

3 ŞUBAT 2002 AFYON (ÇAY- EBER) DEPREMİ GÖZLEM ve DEĞERLENDİRMELERİ

OBSERVATIONS and EVALUATIONS of the FEBRUARY 3, 2002 AFYON (ÇAY – EBER) EARTHQUAKE

Naşide ÖZER, Yıldız ALTINOK, Murat UTKUCU, Eşref YALÇINKAYA, Ömer ALPTEKİN, Ali PINAR, A. İsmet KANLI ve Şakir ŞAHİN

İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 34850, Avcılar, İstanbul

ÖZ: 3 Şubat 2002 günü yerel saatle 09:11:28 de Afyon ilinde Çay, Eber merkezli $M_W = 6.5$ büyüklüğünde deprem olmuştur. Deprem, Batı ve Orta Anadolu'da; Konya, Ankara, Eskişehir, Kütahya, Isparta illerinde kuvvetlice hissedilmiştir. Bu depremi, 11:26:43 de $M_W = 5.8$, 13:39:56 da $M_d = 5.1$ ve 13:54:35 de $M_d = 5.0$ büyüklüklerinde 3 büyük artçı deprem izlemiştir. Deprem; Çay, Çobanlar, Bolvadin, Sultandağ, Bayat, İncehisar, Şuhut ve Afyon merkezinde etkili olmuştur. Depremın makrosismik değerlendirmesine göre, Çay ve Eber ilçeleri daha fazla etkilendiğinden gözlemsel dış merkezin bu yerleşim yerlerinin yakınında olduğu sonucuna varılmıştır. Yüzeysel kırıklar Çay, Eber ilçeleri, Maltepe, Kadıköy de yer almaktadır. Kaydedilen maksimum ivme, Afyon'da 0.113 g'dir. Depremde 42 kişi yaşamını kaybetmiş, 325 kişi yaralanmıştır. Ağır hasarlı ve yıkık konut sayısı 4062, iş yeri sayısı ise 339 dur. Oluşan yapısal hasarlar, yapı kusurlarına bağlı olarak gelişmiştir. Geleceğe yönelik yapılaşmada, mühendisliğe dayalı çağdaş yapılaşmaya gidilmesi için gerekli yaptırımların uygulanması, birinci derece deprem bölgesinde yer alan bölge için önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Afyon (Çay-Eber), Çobanlar, normal faylanma, sıcak su kaynakları, maksimum ivme, mühendisliğe dayalı yapılanma.

ABSTRACT: On February 3, 2002, at 09:11:28 (07:11:28 UTC) a moderate-size earthquake ($M_W = 6.5$) occurred in Afyon, West-Central Anatolia. The shock was strongly felt in Konya, Ankara, Eskişehir, Kütahya and Isparta. Three major aftershocks followed the main shock with the magnitudes of $M_W = 5.8$ (11:26:43), $M_d = 5.1$ (13:39:56) and $M_d = 5.0$ (13:54:35) respectively. The earthquake caused damage in Çay, Çobanlar, Bolvadin, Sultandağ, Bayat, İncehisar, Şuhut districts of Afyon. According to our field observations the macroseismic epicenter is nearby Çay and Eber districts. Surface faulting were observed in Çay and Eber districts and Maltepe, Kadıköy villages. Maximum acceleration of 0.113 g was recorded in Afyon. The earthquake caused 42 loss of lives and 325 injuries. 4062 residential and 339 commercial buildings heavily damaged or collapsed. The cause of structural damages mostly related with poor construction and lack of engineering facilities. The region is located in the first degree earthquake hazard zone. Therefore, for future settlements, this characteristic of the region should be taken into account. Contemporary city planning with engineering design and effective proper inspection should be also enforced.

Key Words: Afyon (Çay-Eber), Çobanlar, normal faulting, hot springs, maksimum acceleration, engineered structure.

GİRİŞ

Isparta dirseğinin kuzeyinde yer alan bölge, özellikle, 3 Şubat 2002 tarihinde oluşan $M_W = 6.5$ Afyon (Çay-Eber) Depremi ve 15 Aralık 2000'de bölgede olmuş $M_W = 6.0$ büyüklüğündeki Sultandağ-Akşehir depremlerinin oluştuğu Sultandağ-Akşehir Fayı ile yörenin depremselliği birkez daha gündeme gelmiştir. Yörenin tarihsel depremlerine bakıldığında, genellikle orta büyüklükte depremlerin oluştuğu bir sismik rejime sahip

olduğu anlaşılmaktadır (Pinar ve Lahn, 1952; Soysal ve diğ., 1981; Eyidoğan ve diğ., 1991). Tektonik açıdan; Isparta dirseğinin kuzeyinde, Batı Anadolu Graben Sistemi ve Orta Anadolu Ova Rejimi arasında bulunan, açılma-genişlemenin egemen olduğu Akşehir-Afyon çöküntü bölgesinde oluşan depremleri (Afyon (Çay-Eber), Sultandağ-Akşehir) normal faylanma özelliği göstermektedirler (Koçyiğit, 2000; Taymaz ve Tan, 2000). Buna karşın Boray ve diğ.(1985), Barka ve diğ. (1997),

Şaroğlu ve diğ. (1987), Akşehir-Afyon çöküntü bölgesini içine alan bölgede sıkışma tektoniğinin etken olduğunu vurgulamışlardır. Afyon (Çay-Eber) Depremi, Sultandağı-Akşehir Fayı'nın kuzey-batısında oluşmuş ve sürekli olmayan toplam 20 km civarında yüzey kırığı yaratmıştır. Normal faylanmayı yansıtan kırık üzerinde ortalama 10-15 cm düşey atımlar gelişmiştir. Orta büyüklükte bir deprem olmasına karşın beklenenin çok üstünde hasar oluşturmuştur. Hasarın yapı kusurlarına bağlı olarak geliştiği söylenebilir.

BÖLGENİN GENEL TEKTONİK ÖZELLİKLERİ

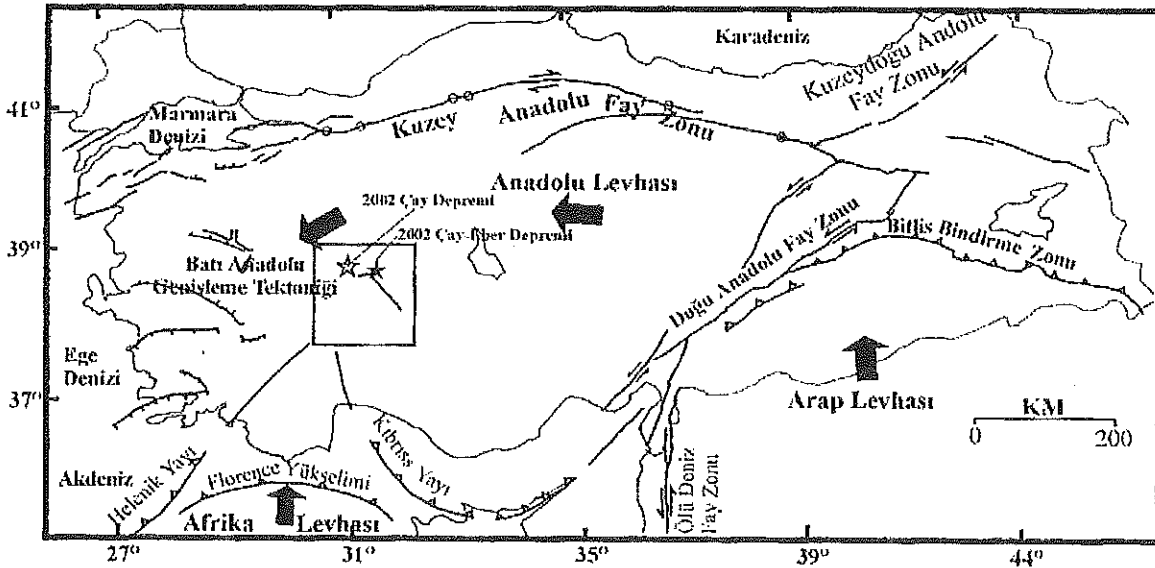
Bölgesel olarak Anadolu'nun tektoniği, Arabistan ve Afrika levhalarının hareketinden etkilenmekte ve depremselliği de bu levhaların hareketleri ile kontrol edilmektedir. Deprem olduğu bölge, Afrika levhasının kuzeye dalan okyanusal kabuğu ile Anadolu levhasının sınırını oluşturan alanın kuzeyinde yer almaktadır. Arap levhasının kuzey-kuzeydoğu yönündeki hareketi ile Bitlis-Zagros bindirme kuşağı boyunca Doğu Anadolu'da meydana gelen sıkışma sonucunda Anadolu plakası batıya doğru hareket etmektedir. Anadolu levhasının batıya doğru hareketi Yunan Makaslama Zonunun engellemesi sonucunda, batıda yön değiştirerek güneybatıya yönelmiştir (Şekil 1). Buna bağlı olarak Batı Anadolu çok yönlü genişleme şeklinde bir tektonik rejim etkisi altında kalmaktadır.

