

Afyon ve Çevresi'nin Depremselliği: 03 Şubat 2002 Çay Depremi Eşşiddet Haritası ve Deprem Riski

The Seismicity of Afyon and Ms Surroundings:

Isoseist Map of 03 February 2002 Çay Earthquake, and Earthquake Risk Analysis

Mehmet UTKU, M. Ali DANIŞMAN, Nihal AKYOL, Zafer AKÇIĞ

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Kaynaklar Kampusu, 35160, Buca-İZMİR

ÖZ

Türkiye için doğal afetlerin başında gelen deprem, 03.02.2002 tarihinde yerel saatle 09:11:28'de, Afyon ili çevresinde (Çay, Sultandağı, Bolvadin ve Çobanlar) büyük can ve mal kayıplarına neden oldu. Afyon ve Çevresi, yakın tektonik sistemlerin yönlendirdiği deprem rejimine göre, bu güne kadar en az 4.0 büyüklüktü ($M > 4.0$) 252 deprem, yaşadı. Batı Anadolu'da etkin olan Gediz graben, sistemi, Dinar Fay sistemi ile Afyon'un güneydoğusundan kuzeybatısına doğru uzanan Akşehir Fay sistemi ve Emirdağ! Fay sistemlerinin etkisinde kalan Afyon ve civarı,, ~5 ayda bir, en az. 4.0 büyüklüğünde bir deprem üreten aktif bir tektonik sistemin içinde yer almaktadır.. Bu özelliğiyle, 6.0 büyüklüğündeki bir depremi 30 yılda %78, 7.0 büyüklüğündeki bir depremi ise aynı sürede %35 yaşama olasılığı vardır. Kayıtlara göre, bu bölgede yaşanan en büyük deprem 1931 yılında. 7.0 büyüklüğündedir.. Günümüze: kadar, en > 6.0 büyüklüklü 8 depremin meydana, geldiği Afyon ve Çevresi, **birinci** derece **deprem** belgesi, olarak, tanımlanır.

Bu çalışma ile elde edilen eşşiddet haritasından, arazi gözlemlerinden ve art sarsıntı dış merkez dağılımlarının yönelimlerinden,, **03.02.2002** tarihli depremin (09:11:28; $M < 6.0$, $M_w = 6.5$), **Âfcetir Fay Zonu'nun** bir **ürünü** olduğu ve **Çay (Afyon) Depremi** adıyla anılması gerektiği anlaşılmaktadır. Bölgedeki aktif faylara bağlı olarak yüzeylenen jeotermal akışkanların çokluğu ve bölgenin yeraltı suyu yönünden, zengin tortul ve gevşek çökellerden oluşmuş olması, hatalı ve denetimsiz yapı üretimi, olası depremlerdeki hasarı artırıcı en önemli etkenlerdir.

Anahtar Sözcükler: Eşşiddet haritası, makrosismik gözlem,, deprem riski, büyüklük-frekans ilişkisi, aşılma olasılığı, dönüş periyodu, Akşehir Fay Zonu,, graben.

ABSTRACT

Earthquake is the most important natural disaster in Turkey. The earthquake which struck Afyon on 03 February 2002 at 09:11:28am (local time) caused great losses in human life and property in Afyon and its surroundings (Çay, Sultandağı, Bolvadin, Çobanlar). According to the earthquake regime triggered by the tectonics of the region, 252 earthquakes with a magnitude of 4.0 and greater have struck. Afyon and its surroundings 'which are under the effect of the Gediz graben, Dinar, Akşehir, and Emirdağ fault systems exist within an active tectonic system leading to earthquakes with a magnitude of 4.0 and greater once in 5 months.

With this characteristic, the occurrence probabilities of earthquakes in 30 years with a magnitude of 6.0 and 7.0 are 78% and 35% respectively. The greatest earthquake recorded in this area was in 1931 with a magnitude of 7.0. In terms of the Earthquake Zoning Map of Turkey, Afyon and its surroundings, where 8 earthquakes of a magnitude of 6.0 have occurred so far, are termed as first order earthquake province.

