisi olarak düşünülmektedir.

Levha-5'de Nishinomiya şehrinin Niigawa semtinde (yer için Şekil-3'e bak) bir sokakta sağ yanal atımlı bir fayın oluşturduğu yer değiştirme ile küçük bir köprüdeki bükülmenin görüntüsü verilmiştir. Yaklaşık olarak 15 cm'lik yanal bir atım gözlenmiştir. Bu fay Rokko fay takımına dahil olan Koyo fayının yüzeydeki bir belirtisi olarak düşünülmektedir.

Levha-6 Nishinomiya şehrinin Koto - en semtinde Shinkansen Rokko Tünelinin girişine yakın (yer için



**Levha 8.** Suwayama fayının atımlarından dolayı oluşan sıkışma ve açılma olguları ile ilgili görüntü (Kobe - Şehri Kitano semti).

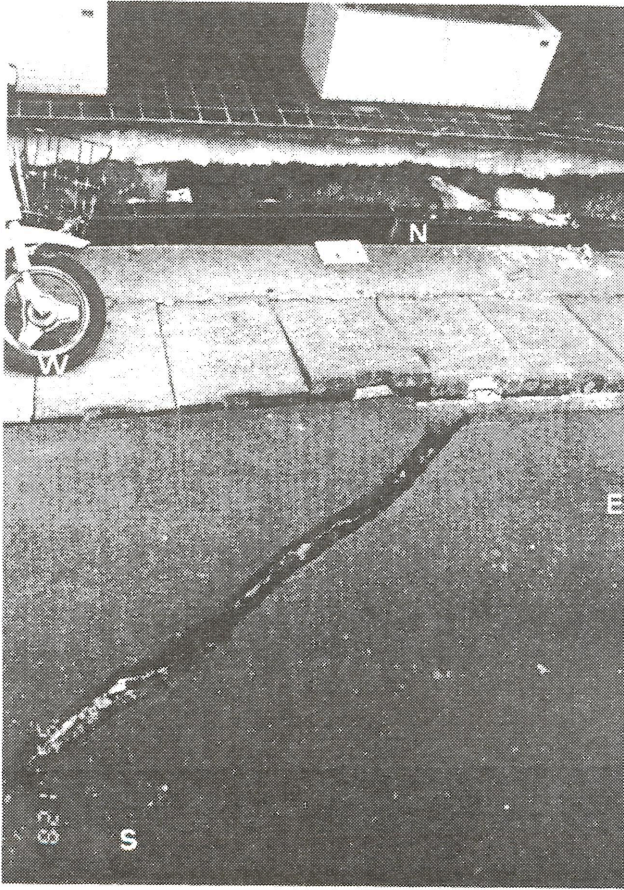
Şekil-3'e bak) bir alanda gözlenen Koyo fayının iki değişik sağ yanal faylanmalarını görüntülemektedir. Yanal atımlar yaklaşık olarak 5 - 15 cm olup 1 - 2 cm'lik ters düşey atımlar gözlenmiştir. Bu fay Rokko Tünelinin kaplamasında hasarlara neden olmuştur.

Levha-7, Nishinomiya şehrinin Koshien semtinde Koshien tren istasyonuna yakın bir alanda gözlenen değişik sağ yanal atımlı faylanmadan dolayı oluşan sıkışma ve açılma olgularını görüntülemektedir. Bu fay Rokko fay takımına dahil olan Itami fayının bir devamı olarak düşünülen Koshien fayının yüzeysel bir belirtisi olarak düşünülmektedir.