Güneybatı Anadolu ve yakın çevresinde tektonik gelişim üç döneme ayrılır. Bunlar Eski Tektonik dönem, Geçiş dönemi ve Yeni Tektonik dönemdir (Koçyiğit, 1984). Eski Tektonik dönemin son evreleri sıkışma tek-

toniğiyle denetlenirken Geçiş dönemi hem sıkışma hem de genişleme tektoniği ile denetlenir. Yerel olarak Orta Oligosen sonunda, fakat genel olarak Geç Miyosen-Erken Pliyosen sırasında başlamış olan Yeni Tektonik dönem ise, çekme tektoniği denetiminde gelişen karasal tortullaşma, onunla yaşıt kıta içi volkanizma ve blok faylanma ile belirginlik kazanır.

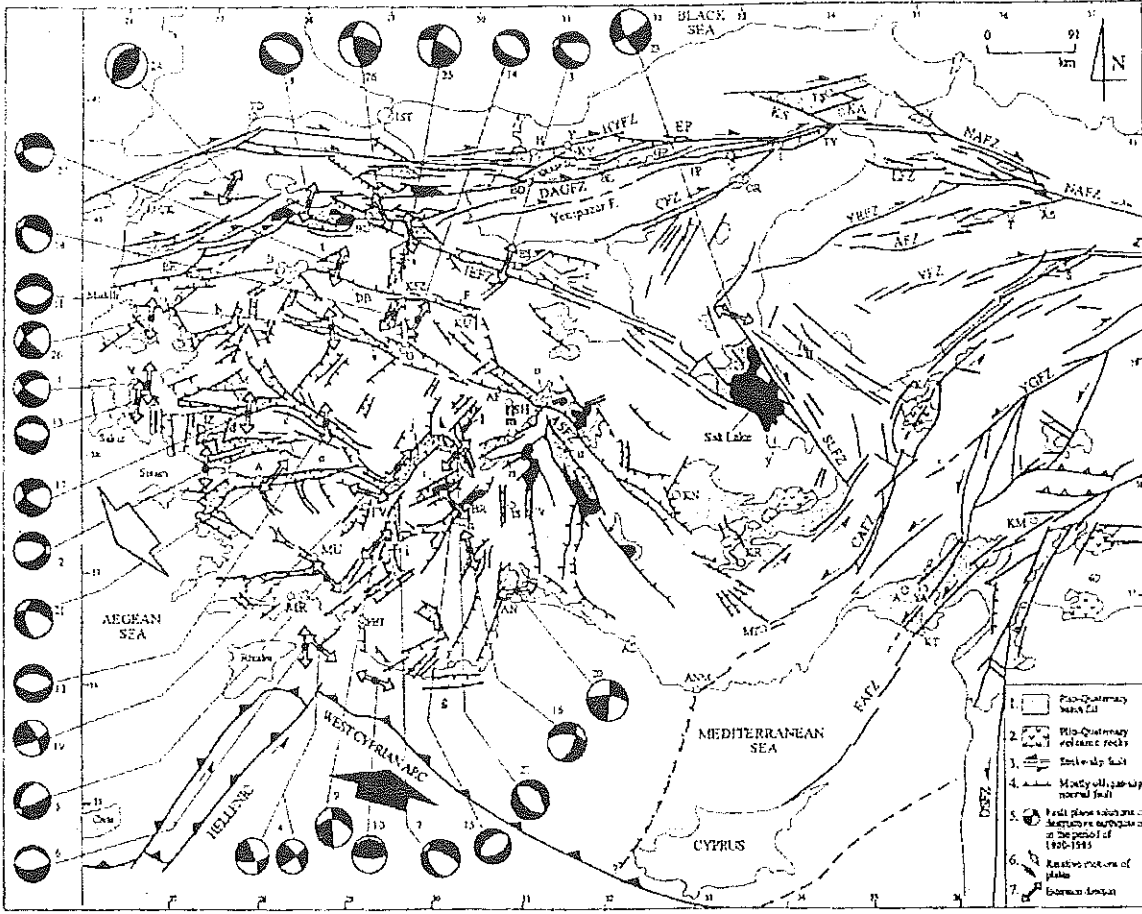
Yeni Tektonik dönemle birlikte bölge çekme tektoniği etkisi altında kalmış ve bu durum günümüzde de devam etmektedir. Bu açıdan Güneybatı Anadolu, blok faylanma tektoniği ve bu tektonik rejime bağlı olarak gelişmiş yapılar bakımından özgün bir alandır (Şekil 2). Böylece, Güneybatı Anadolu'da değişik doğrultuda iki önemli horst-graben (yükselim-çöküntü) sistemi gelişmiştir (Koçyiğit, 1984; Koçyiğit, 2000). Bunlardan ilki, Ege Denizi'nin hemen doğu kıyısında, yaklaşık BKB-DGD doğrultulu, egemen olarak eğim atımlı faylarla sınırlı graben ve horst alanlarının oluşturduğu Ege Horst-Graben Sistemi'dir. Bu sisteme bağlı olarak, yaklaşık K-G doğrultusunda bir genişleme ve kabuk incilmesi günümüzde sürmektedir.

İkinci horst-graben sistemi Göller Bölgesi sistemi olup, bu sistem egemen olarak KD-GB, KB-GD, ikinci derecede de yaklaşık K-G doğrultulu ve verev atımlı normal faylarla sınırlanmış graben ve horstlardan oluşmaktadır. 03.02.2002 Afyon (Çay-Eber) Depremi ($M_w=6.5$) KB-GD gidişli Sultandağ Horstu'nun K-KD kenarını sınırlayan ve Afyon-Akşehir Grabeni'nden ayrıran Sultandağ Fay Sisteminin bir parçası üzerinde meydana gelmiştir (Şekil 2). Her üç doğrultuda uzanan fay-



Şekil 1. Türkiye ve çevresinin genelleştirilmiş tektonik haritası (Barka ve Cadinsky-Cade 1988'den uyarlanmıştır).

Figure 1. Simplified tectonic map of Turkey and adjacent area after Barka and Cadinsky-Cade, 1988.



Şekil 2. Batı Anadolu'nun yalınlaştırılmış sismotektonik haritası (Koçyiğit, 2000).

Figure 2. Simplified seismotectonic map of Anatolia (Koçyiğit, 2000). a. Akçay-Edremit graben, b. Bakırçay graben, c. Gediz graben, d. Küçük Menderes graben, e. Büyük Menderes graben, f. Gökova graben, g. Finike graben, h. Burdur graben, i. Acıpayam graben, j. Çivril graben, k. Dinar graben, l. Sandıklı graben, m. Karadilli graben, n. Senirkent graben, o. Akşehir-Afyon graben, p. Kütahya graben, r. Simav graben, s. Harmancık graben, t. Kavalcık graben, u. Beyşehir graben, v. Kovada graben, y. Tuzgözü graben (?), z. Eskişehir graben; AFZ. Almus Alt Fay Zonu, ASFS. Akşehir-Simav Fay Zonu, CAFZ. Orta Anadolu Fay Zonu, ÇFZ. Çeltikçi Alt Fay Zonu, DAGFZ. Dokurcun-Abant-Gerede Fay Zonu, DOG. Dombayova graben, DSFZ. Ölü Deniz Fay Zonu, EAFZ. Doğu Anadolu Fay Zonu, HYFZ. Hendek-Yığılca Alt Fay Zonu, İEFZ. İnönü-Eskişehir Fay Zonu, KFZ. Kütahya Fay Zonu, KKMfZ. Karadere-Kaynaşlı-Mengen Alt Fay Zonu, LFZ. Laçın Fay Zonu, NAFZ. Kuzey Anadolu Fay Zonu, NF. Niğde Fay Takımı, SLFZ. Tuz Gölü Fay Zonu, YEFZ. Yağmurlu-Ezinepazarı Alt Fay Zonu, YFZ. Yıldızeli Alt Fay Zonu, YGFZ. Yakapınar-Göksun Fay Zonu, A. Adana, AF. Afyon, AL. Alanya, AN. Antalya, ANM. Anamur, B. Balıkesir, BD. Beldibi, BL. Bolu, BR. Burdur, BU. Bursa, Ç. Çerkeş, ÇK. Çanakkale, D. Dilali, DB. Dursunbey, EP. Eskipazar, ER. Edremit, ES. Eskişehir, F. Finike, FET. Fethiye, G. Gediz, GR. Gerede, H. Hendek, I. Ilgaz, IP. İsmetpaşa, IS. Isparta, IST. İstanbul, İZ. İzmir, K. Kayseri, KA. Kargı, KM. Kahramanmaraş, KN. Konya, KR. Karaman, KS. Kastamonu, KT. Karataş, KÜ. Kütahya, M. Manisa, MR. Marmaris, MT. Mut, MU. Muğla, OR. Orta, S. Sivas, SH. Şuhut, SL. Selçuk, T. Tokat, TD. Tekirdağ, TŞ. Taşköprü, TV. Tavas, TY. Tosya, Y. Yığılca, YA. Yağmurlu, V. Veziroğlu.

ların zaman zaman harekete geçmesiyle, Göller Bölgesinde Horst-Graben Sistemi'ne bağlı olarak KD-GB ve D-B yönlerinde genişleme olmaktadır.