In this study, firstly, using macroseismic observations and distributions of aftershocks, the isoseist map of the earthquake region for 03 February 2002 event is made. Secondly, the location of the origin of 03 February 2002 (09:11:28am, $M_d=6.0$, $M_w=6.5$) Earthquake is estimated. In this effect, it can be concluded that this event is a result of Akşehir Fault Zone and it is essential to name it as Çay (Afyon) Earthquake. Abundance of geothermal fluids sampled with respect to active faults in the region, sediments and altered deposits containing abundant underground water, and the construction of faulty and uncontrolled buildings are the main factors increasing the damage, hazard in earthquakes..

Key words: Isoseist map, macroseismic observation, earthquake risk, magnitude-frequency relation, exceedance probability, return period, Akşehir Fault Zone, graben

GİRİŞ

Batı Anadolu Graben sistemi ile Orta Anadolu Ova rejimi arasındaki geçiş bölgesinde (Şengör vd., 1985) bulunan Afyon ve Çevresi'nde, son yıllardaki depremlere 03.02.2002 tarihinde bir yenisi daha eklendi. 01 Ekim. 1995 ($M_b=6.0$) Dinar depremi sonrası, bölgedeki en büyük yersarsıntısı olan 03 Şubat 2002 (09:11:28; $M_d=6.0$, $M_w=6.5$) depremi,, Afyon il merkezinin güneydoğusunda yer alan Çay., Sultandağı, Bolvadin ilçe merkezleriyle, Eber, Maltepe, Kadıköy, Çobanlar gibi yerleşim alanlarında can ve mal kayıplarına neden olmuş doğal bir olaydır. Depremin gündüz saatine rastlaması, oluşabilecek daha büyük zararları önleyici nedenlerdendir.

Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden oluşan bir ekip, 05.02:2002 günü deprem bölgesine giderek arazide makrosismik gözlemler yapmış ve elde edilen bilgilerden, deprem bölgesine ait eşşiddet haritası hazırlanmıştır. Arazi göz-

lemleri sırasında, doğrultuları birbirinden farklı olan 3 yüzey kırığına rastlandı. Bu kırıklardan birisi Çay ilçesinde diğer ikisi ise Maltepe ve Kadıköy yerleşim alanlarındadır.. Yüzey kırıklarında çok net atımlar belirlenmemektedir... Sadece,, Çay ilçe merkezinin Sultandağları eteklerinde izlenen, kırık hatında 16-25 cm görünür düşey atım ile Maltepe yerleşim alanında 10 em görünür düşey atım ölçülmüştür. Bu ölçümlerde, zeminin yumuşak ve karia kaplı olması, çalışmaların olumsuz etkenleridir (Akçığ vd., 2002).