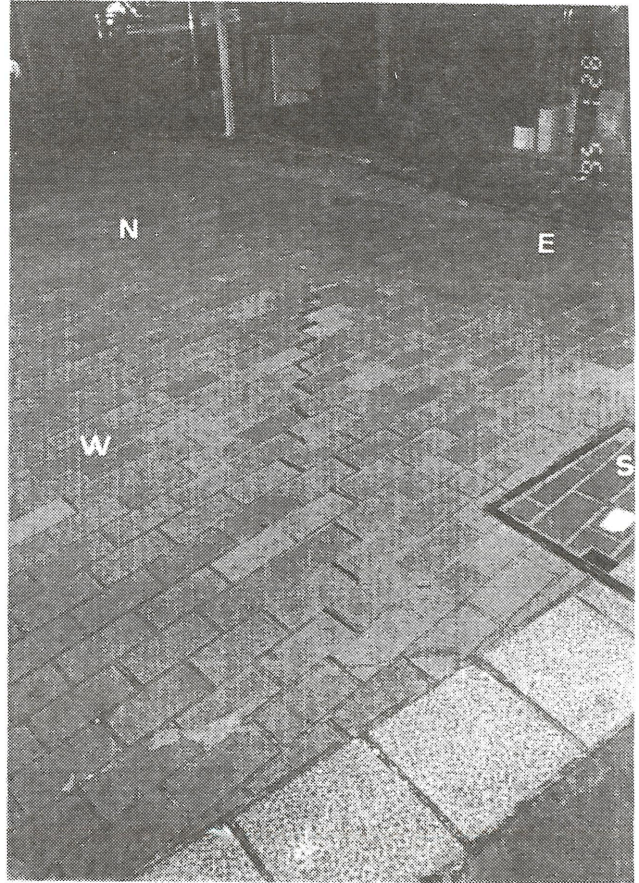
Levha-8, Kobe şehrinin Kitano semtinde Shin - Kobe Shinkansen istasyonuna yakın bir yolda gözlenen değişik sağ yanal atımlı faylanmadan dolayı oluşan sıkışma ve açılma olgularını görüntülemektedir. Bu fay Rokko fay sistemine dahil olan Suwayama fayının yüzeysel bir belirtisi olarak düşünülmektedir.

Levha-9 ve 10, Kobe şehrinin Sannomiya ve Moto - machi semtlerinde caddelerde gözlenen değişik sağ yanal atımlı faylanmadan dolayı oluşan sıkışma ve açıl-





*Levha 9. Suwayama ve Nunobiki faylarının atımlarından dolayı oluşan sıkışma ve açılma olguları ile ilgili görüntü (Kobe Şehrinin Sannomiya semti).*



*Levha 10. Suwayama ve Nunobiki faylarının atımlarından dolayı oluşan sıkışma ve açılma olguları ile ilgili görüntü (Kobe Şehri Moto - machi semti).*

ma olgularını görüntülemektedir. Yanal atımlar yaklaşık olarak 1 - 5 cm olarak gözlenmiştir. Bu olgular Rokko fay takımına dahil olan Nunobiki ve Suwayama faylarının yüzeysel belirtileri olarak düşünülmektedir.

Levha-11, Kobe şehrinin Daikai metro istasyonunun üzerinde gözlenen değişik sağ yanal atımlı faylanmayı görüntülemektedir. Bu yeraltı istasyonun orta direkleri bu faylanmadan dolayı burkulma nedeniyle kırılarak istasyonun göçmesine neden olmuştur.