Bölgedeki açılma veya genişleme tektoniğinin sismolojik kanıtları da vardır. Alptekin (1978) dışmerkezleri Batı Anadolu bölgesinde yer alan depremler için yaptığı odak mekanizması çözümlerinden bunların

eğim atımlı normal faylanmalardan kaynaklandığını ve yine bu çözümlerden bulunan tansiyon (gerilme) eksenlerinin yataya yakın olduğunu gözlemlemiştir. Bu sonuçlardan yararlanarak, bölgede yer kabuğunun genişlediğini ve Anadolu Levhası'nın bu kısımdaki yaygın depremselliğinin bu levhanın yatay hareketlerinden çok levhanın iç kısımlarında devam eden düşey hareketlerle

ilgili olduğunu önermiştir. Benzer sonuçlar bölge ve yakın çevresinde oluşan büyük depremlerin farklı araştırmacılarca yapılmış odak mekanizmaları çözümlerinden de elde edilmiştir (Eyidoğan ve Jackson, 1985; Eyidoğan ve Barka, 1996; Taymaz ve Price, 1992; Pınar, 1998). Bu durum Koçyiğit tarafından derlenmiş odak mekanizma çözümlerinin gösterilmiş olduğu Şekil 2'den açıkça görülebilir. GPS (Global Positioning System-Küresel Konumlama Sistemi) ölçümleri GB Anadolu'da yıllık 30 ± 1 mm'lik bir levha hızını göstermektedir (McClusky ve diğ., 2000).

BÖLGENİN DEPREM ETKİNLİĞİ

Bölgenin 1900 öncesi tarihsel dönemdeki deprem etkinliği Şekil 3'de gösterilmektedir. 1900 sonrası aletsel dönemdeki deprem etkinliği ile ilgili olarak yörede ve yakın çevresinde oluşmuş başlıca depremler aşağıda belirtilmektedir.

Nisan 1901 Akşehir Depremi:

Akşehir'de şiddetlice hissedilen bir deprem olmuştur (Pınar ve Lahn, 1952).

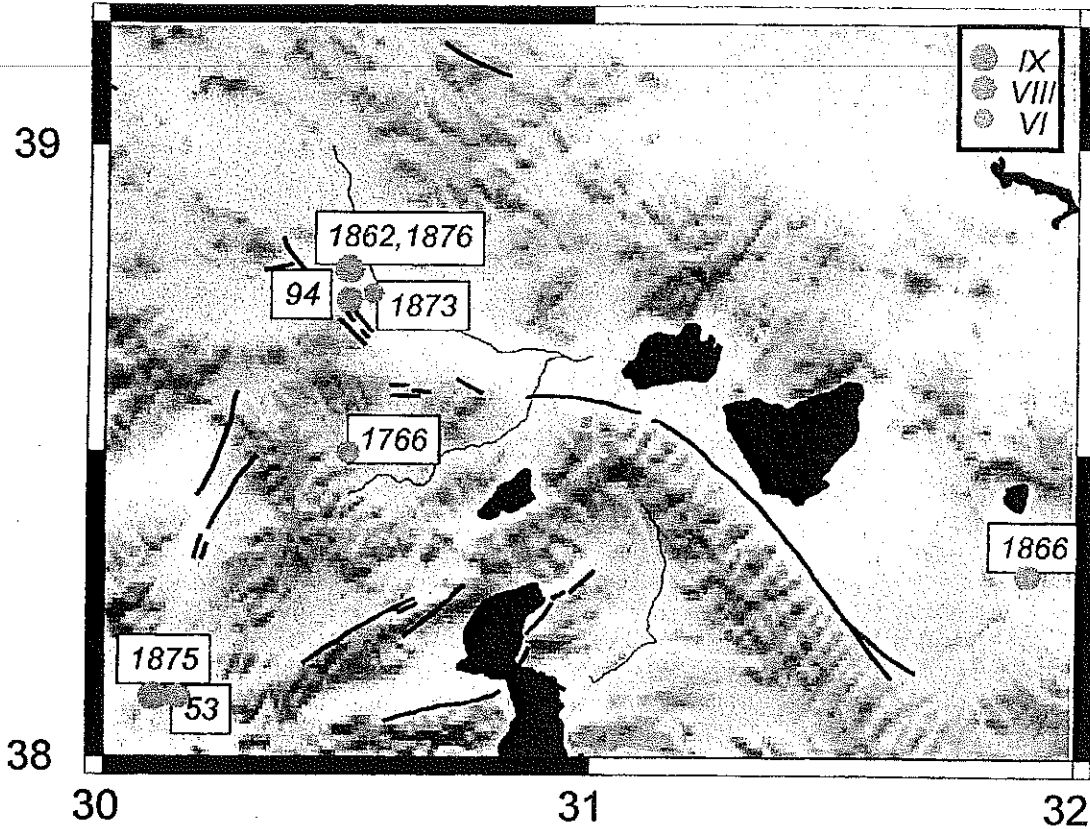
1911 Afyon Depremi:

Afyon, Bolvadin ve Çay, Afyon-Akşehir çukurluğu ile ilgili olan bu deprem birçok yerlerde hasar yapmıştır. Çukurluğun güney kenarında bulunan Kızılkilise (Heybeli) hamamının sıcak suları bu deprem sırasında oluşmuştur (Pınar ve Lahn, 1952).

Ekim 1914 Burdur Depremi:

Oluş zamanı: 22 07 01, Oluş yeri: 38K 30D, Büyüklük $M_S = 7.0$, Şiddet $I_0 = IX$

Burdur ve Burdur ovasında ağır hasarlar oluşmuş, Burdur çukurluğunda göl kenarına paralel olarak GB-KD doğrultulu ve 40 km uzunlukta bir yarık açılmış, sarsıntı geniş bir bölgede hissedilmiştir. Bolvadin ile Çay arasında bulunan bölgede yaklaşık 100 ev yıkılmıştır. Kızılkilise Hamamı'nda yeni bir su daha çıkmıştır. Dış merkezin, Burdur Ovasından geçen yarık boyunca olduğu ileri sürülmüştür (Pınar ve Lahn, 1952; Eyidoğan ve diğ., 1991).



Şekil 3. Bölgenin tarihsel deprem etkinliği (Soysal ve diğ., 1981).

Figure 3. Historical earthquake activity of the region (data from Soysal et al., 1981).

26 Eylül 1921 Argıthanı (Akşehir) Depremi:

Oluş zamanı: 09 25 55, Oluş yeri: 39.9K 33.2D, Büyüklük $M_S = 5.9$, Şiddet $I_0 = VIII$

Ilgın Gölünün batısından geçen fay üzerinde Çavuşcu köyü civarında oluşan deprem Argıthanı bucak merkezi ile Köndüllü ve Doğanhisar arasındaki birçok evin ağır hasara uğramasına neden olmuştur. Sağlam bir kalker kütlesi üzerinde inşa edilmiş Çavuşcu istasyon binası hasar görmüştür (Pınar ve Lahn, 1952; Eyidoğan ve diğ., 1991).

7 Ağustos 1925 Dinar (Afyon) Depremi:

Oluş zamanı: 06 46 27, Oluş yeri: 37.4K 30.5D, Büyüklük $M_S = 6.0$, Şiddet $I_0 = VIII$

Dinar ve köyleri depremden hasar görmüştür. Sarayköy, Denizli, Çal ve Çivril'de çok şiddetli hissedilmiştir. Dış merkezin Dinar yakınlarında olduğu düşünülmektedir. 1926 yılına kadar süren art sarsıntıların Honaz bölgesinde ağır hasara neden olduğu ve 1 Mart'taki art sarsıntıda 200 evin yıkıldığı ve 7 kişinin öldüğü belirtilmektedir (Pınar ve Lahn, 1952; Eyidoğan ve diğ., 1991).