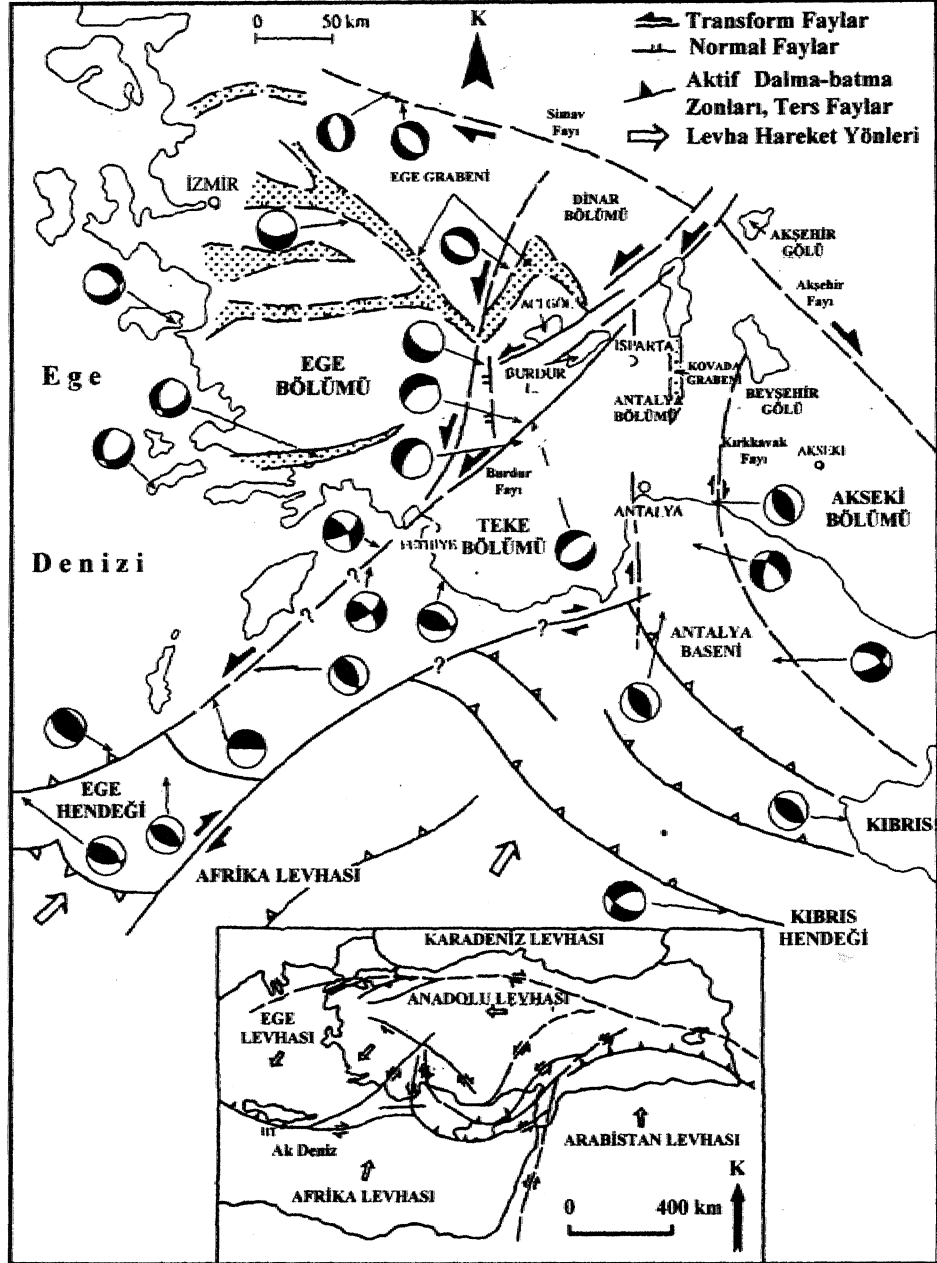
Depremin bu bölgede, 43 can 'kaybına, 300'ün üzerinde yaralıya,, 1000'in üzerinde tam ve yan hasarlı yapıların söz konusu olduğu büyük mal kayıplarına sebebiyet verdiği, yerinde yapılan gözlemlerden anlaşılmaktadır. Aynı gözlemlerden,, en çok hasarın, zemin sorunlarından, dolayısıyla, yanlış yer seçimlerinden, hatalı ve denetimsiz yapı üretimlerinden kaynaklandığı, bölge halkının yaşam şekli ve gelir düzeyinin de bu sonuçta belirleyici olduğu ortaya çıkmaktadır.(Akçığ vd, 2002),..

AFYON ve ÇEVRESİ'nin JEOLojİSİ ve TEKTONİĞİ

Ketin (1966)'ın Anadolu'nun, tektonik bir-likleri sınıflamasına göre Anatolidler içinde

yer alan Afyon Bölgesi, Analolidlerin güneyinde Toridlerin sınırındadır. Bölgede, eğim alımlı normal fay karakteristiği baskın olup, kırık zonları genelde KD-GB¹ ve KB-GD doğrultusunda, Neojen sonu ve/veya sonrası yaşlıdır (Yağmurlu ve diğ., 1997; Şekil-1). Sıcak su kaynak ve kaplıcaları yönünden oldukça zengin olan bölgede; Paleozoyik yaşlı kuvarsit, kalker, kristalize kireçtaşı, ve kalkerlerle Neojen konglomera, kumtaşı, kireçtaşı kaya birimleri ve yöredeki türn fay zonları rezervuar kaya niteliğindedir (Erişen ve diğ., 1996).

.Keller (1983)'e göre bir kıta içi volkanizma olan Afyon volkanizması, geç Tersiyerde Arap-Plakası ile Anadolu levhasının, birbirleriyle çarpışması ve Arap-Afrika



Şekil-1. Güneybatı Anadolu ve yakın çevresinin ana tektonik birimleri (Yağmurlu ve diğ., 1997'den düzenlenmiştir.).

¹ Yönler; K (kuzey), G (güney), B (batı) ve D (doğu) sembollerleriyle gösterilmektedir.