## **Faylanmaya bağlı olarak oluşan deprem dalgalarının özellikleri**

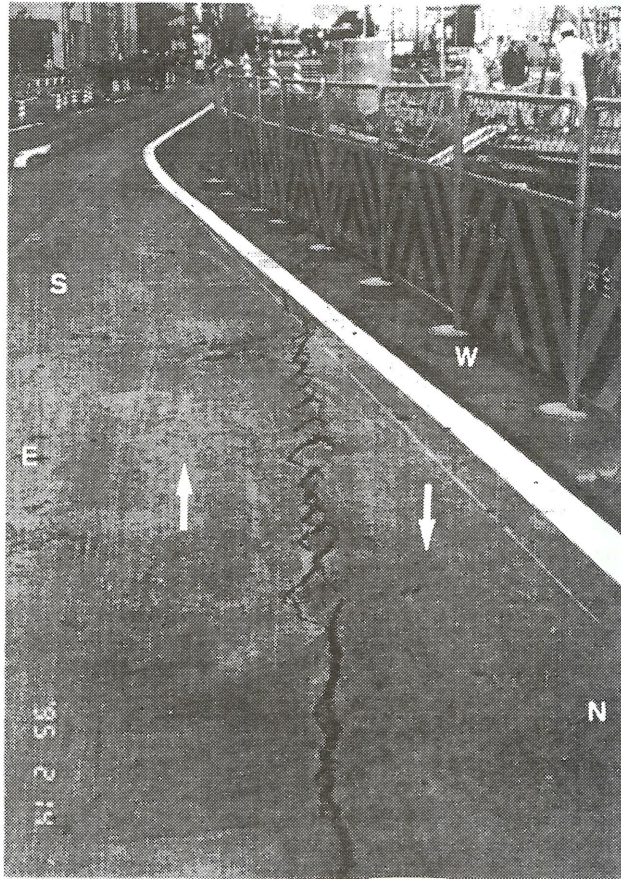
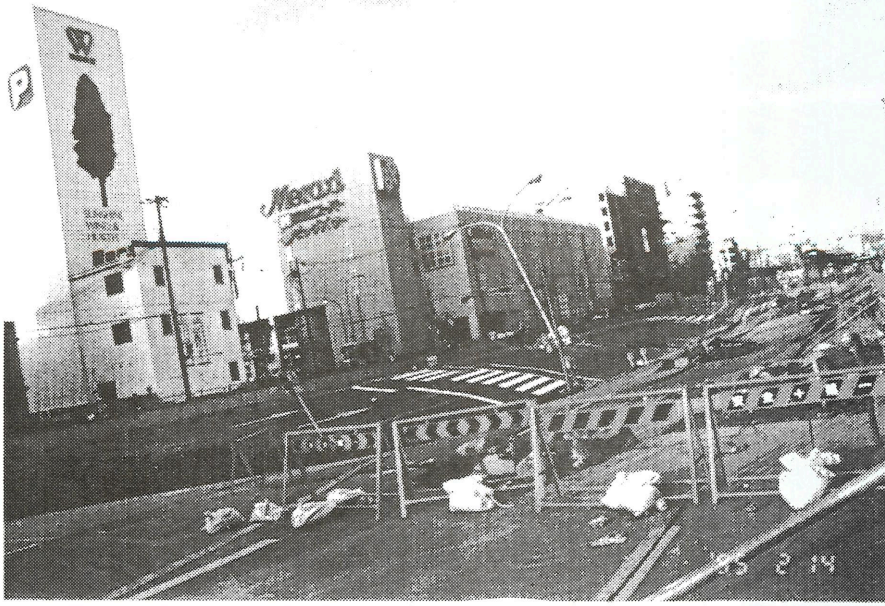
Şekil-6, Kobe'deki Denizcilik Meteoroloji İstasyonunda (Kobe Marine Meteorology Observatory - KMMO) alınan ivme, hız ve yer değiştirme kayıtlarını göstermektedir. Şekillerden görüldüğü üzere depremin süresi 15 saniye içerisinde sona ermekte ve deprem dalgaları üç ana dalgadan oluşmaktadır. Yokohama Şehir Üniversitesi Profesörü Kikuchi'ye göre bu üç dalganın

ilki sağ yanal atımlı Nojima fayının kaymasına, ikincisi sağ basamaklı ve ters atımlı verev bir fay sisteminin kaymasına ve üçüncüsü ise Rokko fay sisteminin kaymasına karşılık geldiğini ve her iki faylanma için Şekil-7'de gösterilen çözümleri önermektedir (Kikuchi, 1995). Amerika Jeoloji Kurumu (USGS) ve Japonya Meteoroloji Kurumu bu deprem için Şekil-8'de gösterilen çözümleri önermektedir. Bu çözümleri Prof. Kikuchi'nin toplam çözümü ile hemen hemen aynı olmakla beraber depremin merkezinin derinliği hususunda farklı olmaktadır.

Deprem dalgasının en büyük yatay bileşenin yönü fayın hareket yönüne hemen hemen dik olup bu yön yapıların yıkılma veya hasar gördüğü yönle hemen hemen çakışmaktadır (Şekil-9). Bu gözlem depremden sonra yapılan sayısal elastik analiz sonuçları ile de uyum içerisindedir.