9 Nisan 1931 Ilgın Depremi:

Oluş yeri: 38.3K 31.5D Büyüklük: $M=6.1$ Şiddet $I_0 = VIII$

Çavuşcu'dan geçen fay hattı ile ilgili olarak, 1921 depremine göre daha dar bir alanda hasar yapan bu deprem sırasında Çavuşcu istasyon binası gene hasar görmüştür (Pınar ve Lahn, 1952; Öcal, 1968).

21 Şubat 1946 Ilgın-Argıthanı Depremi:

Oluş zamanı: 15 43 04, Oluş yeri: 38.3K 31.8D, Büyüklük $M_S = 5.7$, Şiddet $I_0 = VIII$

Deprem merkezi Ilgın Gölünün batısından geçen fay hattı üzerinde, Çavuşcu köyünün kuzeyinde bulunmaktadır. Argıthan, Çavuşcu ve Turşunlu'da çok hasar, Doğanhisar, Urus ve Ilgın'da az hasar olmuştur. 12 kişi hayatını kaybetmiş, 9 kişi yaralanmıştır (Pınar ve Lahn, 1952; Eyidoğan ve diğ., 1991).

22 Kasım 1963 Tefenni(Burdur) Depremi:

Oluş zamanı: 20 26 02, Oluş yeri: 37.2K 29.7D, Büyüklük $M_S = 4.6$, Şiddet $I_0 = VII$

Birer saat arayla aynı büyüklükte iki şok şeklinde gelişen deprem, Burdur'un güneybatısındaki Tefenni'de hasara neden olmuştur. Can kaybı yoktur. Bu deprem, Burdur Gölü'nün güneydoğu kıyılarına paralel olarak Tefenni'ye kadar uzanan fayın güney kesiminin hareketi ile ilgilidir. Makrosismik yöntemle belirlenen odak derinliği 7-9 km arasındadır (Eyidoğan ve diğ., 1991; Özçiçek, 1963; Ambraseys, 1988).

12 Mayıs 1971 Burdur Depremi:

Oluş zamanı: 06 25 15.4, Oluş yeri: 37.6K 29.72D, Büyüklük $M_S = 6.2$, Şiddet $I_0 = IX$

Deprem, Burdur Gölünün güney kıyılarında Kışla, Yarıklı ve Buğdüzü köyleri arasındaki alanda hasar yapmıştır. Hasar daha çok Burdur il merkezi ile yaklaşık 20 km batısındaki Yazıköy, Yerköy ve Hacılar köyü yörelerinde olup, yamaçlardaki köylerde daha azdır. Soğanlı köyünün 200 km kuzeyinde, 1 km uzunluğunda bir kırık gözlenmiştir. Doğrultusu K30D olan bu kırığın 1914 ile oluşan depremin kırıklarının doğrultusu ile uyum içinde olduğu gözlenmiştir. Yerköy ile Hacılar arasındaki alanda K30D, K10B, K80D doğrultularında yatay ve düşey hareket gözlenmeyen gerilme kırıkları oluşmuş ve bu kırıklarda çamurlu su fışkırmaları gözlenmiştir. Ayrıca Askeriye köyünde K50D doğrultusunda kırıklar gözlenmiştir. Depremde 35 kişi yaşamını yitirmiştir. P dalgası ilk hareket yönünden elde edilen odak mekanizması çözümüne göre depremin normal faylanma olduğu sonucuna varılmıştır (Eyidoğan ve diğ., 1991; Ambraseys, 1988; Erinç ve diğ., 1971).

29 Temmuz 1978 Burdur Depremi:

Oluş zamanı: 04 34 43.8, Oluş yeri: 37.57K 30.02D, Büyüklük $M_S = 4.5$, Şiddet $I_0 = VII$

Bu deprem birbirini izleyen iki şok şeklinde olmuştur. İlk şok 5sn kadar sürmüş, ikinci şok 15 dakika sonra olmuştur. Can ve mal kaybı olmamıştır (Eyidoğan ve diğ., 1991).

1 Ekim 1995 Dinar Depremi:

Oluş zamanı: 15 57 16.0, Oluş yeri: 38.099K 30.175D, Büyüklük $M_S = 6.1$, Şiddet $I_0 = IX$

Bu deprem anaşokdan 6 gün önce öncü şok aktivitesi ile başlamıştır. Bu şok serisi içinde 4.5 büyüklüklü iki tane şok bulunmaktadır. Deprem, Dinar ve çevresinde beklenmeyen ölçüde hasara neden olmuş ve 10 km'nin üzerinde yüzeyde atımları ile gözlenen faylanmaya neden olmuştur. Kentin KB'sında Yapağlı köyü dolaylarında başlayan faylanma kentin içinden geçerek tansiyon çatlakları halinde Dikici yönüne doğru izlenmiştir. Fayda 35-40 cm'yi bulan sağ yanal atım ve 50 cm'yi aşan eğim atım gözlenmiştir. Geniş bantlı P dalgalarının ters çözüm modellenmesinden elde edilen kaynak mekanizmasına göre deprem, KB-GD gidişli fay üzerinde normal atım bileşenli ve az oranda doğrultu atım bileşeni olan iki şoktan oluşmuştur. 6 saniye arayla meydana gelen iki şoktan birincisinin sismik momenti $M_0 = 0.48 \times 10^{25}$ dyn.cm ($M_W = 5.8$), ikinci şokun sismik momenti $M_0 = 1.76 \times 10^{25}$ dyn.cm ($M_W = 6.1$) dir. Deprem, sığ odaklı bir depremdir. Gözlenen yapısal hasarların nedeni, mühendislik hizmeti görmeyen yapıların bulunması

ve zemin davranışdır. Bu depremde 90 kişi hayatını kaybetmiş 200 dolayında kişi yaralanmıştır (Eyidoğan ve Barka, 1995; Gündoğdu ve diğ., 1995; Pınar, 1995; Koral, 2000).

15 Aralık 2000 Sultandağı-Bolvadin (Afyon) Depremi:

Oluş zamanı:16 44 45.10, Oluş yeri: 38.61K 31.06D, Büyüklük $M_S = 5.8$, $M_W = 6.0$, $I_0 = VII$

Deprem, yaklaşık 160000 km² alanda hissedilmiştir. Deprem dış merkezi Eber-Kocaoğuz köyü yakınıdır. Arazi gözlemleri, depremde özellikle Eber Gölünün G-GB'sı ve Akşehir Gölünün batı kısımlarının KB-GD gidişli fayın etkisi ile bu doğrultuda yerleşmiş bulunan köy ve beldelerin hasar gördüğünü göstermiştir. 6 kişi hayatını kaybetmiş, 25 kişi yaralanmıştır. Bu depremden sorumlu fay zonu büyük olasılıkla tekrar etkinlik kazanan Sultandağı fayıdır. Bu kırık sistemi Koçyiğit ve diğ. (2000) tarafından Akşehir Fayı olarak da adlandırılmaktadır. Aletsel dışmerkez ve en fazla hasarın gözlemlendiği bölgeler dikkate alınarak bu deprem Sultandağı Depremi olarak da adlandırılmaktadır. Mekanizma çözümü normal fay olarak elde edilmiştir (Taymaz ve Tan 2000; Kalafat ve Öz, 2001).

3 ŞUBAT 2002 AFYON (ÇAY-EBER) DEPREMİ

3 Şubat 2002 Afyon (Çay-Eber) Depremi, $M_W=6.5$ büyüklüğünde, yerel saatle 09:11:28 de Çay-Eber merkezli olmuştur. Bu depremi, 11:26:43 de ($M_W=5.8$), 13:39:56 da ($M_d = 5.1$) ve 13:54:35 de ($M_d = 5.0$) olmak üzere 3 büyük art sarsıntı izlemiştir. Ana şok (Afyon (Çay-Eber) Depremi) ve en büyük artçı şok (Çobanlar Depremi) ile ilgili çeşitli kurumlarca verilen bilgiler Tablo 1 ve Tablo 2 de verilmektedir.

Tablo 1. Afyon (Çay-Eber) depreminin farklı kurumlarca verilen parametreleri (KOERI:Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, DAD: Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, USGS: U.S Geological Survey, HARVARD: Harvard University Seismology Group, ETHZ: Swiss Seismological Service).