Figure-1 The major tectonics of southwest Anatolian and its near-surroundings (modified from Yağmurlu et al 1997).,

levhasının Anadolu levhası, altına dalması sonucu gelişen, Akdeniz kıvrım kuşağını takip eden Neojen yaşlı volkanizmanın ürünleridir., Öztürk ve Öztürk (1989); Geç Kretase'den sonra Batı Anadolu'nun K-G sıkışması sonucu, kabuk kalınlaşması olduğu ve bu nedenle kısmi ergimeye uğrayarak, olası K-G ve/veya D-B yönlü açılma çatlakları boyunca geç Miyosen-Pliyosen bazındaki volkanizmayı oluşturduğu sonucuna varmışlardır. Batı Anadolu'nun K-G sıkışmasını takip eden evrede meydana gelen D-B doğrultulardaki faylanmalara bağlı olarak volkanik kayalar yüzeye ulaşmışlardır (Çevikbaş ve diğ., 1988).

Besang ve diğ. (1977), Afyon volkanitlerinin yaşını 8-14 milyon yıl olarak vermişlerdir. Ayrıca Toros kuşağındaki maksimum sıkışma, ile meydana gelen hareket periyodunun batı Anadolu'daki andezitik volkanizmanın genel periyodu, ile aynı yaşta olduğunu savunmakta ve Afyon volkanizmasının da bu zaman dilimi içerisinde oluştuğunu belirtmektedirler.

Tatlı (1973), geniş bir alanı kaplayan Paleozoyik metamorfik şist, kalker ve şistleri içeren Devoniyen ve Penno-Karbonifer kayaları, Afyon Bölgesinde "Afyon Paleozoyik Grubu" olarak tanımlamaktadır., Bölgenin Alpin Orojenezinden oldukça etkilendiğini., ancak Hersiniyen örojenezine ait olabilecek kıvrımlar saptadığını kaydetmektedir. Alt sınırı gözlenemeyen Afyon Paleozoyik Grubu; üstte,, Neojen sedimentleri ve tülilerle sınırlanmakta olup, Afyon Bölgesinde özellikle Sultan dağlarında geniş alanlar kaplamaktadır (Sun, 1979),

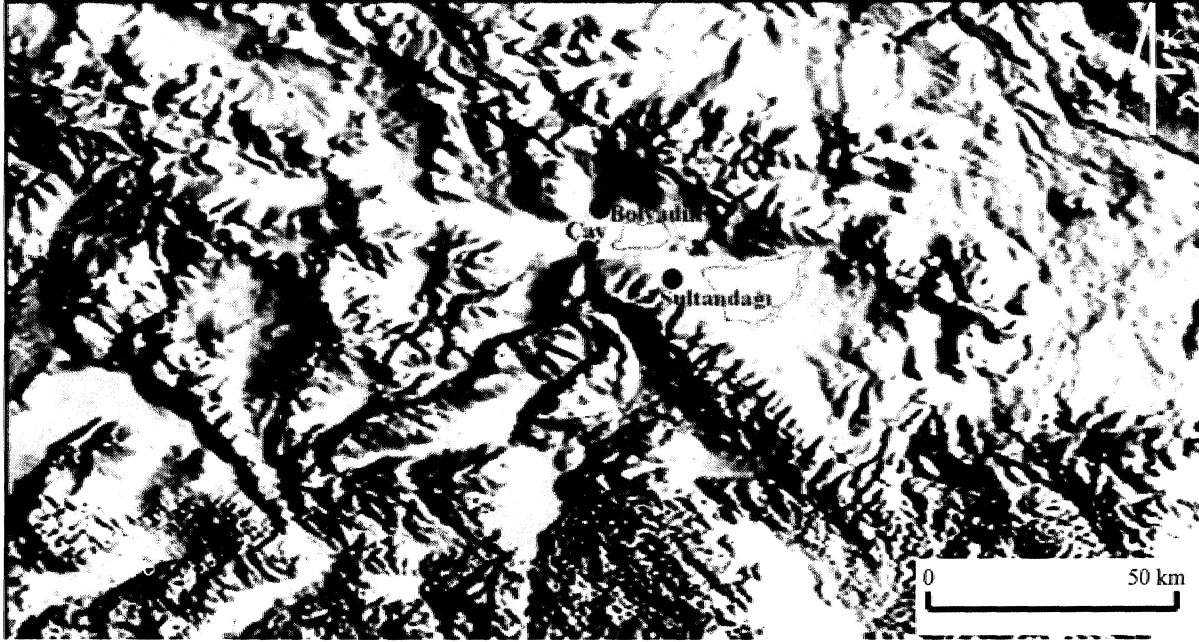
Bölgedeki en yaşlı jeolojik birim, epizonal rejyonel metamorfizmaya uğramış,,