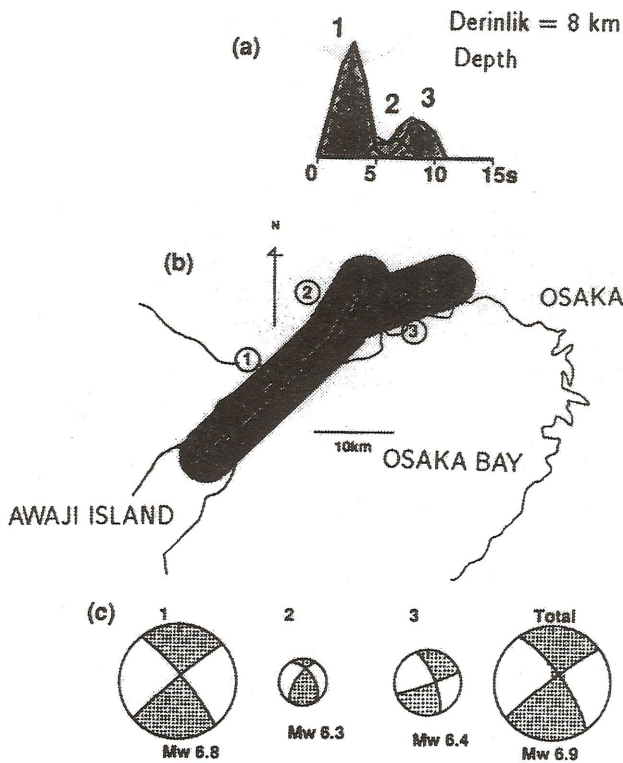
Şekil-10 ana deprem ile artçı depremlerin oluşum merkezlerinin uzaysal ve zamana bağlı olarak dağılımını göstermektedir. Artçı deprem merkezlerini dağılı-





**Levha 11.** Egeyama fayının atımlarından dolayı oluşan sıkışma ve açılma olguları ile ilgili görüntüler (Kobe Şehri Daikai metro istasyonu).





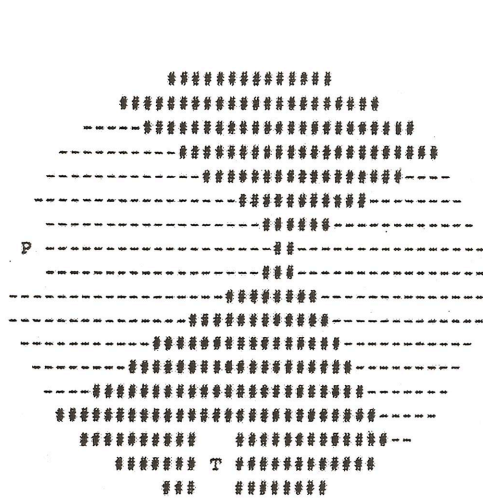
Şekil 7. Deprem oluşum mekanizması ve fayın kayma yönü ile ilgili çözümler.

mından yaklaşık 80 km'lik uzunlukta bir faylanmanın olduğu düşünülmektedir. Ana depremden sonra artçı depremlerin büyük bir çoğunluğu fayın uçlarında yoğunlaşmakta olup, bu olgu kuramsal yaklaşımlarla da uyum içersindedir.