Table 1. Parameters of the Afyon (Çay-Eber) earthquake by different Institutions. KOERI: Kandilli Observatory Earthquake Research Institute.

Kuruluşun Adı	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Büyüklük
KOERI	38.5812	31.2482	5.0	$M_d = 6.0$
DAD	38.46	31.30	9.6	$M_d = 6.1$
USGS	38.56	31.25	10	$M_S = 6.5$
HARVARD	38.63	31.12	15	$M_w = 6.5$
ETHZ	38.5	31.2	10	$M = 6.2$

Tablo 2. Çobanlar depreminin farklı kurumlarca verilen parametreleri.

Table 2. Parameters of Çobanlar earthquake by different institutions.

Kuruluşun Adı	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Büyüklük
KOERI	38.6855	30.8350	2.2	$M_d = 5.3$
USGS	38.628	30.805	10	$M_S = 5.6$
HARVARD	38.28	30.72	15	$M_w = 5.8$
ETHZ	38.6	30.8	10	$M = 5.8$

3 Şubat 2002 Çay-Eber ($M_W=6.5$) depreminin kaynak alanı yakınında, son elli yıl içinde üç orta büyüklükte deprem meydana gelmiştir. Bu depremler 12 Mayıs 1971 Burdur ($M_W=5.8$), 1 Ekim 1995 Dinar ($M_W=6.5$) ve 15 Aralık 2000 ($M_W=6.0$) Sultandağı-Akşehir depremleridir. Bu depremlerin, 3 Şubat 2002 Çay-Eber ve en büyük artçısı olan 3 Şubat 2002 Çobanlar depremleriyle birlikte yerleri ve odak mekanizma çözümleri Şekil 4'de verilmiştir. Çay-Eber ve Çobanlar depremlerinin kaynak parametreleri de Tablo 3'de verilmiştir. Adı geçen tüm depremlerin mekanizma çözümleri normal faylanmaları göstermektedir.

Deprem dış merkezini çevreleyen 28 istasyonluk sayısal artçı deprem gözlem ağı ile 05-07 Şubat 2002 tarihlerinde kaydedilen depremlerin dış merkez ve derinlik dağılımı Şekil 5'te verilmiştir (http://www.nemrut.mam.gov.tr/sismoloji/afyon/afyon_depremi.html). TÜBİTAK-YDBAE tarafından yapılan bu çalışmada kaydedilen 2000'i aşkın artçı depremden 392'sinin yerleri, Değirmendere-Dereçine köyleri arasında değişmektedir. Depremlerin odak derinlikleri, 5-10 km arasında yoğunlaşmaktadır. Artçı depremlerin fay düzlemi çözümleri, D-B ve BKB-DGD doğrultulu normal atımlı faylanmaları göstermektedir (Şekil 6).

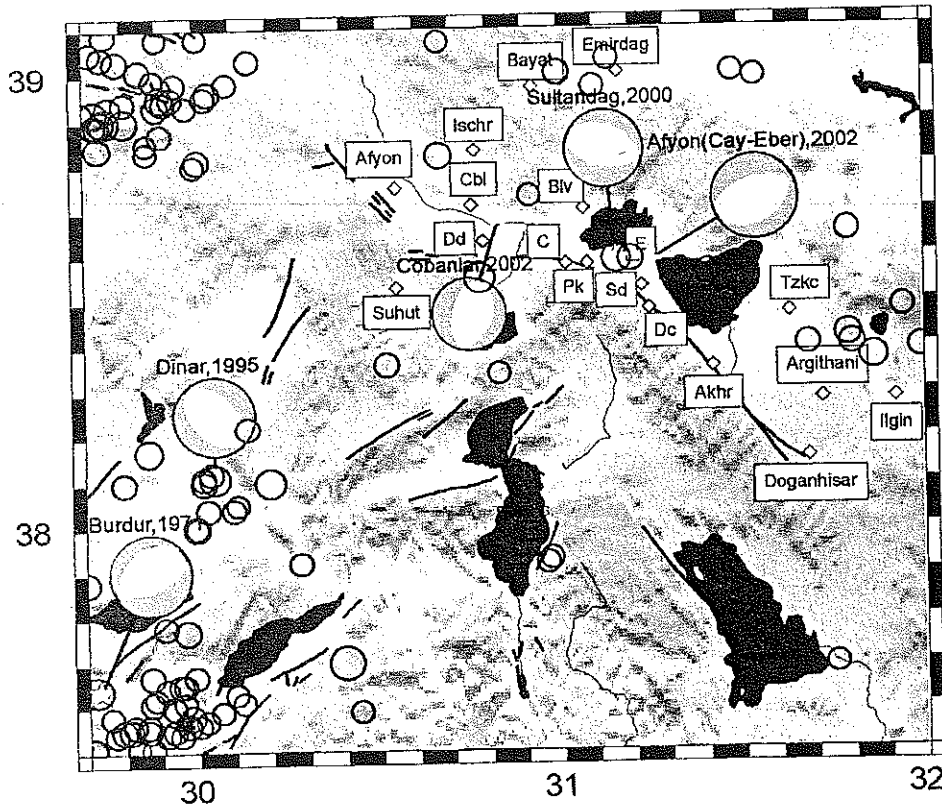
3 Şubat 2002 Afyon (Çay-Eber) Depremini kaydeden en yakın kuvvetli yer hareketi kayıtçısı, depremin dış merkezine yaklaşık 50 km uzaklıkta bulunan Afyon istasyonudur. Bu istasyonda gözlenen maksimum ivme değeri, 0.113 g'dir. Şekil 7'de bu istasyonda kaydedilen üç bileşen ana şok ivme kaydı görülmektedir. 1 Ekim 1995 Dinar ($M_W=6.2$) Depremi ve 3 Şubat 2002 Afyon (Çay-Eber) Depremi, bölgede oluşmuş benzer tektonik özelliklere sahip iki depremdir. Her iki depremi oluşturan fay sistemi de normal faylanma özelliği taşımaktadır.

1 Ekim 1995 Dinar Depremi ($M_W=6.2$), dış merkezine çok yakın bulunan (yaklaşık 3 km) Dinar istasyonunda kaydedilen maksimum ivme değeri 0.33 g'dir.

Tablo 3. 2002 Çay-Eber ve Çobanlar depremlerinin kaynak parametreleri.
Table 3. Source parameters of 2002 Afyon (Çay-Eber) and Çobanlar earthquakes.

Deprem	2002 Çay-Eber			2002 Çobanlar	
	KOERI	USGS	Kikuchi ve Yamanaka ¹	KOERI	USGS
Oluş zamanı	07.11.28,0	07.11.28,8	—	09.26.43,0	09.26.43,6
Enlem (°)	38.5812	38.490	—	38.6855	38.628
Boylam (°)	31.2482	31.105	—	30.8350	30.805
Derinlik (km)	5	10	—	2.2	10
Sis. Moment ($\times 10^{18}$ Nm)		2.4	3.0		1.1
M _w		6.2	6.3		6.0
Doğrultu (°)		254/53	272/52		19/193
Eğim (°)		53/39	51/46		38/52
Kayma (°)		-78/-106	-54/-120		-85/-94

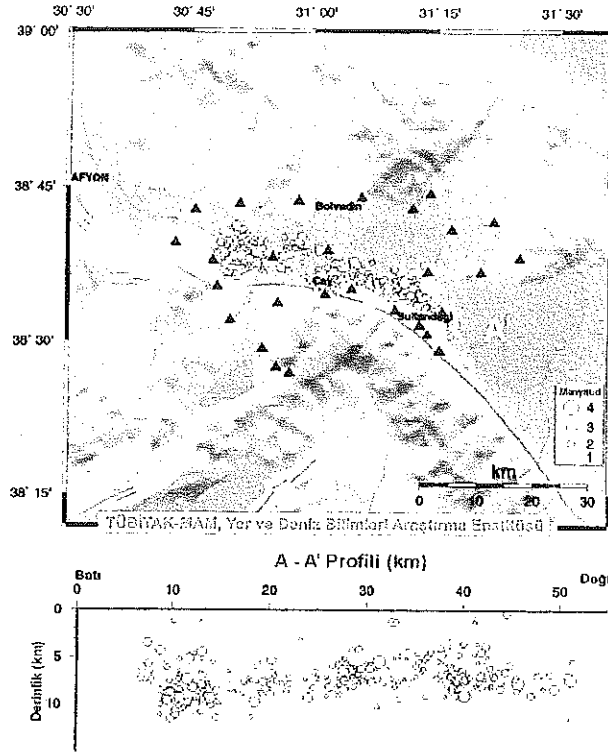
¹http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/EIC/EIC_News/020203E.html



Şekil 4. 2002 Çay-Eber, Çobanlar depremlerinin dışmerkez ve odak mekanizmalarıyla, yakın civarda, son 50 yıl içinde meydana gelmiş önemli depremlerin dışmerkez ve odak mekanizmaları, 1900-2002 yılları arasında oluşmuş, $M \geq 4.5$ depremlerin yerleri. Mekanizma çözümleri Taymaz ve Price (1992), Pınar (1998), USGS den, deprem yerleri KOERI den alınmıştır. Akhr, Akşehir; Dc, Dereçine; Sd, Sultandağ; Pk, Pınarkaya; E, Eber; C, Çay; Dd, Değirmendere; Cbl, Çobanlar; Ischr, Işçehisar; Tzkc, Tuzlukçu.