grovak serilerinden oluşan şist ve bu şistlerin üzerine, yer yer şistlerle ara geçiş gösteren,, kalker ve mermerlerdir. Colin (1955), şistlerin Devoniyen yaşlı olduğunu ve bu yaşın da metamorfizmadan daha sonra olduğunu, belirtmektedir. Bölgede; Mesozoyik sonunda Tersiyer başında,, tektonik bir yükselme olduğu ve volkanik faaliyetlerin bu hareketler sırasında geliştiği düşünülmektedir.

03 Şubat 2002 depremini yaratan Sultan dağı fay zonu ve Sultandağı silsilesi,, ana özelliklerini Orta Eosen" de sıkıştırma tektonik fazı ile kazanmıştır., Silsilenin kuzey yamacı, üst üste binmiş tektonik dilimlerin, yığılmasından oluşmuştur. Daha sonra, olasılıkla Oligosen-Erken Miyosen'de etkili olmuş olan, K-G yönlü bir sıkışma fazı KD-GB ve KB-GD eşlenik makaslama kırıklarının gelişmesine yol açmıştır. Üst Miyosen-Pliyosen havzaları, egemen olan bir genişleme tektoniği sürecinde,, zayıflık düzlemleri oluşturan, söz konusu makaslama kırıkları boyunca, meydana gelen çökmeler ile gelişmiştir. Sultandağı silsilesinin kuzeydoğusundaki ovalık kesim de benzer bir mekanizma ile çökerek gelişmiştir (Arpat ve diğ., 2002). Yeni arazi gözlemleri ile yeni sismik verilere göre bölgeye damgasını vuran Akşehir-Afyon grabeninin güneybatı kenarını sınırlayan fayın, aktif bir açılma tektoniğini karakterize eden verev atınıh bir normal fay olduğu kanıtlanmıştır (Koçyiğit ve Özacar, 2003). Geç Miyosen-Pliyosen'de yeniden etkinlik kazanmış nitelikteki,, bu tür faylar bölgede yaygındır. Bu kökene sahip faylar, silsilenin iç kesimlerinde bile görülmektedir. Şekil-2'de verilen topografik rölyef haritasında da bu doğrusal yapılar açık bir şekilde görülmektedir. Bu fayların pek çoğu, Kuvaterner'de etkinliğini yitirmiştir. Ancak,

Sultaedağı silsilesinin, kuzeydoğu yamacı boyunca yer almakta olan üçgen-yüzeyle bu

fayların, bir bölümünün Kuvaterner'de de etkin olmuş olduklarını göstermektedir.



Şekil-2. 03 Şubat 2002 (09:11:28, $M_d=6.0$ KANDİLLİ, $M_w=6.5$ USGS) depremine ait dışmerkez ve çevresinin uzay görüntüsü <http://www.koeri.boun.edu.tr>.

Figure-2. The space image of epicenter and its surroundings concerning the 03 February 2002 (09:11:28, $M_d=6.0$ KANDİLLİ, $M_w=6.5$ USGS) earthquake <http://www.koeri.boun.edu.tr>.

Afyon ve Çevresi'nin Deprem Özellikleri

Bir deprem, ülkesi olan Türkiye, 03 Şubat 2002 tarihinde yerel saatle 09¹¹'de Afyon'da kendisini bir kez daha tanıdı. Sonunda 43 ölü, 320 yaralı ve 5000'in üzerinde yapı hasarı içeren, önemli mal kayıpları bırakan orta büyüklükte bir depremdi. Değişik yöntemlere göre büyüklüğü 6.0 ile 6.5 arasında hesaplanan ve düşey hareketin egemen, olduğu, 03 Şubat 2002 Çay depremi ($M_d=6.0$, $M_w=6.5$) idi bu olayın adı. Aynı gün bu ana şoku, yerel saatle 11²⁶, 13³⁹ ve 13⁵⁴'de, büyüklükleri (M_d) sırasıyla 5.3, 5.1, 5.0' olan üç art sarsıntı ve /00'ü aşkın diğer art sarsıntılar izledi. Şekil-3, söz konusu ana şok ile 03.02.2002-05.02.2002 tarihleri arasındaki art sarsıntı-