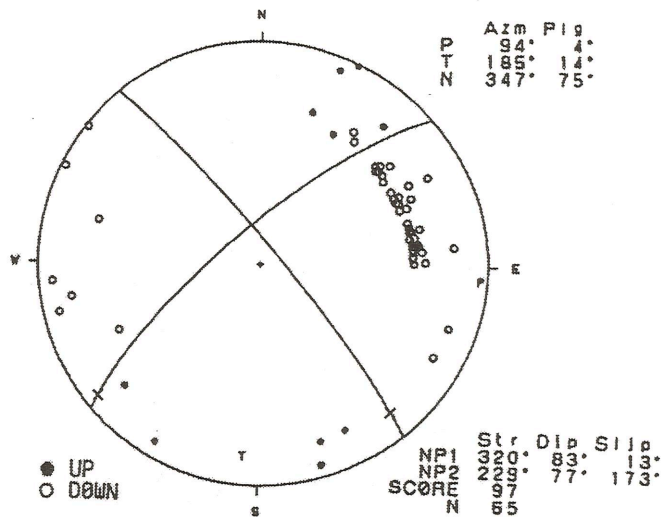
## Sonuçlar

Bu çalışmada 17 Ocak 1995'de Japonya'nın Hyogo Eyaletinde olan depremde görülen faylanma ve oluşan deprem dalgaları ile olan ilişkisi sunulmuştur. Deprem karasal bir özelliğe sahip olup şehirleşmenin çok yaygın olduğu bu yörede büyük hasarlara neden olmuştur. Türkiye'de oluşan depremlerin büyük bir kısmının kara içerisinde olması nedeniyle, bu depremden elde edilen bulgular Türkiye için oldukça önem taşımaktadır.

Deprem mühendisliğinde yapıların tasarımı, oluşan ivme dalgalarına göre yapılmaktadır. Böyle bir yaklaşım yapıların temelini oluşturan kütlede (kaya, zemin veya her ikisi) kalıcı bir yer değiştirme olmadığı bir durum için geçerlidir. Temeli oluşturan zeminde kalıcı bir yer değiştirme varsa, yapı tasarımında bu olgu gözönüne alınmak zorundadır. Bu depremde görülen hasarları sadece zemin büyütmesine, yüksek ivmeye veya tasarım ve yapım kusurlarına bağlamak yanlış olacaktır. Karada oluşan depremleri deniz açıklarında olan depremlerden ayırt eden özellik temeli oluşturan kütledeki kalıcı yer değiştirme olgusudur. Örneğin, bu yer değiştirme kendisini yanal atımlı fayın üzerinde yapıların kolonlarının bir kısmında birbirlerine yaklaşmaya ve diğer bir kısmında da birbirlerinden uzaklaşmaya neden olacaktır. Özellikle bu yer değiştirmeler kritik değerlere ulaştığında, yapılar büyük hasarlarla sonuçlanacaktır. Örneğin, Erzincan ve Kobe'de olduğu gibi. Bu nedenle faylanmanın şekli ve kalıcı yer değiştirmenin