Figure 4. Epicenters and focal mechanisms of the Çay-Eber, Çobanlar shocks and the earthquakes occurred in the last 50 years in the area. Locations of the earthquakes ($M \geq 4.5$) which occurred between the years 1900-2002. Focal mechanism solutions (after Taymaz ve Price (1992), Pınar (1998), USGS, KOERI).

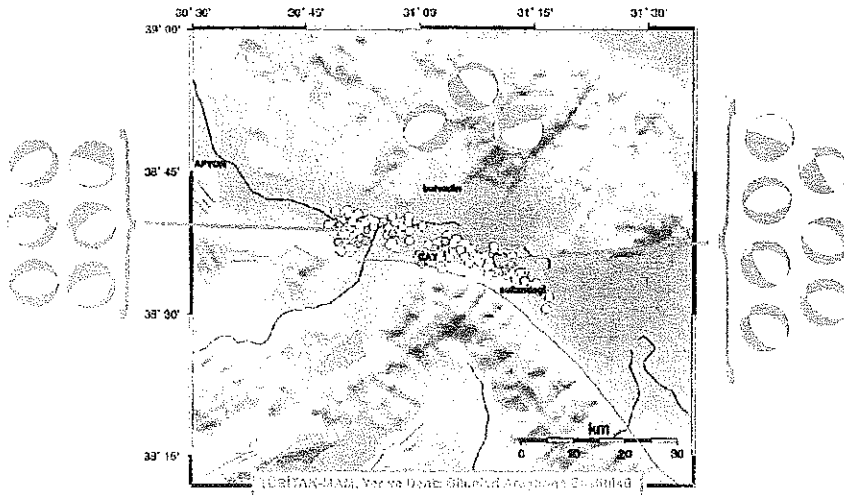
03.02.2002 Sultandağı Artçı Deprem Dağılımı ve Derinlik Kesiti



Şekil 5. TÜBİTAK-YDBAE tarafından, bölgede 05-07 Şubat 2002 tarihlerinde kaydedilen 392 artçı depremin dışmerkez ve derinlik dağılımı. Üçgenler, istasyon yerlerini göstermektedir (http://www.nemrut.mam.gov.tr/sismoloji/afyon/afyon_depremi.html).

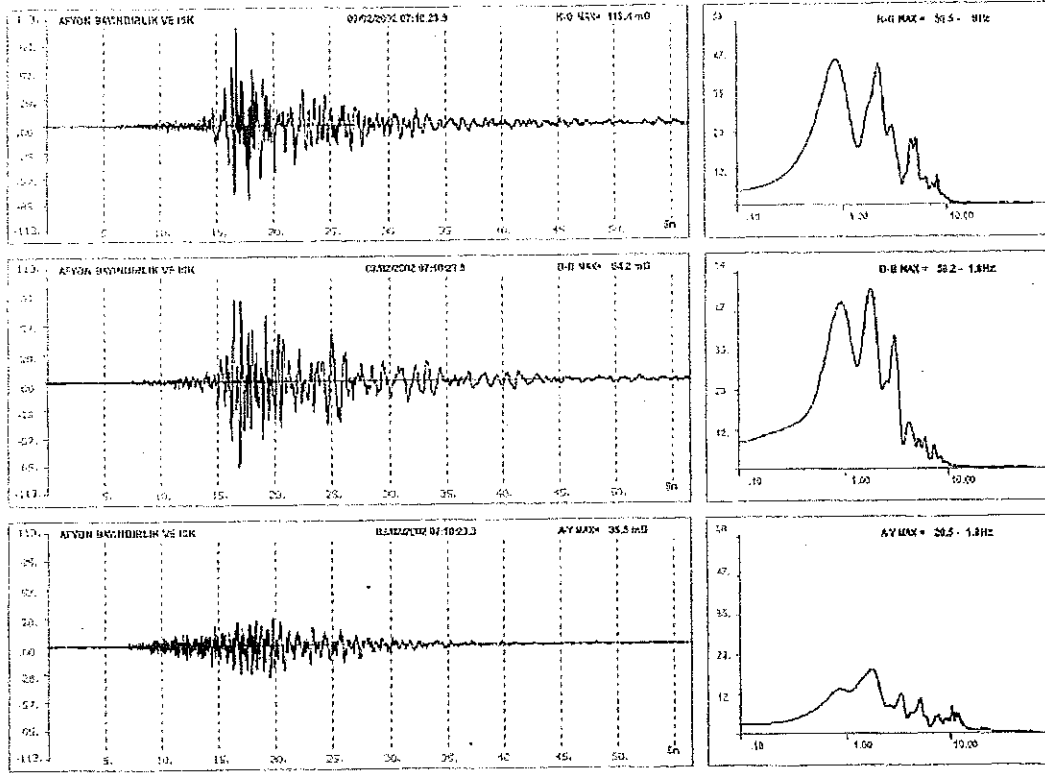
Figure 5. Epicenters and depth distributions of 392 aftershocks between the days 5 and 7 February, 2002 recorded by TÜBİTAK-YDBAE. Triangles indicate the location of the stations (http://www.nemrut.mam.gov.tr/sismoloji/afyon/afyon_depremi.html).

03.02.2002 Sultandağı Artçı Deprem Dağılımı ve Fay Düzlemi Çözümleri



Şekil 6. Şekil 5'deki artçı depremlerin odak mekanizma çözümleri (http://www.nemrut.mam.gov.tr/sismoloji/afyon/afyon_depremi.html).

Figure 6. Focal mechanism solutions of the aftershocks given in Figure 5 (http://www.nemrut.mam.gov.tr/sismoloji/afyon/afyon_depremi.html).



Şekil 7. Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi'nin Afyon kuvvetli yer hareketi ölçerince kaydedilen 3 bileşen ivme kayıtları ve onların frekans spektrumları.

Figure 7. Three component accelerograms and their frequency spectrums of the Çay-Eber earthquake recorded at the Afyon station operated by General Directorate of Disaster Affairs Earthquake Research Department.

Ayrıca, Dinar'da ova içinde gözlenen yüksek hasarın başlıca nedeni zemin büyütmesi olarak değerlendirilebilir (Alptekin ve Yalçınkaya, 2001).

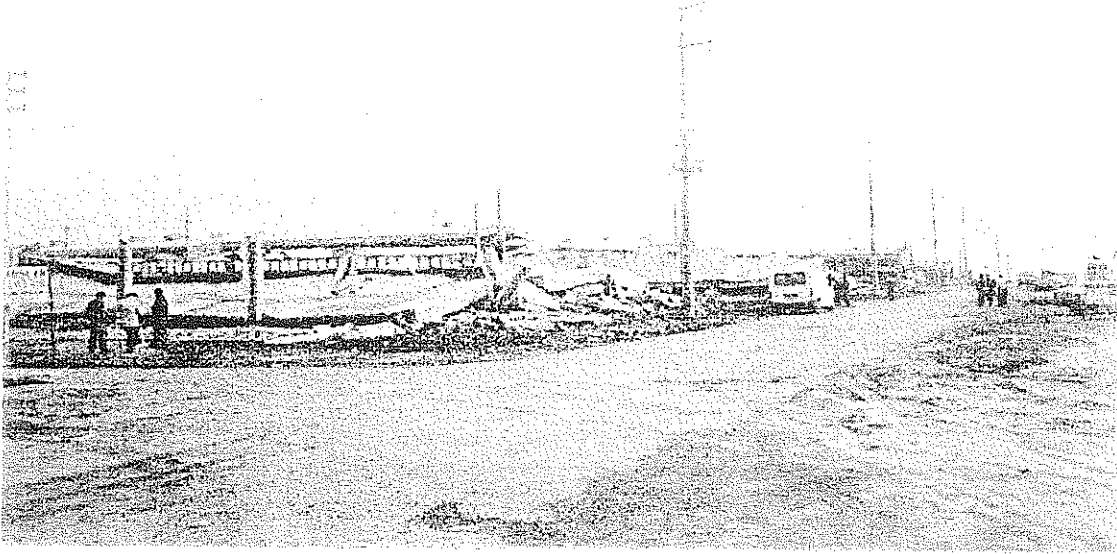
Afyon (Çay-Eber) Depreminin etki alanı içinde yer alan yerleşim birimlerinin çoğu Sultandağı'nın eteklerinde kurulmuştur. Bu nedenle, zemin özellikleri sıkı zeminden oldukça yumuşak zemine doğru değişmektedir. Yapı türleri de genellikle kerpiç evler şeklindedir ve maksimum hasar bu yapılarda meydana gelmiştir. Sadece Çay ilçesinde ova içinde yeni yeni yapılmaya başlanmış yüksek katlı betonarme evler mevcuttur. Fakat bunların da bir çoğu yeterli inşaat kalitesi taşımadıklarından ağır hasar görmüşlerdir (Resim 1 ve 2). Tamamen yumuşak alüvyon üzerinde yer alan Eber kasabasında kerpiç evlerin tamamı yıkılırken çok az sayıda rastlanan bir-iki katlı betonarme yapılarda hasar yok denecek kadar azdır (Resim 3 ve 4).