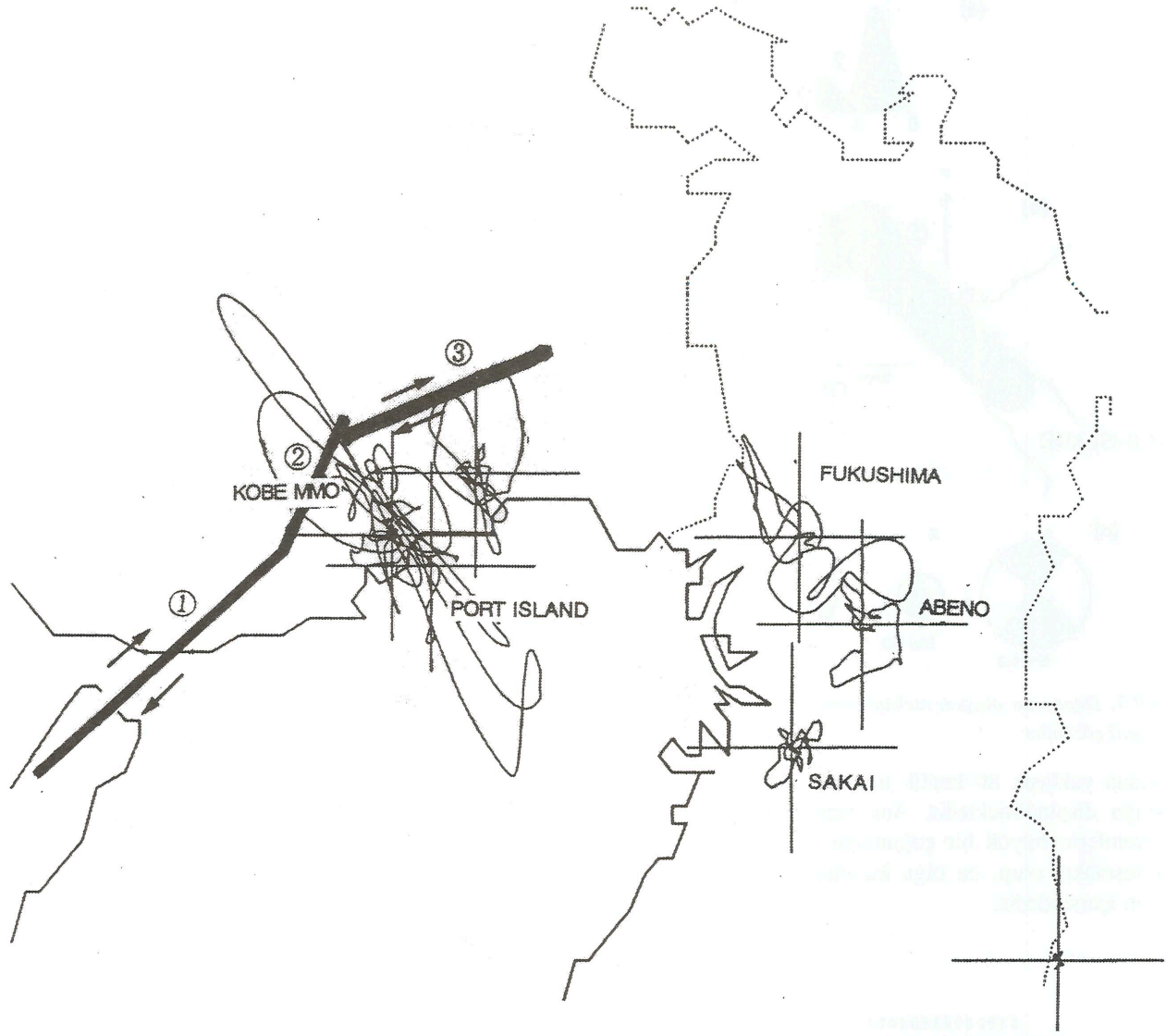
Amerika Jeoloji Kurumu  
USGS



Japonya Meteoroloji Kurumu  
Japan Meteorology Institute

Şekil 8. Amerika Jeoloji Kurumu ile Japonya Meteoroloji Kurumunun fayın kayma yönü ile ilgili çözümleri.





Şekil 9. Deprem esnasında değişik yerlerdeki noktaların hareketlerinin yatay düzlemdeki izdüşümleri.

büyüklüğü, karasal depremlerde ivmelerin yanısıra yapıların tasarımında gözönüne alınmasını zorunlu kılmaktadır.

#### KATKI BELİRTME

Yazar, bu yayında sunulan bilgi ve verilerin elde edilmesinde büyük yardım ve ilgi gördüğü aşağıda isimleri verilen kişilere teşekkür etmek ister.

Prof. Dr. T. Kawamolo, Aichi Institute of Technology, Toyota - Prof. Dr. S. Sakurai, Dr. S. Akutagawa, Kobe University, Kobe - Assoc. Prof. Dr. A. Yashima, Gifu University, Gifu - M. Yamagata, Honshu - Shikoku Bridge Authority, Kobe - Y. Uchita, Kansai Electric Power Co., Osaka K. Kamemura, N. Takeda Taisei Corporation - T. Okuno, Shimizu Corporation, Tokyo - Y. Iwasaki, Geo - Reserach Institute, Osaka - Y. Nishigaki, Kiso - Jiban Consultant Co., Nara.

#### DEĞİNİLEN BELGELER

Hirano, M., Fujita, T., 1995, Geological hazards from

the from the 1995 Hyogo - ken Nanbu Earthquake with reference to the slip landform along the active faults (Japonca). Earth Science (Chikyu Kagaku), 49 (2), 77 - 84.

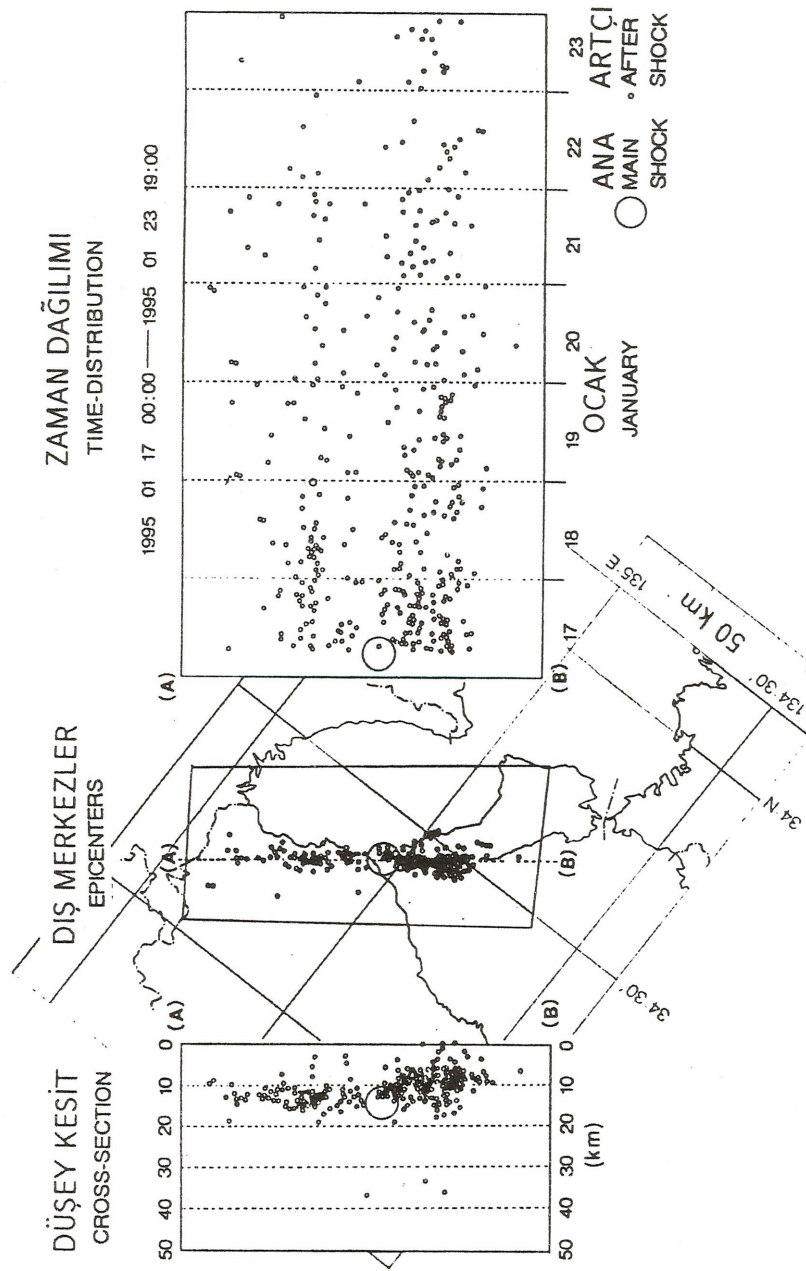
Kikuchi, S., 1995, Source process of the Kobe Earthquake of January 17, 1995 (Japonca). Chishitsu News, 486, 12 - 15.

Lin, A., Imiya, H., Uda, S., Linuma, K., Misawa, T., Yoshida, T., Abematsu, Y., Wada, T. and Kawai, K., 1995, Investigation of the Nojima Earthquake Fault occurred on Awaji Island in the Southern Hyogo Prefecture Earthquake (Japonca). J. Geography (Chigaku Zasshi), 104 (1), 113 - 126.

Okamoto, A., 1995, Rokko - Awaji Island fault system and Hyogo - ken Nanbu Earthquake (Japonca). Chiri, 40 (4), 86 - 97.

Sakurai, S., 1995, Hyogo - ken Nanbu Depreminde oluşan hasarlarla ilgili araştırma raporu (Rapor 1). Kobe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayını (Japonca).





Şekil 10. Ana ve artçı depremlerin oluşum merkezinin uzaysal ve zamana bağlı olarak dağılımı.