Yerleşim birimlerinin çok katlı yapılar şeklinde giderek ova içine, karayolunun doğusuna doğru yayılmaya başlaması nedeni ile birinci derece deprem bölgesinde yer alan bölgede, yapılaşmaya geçilmeden önce zemin özelliklerinin de dikkate alınmasında yarar vardır.

SAHA GÖZLEMLERİ

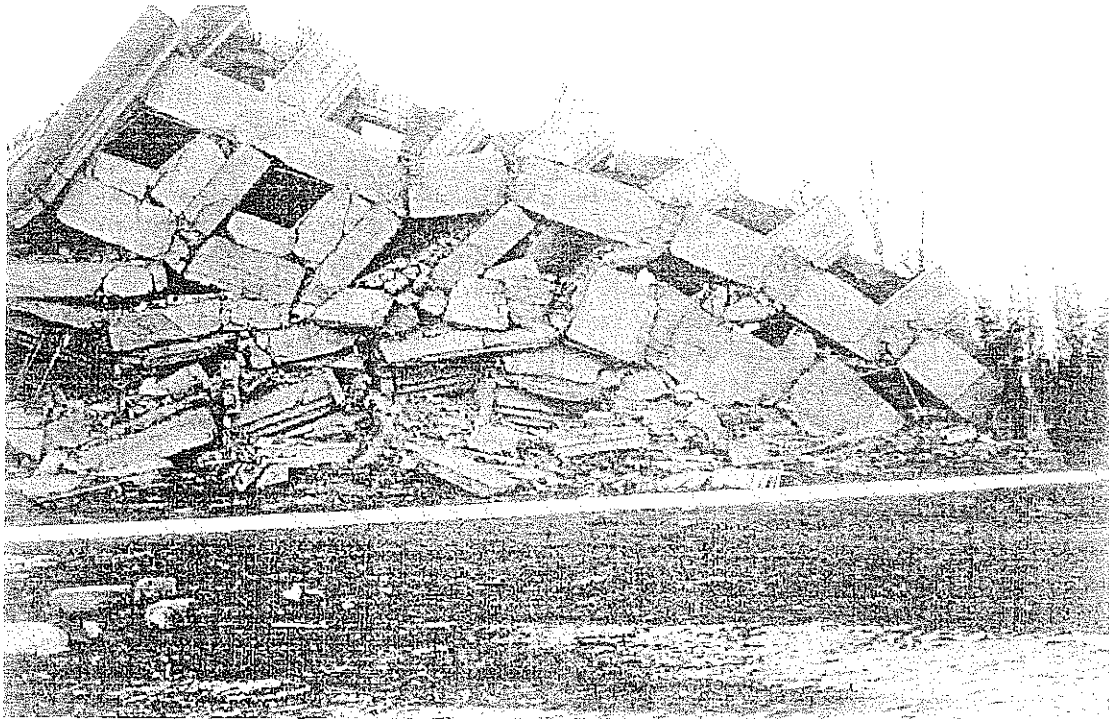
Depremin yüzey kırığı ilk belirlemelere göre Çay ilçesinde izlenmiştir. Yüzeyde 2 km boyunca izlenen kırık, K70D doğrultusunda uzanır ve gözlenen maksimum düşey atım, 25-30 cm civarındadır. Çay ilçesinin güney batısında, depremden hasar gören ve onarılmakta olan su borusu ve hasara neden olan K60D doğrultulu yüzey kırığı Resim 5'te verilmiştir (İ.Ü. Araştırma Grubu Raporu, 2002). Bu yüzey kırığının eski depremlerde gelişmiş olan kırılma düzlemi üzerinde yer aldığı, Emre ve diğ. (2002) tarafından belirtilmiştir.

Maltepe köyü civarında gözlenen kırık, K75B doğrultuludur. Bu kırık, batıda bataklıklardan oluşan alüvyon ovada sönümlenir. Doğu ucunda ikiye çatallanan kırık uzunlukları birkaç 10 m ile birkaç 100 m arasında değişen iki ana doğrultuda parçalı olarak devam eder. Çay ve doğusunda izlenen yüzey faylanması metamorfik temel kayalarda, Maltepe yöresinde ise kırık Pleistosen ve Holosen çökellerde gelişmiştir (Emre ve diğ., 2002, <http://www.mta.gov.tr/deprem/afyon.htm>). Eber Gölü kıyısındaki Oğuzhöyük mahallesinde kaynak sularının debilerinde değişiklik olmuş ve sular bulanmıştır. Maltepe köyü mezarlık yolu civarında sondajla



Resim 1. Çay Sanayi Çarşısı.

Photo 1. Çay commercial buildings blocks.



Resim 2. Çay'da yıkılan Yeşilçay Konut Kooperatifi.

Photo 2. Collapsed Yeşilçay Cooperative residential building in Çay.



Resim 3. Eber'de bir sokak.
Photo 3. A street at Eber.



Resim 4. Eber'de yıkılan kerpiç bina.
Photo 4. Damaged adobe building in Eber



Resim 5. Çay ilçesinin güneybatısında depremden hasar gören su borusu ve hasara neden olan yüzey kırığı.
Photo 5. Damaged water pipe-line at southwest of Çay and surface faulting.

çıkarılan birçok su kaynağı kesilmiş, Kadıköy de su çıkışlarına rastlanmış, yer altı su seviyelerinde yükselmeler olduğu görülmüştür (İ.Ü. Araştırma Grubu Raporu, 2002). Kızılkilise termal tesislerinde depremin dördüncü günü 35 m uzunluğunda K35D doğrultulu bir kırık boyunca sıcak su çıkışları olmuştur. Kaplıca suyunun debi ve sıcaklığı artmıştır (Demirtaş ve diğ., 2002). 1911 Afyon Depremi sırasında oluşan, 1914 Burdur Depremi ile yeni suların çıktığı Kızılkilise kaplıcasında bu depremle yeni sıcak su çıkışı olmuştur.

SONUÇLAR

3 Şubat 2002 Afyon (Çay-Eber) Depremi ile ilgili değerlendirmeler aşağıda sunulmaktadır.

- 3 Şubat 2002 günü yerel saatle 09:11:28 de oluşan Afyon (Çay-Eber) Depremi'nde 42 kişi yaşamını yitirmiş, 325 kişi yaralanmış, 4062 konut ve 339 işyeri ağır hasar görmüştür.
- Depremın makrosismik değerlendirmelerine göre, Afyon ilinin Çay ve Eber ilçeleri daha fazla etkilendiğinden, gözlemsel dış merkezin söz konusu yerleşim yerlerinin yakınında yer aldığı sonucuna varılmıştır.
- Çay ve Eber ilçeleri, Maltepe köyü ve Kadıköy'de belirgin ancak sürekli olmayan yüzey kırıkları oluşmuştur. Bunların toplam uzunluğu 20 km civarındadır. Ortalama düşey yer değiştirme 10-15 cm kadardır.

- Afyon (Çay-Eber) Depremi'nin odak mekanizması çözümü, normal faylanmayı göstermektedir. Bu çözüm saha gözlemlerine de uygundur. 15 Aralık 2000 Sultandağı-Akşehir Depremi'nde olduğu gibi, bu deprem de açılma tektoniği özelliği göstermektedir.
- Depremi izleyen artçı şokların fay düzlemi çözümleri de bölgenin bilinen tektonik gerilme rejimine uygundur.
- Afyon (Çay-Eber) Depremi sonrası su kaynaklarının debisinde ve sıcaklıklarında değişimler olmuştur. 1911 Afyon Depremi sırasında oluşan, 1914 Burdur Depremi ile yeni suların çıktığı Kızılkilise kaplıcasında bu depremle de yeni sıcak su çıkışı olmuştur.
- Bu depremde oluşan yapısal hasarlarda zemin koşullarının belirgin etkisi görülmemiştir. En fazla hasar, kerpiç yapılarda ve yeterli inşaat kalitesi taşımayan betonarme binalarda görülmüştür.
- Bölgenin deprem potansiyelinin detaylı anlaşılması için bölgede sismolojik araştırmalar desteklenmelidir. Geleceğe yönelik yapılaşmada mühendislik hizmetlerinin kullanımı ile çağdaş yapılaşmaya gidilmeli ve bu konuda denetim sağlanmalıdır.

KATKI BELİRTME

3 Şubat 2002 tarihinde oluşan Afyon (Çay-Eber) Depremi'nin yerinde incelemek üzere bölgeye gidilmesindeki destek ve katkılarından dolayı, yazarlar, İstanbul Üniversitesi Rektörü, Prof. Dr. Kemal Alemdaroğlu'na teşekkür ederler.

SUMMARY

The February 3, 2002 Afyon (Çay-Eber) earthquake occurred ($M_w = 6.5$) at 09:11:28 local time and caused 42 loss of lives and 325 injuries. 4062 residential and 339 commercial buildings heavily damaged or collapsed. According to our field observations, macroseismic epicenter is nearby Çay and Eber districts of Afyon. Total 20 km. fragmented surface faulting with the mean value of 10-15 cm dip-slip was observed at Çay, Eber districts and Maltepe, Kadıköy villages. New springs are formed at Kadıköy and flow rate of the Kızılkilise changed with this earthquake. Focal mechanism solution of the mainshock is normal faulting. Earlier events occurred in the region show normal faulting and these results are coincidence with the tectonic regime of the region. Structural damages are mostly caused by po-

or construction and lack of engineering facilities. Concerning the earthquake potential of the region, detailed seismological investigations should be carried out and the buildings should be designed and built in compliance with the provisions of the seismic code.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Alptekin, Ö., 1978,** Batı Anadolu depremlerinin odak mekanizmaları ve bunların aktif tektonik ile ilişkileri, Jeofizik 7.
- Alptekin, Ö. ve Yalçınkaya, E., 2001,** Deprem Yer Hareketine Lokal Jeolojinin Etkisi, İ.Ü. Araştırma Projesi Raporu, Proje No:1176/070998.
- Ambraseys, N. N., 1988,** Engineering Seismology, Journ. Earthq. Eng.& Struct. Dyn.,17/1-105.
- Barka, A.A., ve Kandisky-Cade, K., 1988.** Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity, Tectonics, 7, 663-684.
- Barka, A.A., Reilinger, R., Şaroğlu, F. and Şengör, A.M.C., 1997,** The Isparta Angle: Its importance in the neotectonics of the Eastern Mediterranean Region, Eds. Ö. Pişkin, M. Ergün, M.Y. Savaşçın, G. Tarcan, Proceedings of International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region, 9-14 Oct. 1995 İzmir-Güllük, s.3-17.
- Boray, A., Şaroğlu, F. and Emre, Ö., 1985,** Isparta Büklümünün Kuzey kesiminde D-B Daralma için Bazı Veriler, Jeoloji Müh. 23, 9-20.
- Demirtaş, R., İravul, Y. ve Yaman, M., 2002,** 03 Şubat 2002 Eber ve Çay Depremleri, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Doğan, A., Özalp, S., Tokay, F. ve Kuşçu, İ., 2002,** 03 Şubat 2002 Sultandağı Depremi Ön Değerlendirme Raporu, <http://www.mta.gov.tr/deprem/afyon.htm>.
- Erinç, S., Bener M., Sungur K., Göçmen K., 1971,** 12 Mayıs 1971 Burdur depremi, Tatbiki Jeomorfoloji Enstitüsü Yayınları, No:1707, İstanbul.
- 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 the continental crust, Geophys. J. R. Astr. Soc., 81, 569-607.
- Eyidoğan, H., Güçlü U., Utku Z., Değirmenci E., 1991,** Türkiye Büyük Depremleri Makro-Sismik

- Rehberi (1900-1988), İTÜ Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü.
- Eyidoğan, H., Barka A., 1995**, 1 Ekim 1995 Dinar depremi: Kaynak özellikleri ve sismotektonik yorum, Süleyman Demirel Üniv. IX. Mühendislik Haftası Sempozyum Kitabı, 51-56.
- Eyidoğan, H. ve Barka, A., 1996**, The 1 October 1995 Dinar earthquake, SW Turkey, Terra Nova, 8, 479-485.
- Gündoğdu, O., Altınok Y., Ersoy Ş., 1995**, 1 Ekim 1995 Dinar depremi gözlem ve değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniv. IX. Mühendislik Haftası Sempozyum Kitabı, 83-90.
- İstanbul Üniversitesi Araştırma Grubu Raporu, 2002**, 3 Şubat 2002 Afyon (Çay-Eber) Depremi Raporu, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İstanbul.
- Kalafat, D. ve Öz, G., 2001**, 15 Aralık 2000 Sultandağı-Bolvadin (Afyon) Depremi, Türkiye 14. Jeofizik Kurultayı, Genişletilmiş Sunu Özetler Kitabı, Ankara, 26-31.
- Koçyiğit, A., 1984**, Güneybatı Türkiye ve yakın dolayının levha içi yeni tektonik gelişimi, Türkiye Jeol. Kur. Bült., 27, 1-16.
- Koçyiğit, A., 2000**, Güneybatı Türkiye'nin depremselliği, Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu 2000, Bildiriler Kitabı, 31-38.
- Koral, H., 2000**, Surface rupture and rupture mechanism of the October 1, 1995 ($M_w=6.2$) Dinar earthquake, SW Turkey, Tectonophysics, 327, 15-24.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gürkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Naderiya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M.N. & Veis, G., 2000**, GPS constraints on plate kinematics and dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus, J. Geophys. Res., 105, 5695-5719.
- Öcal, N., 1968**, Türkiye Sismisitesi ve Zلزele Coğrafyası, Milli Eğitim Bakanlığı, İstanbul Kandilli Rasathanesi ve Sismoloji Yayınları:8.
- Özçiçek, B., 1963**, 22 Kasım 1963 Tefenni (Burdur) zلزelesine ait rapor, YBYK UYG-AR Merkezi Sismoloji-Sismotektonik Alt Birimi arşivi (Yayınlanmamış rapor).
- Pınar, A., 1995**, Uzun periyotlu telesismik cisim dalgalarından 1 Ekim 1995 Dinar depreminin kinematik ve dinamik kaynak parametreleri, Süleyman Demirel Üniv. IX. Mühendislik Haftası Sempozyum Kitabı, 91-96.
- Pınar, A., 1998**, Source inversion of the October 1, 1995 Dinar earthquake ($M_s=6.1$): A rupture model with implications for seismotectonics in SW Turkey. Tectonophysics, 292, 255-266.
- Pınar N., ve Lahn E., 1952**, Türkiye Depremleri İzahlı Katalođu, Bayındırlık Bakanlığı, Yapı ve İmar İşleri Reisliği, Ankara, 36, No: 6.
- Soysal, H., Sipahiođlu, S., Kolçak, D. ve Altınok, Y., 1981**, Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Katalođu (MÖ 2100- MS 1900), TÜBİTAK, TBAG 341, İ.Ü.Yerbilimleri Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Şaroğlu, F., Boray, A. and Emre, Ö., 1987**, Active Faults of Turkey, Mineral Res. Expl. Inst. Turkey, Unpubl. Report, 8643, pp.394.
- Taymaz, T. ve Price, S., 1992**, The 1971 May 12 Burdur earthquake sequence, SW Turkey: a synthesis of seismological and geological observations, Geophys. J. Int., 108, 589-603.
- Taymaz, T., Tan O., 2000**, Sultandağı depremi ve Göl-ler bölgesinin depremselliği, Cumhuriyet Bilim Teknik, Sayı 719, 18-19.
- TÜBİTAK-YDBAE web sayfası, 2002**, http://www.nemrut.mam.gov.tr/sismoloji/afyon_ depremi.html.

Makalenin geliş tarihi : 29.04.2002
 Makalenin yayına kabul tarihi : 19.09.2002
 Received : April 29, 2002
 Accepted : September, 2002