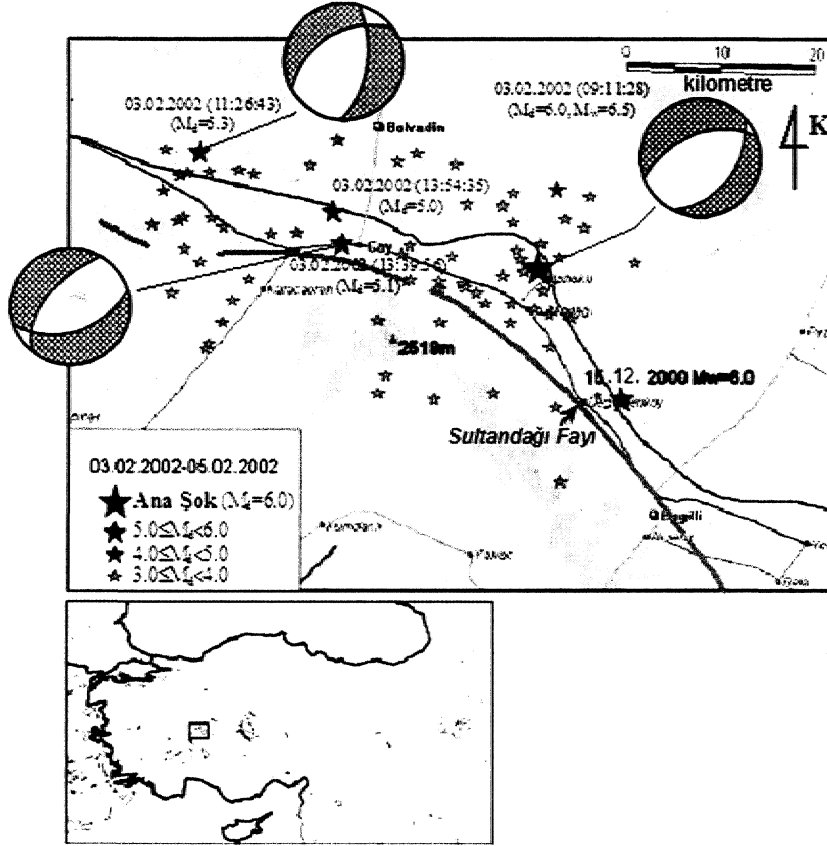
ların merkezüstleri (episantr) dağılımını gösterir... 12 Mart 2002 tarihi itibarıyla en az 4.0 büyüklüklü ($M \geq 4.0$) art sarsıntılarının sayısı ise 8'e ulaştı. Oluşum sırasına göre bunlar (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Veri Bankası'ndan):

- 01.03.2002 (13:47:55, $M_d=4.2$),
- 21.02.2002 (20:39:53, $M_d=4.2$),
- 21.02.2002 (20:04:06, $M_d=4.2$),
- 17.02.2002 (08:23:23, $M_d=4.1$),
- 03.02.2002 (16:40:55, $M_d=4.1$),
- 03.02.2002 (13:54:35, $M_d=5.0$),
- 03.02.2002 (13:39:56, $M < 5.1$),
- 03.02.2002 (11:26:43, $M_d=5.3$).

Yani, 03 Şubat 2002 09:11:28'de bozulan bu bölgedeki Yeraltı düzeni, jeolojik zaman ola-

rak çok-çok kısa süreli olan fakat sosyal yaşam olarak uzun denilebilecek bir zaman sürecindeki kalıcı düzenini., halen almaya çalış-

yor.. Yer'in heterojen oluşunun bir sonucu olan bu durum, her deprem sonrasındaki. Yer davranışının doğal bir gereğidir..



Şekil-3.03 Şubat 2002 Çay depremi (09:11:28, $M_w=6.0, M_s=6.5$) ve art sarsıntılarının dış merkez (episanfir) dağılım haritası* (<http://Annv.koeri.boun.edu.tr>)' den değiştirilerek hazırlanmıştır. Fay düzlemi çözümleri USGS çözümleridir. Mekanizma diyagramlarındaki koyu bölgeler sıkışma, açık bölgeler genişleme bölgeleri olup Wulf alt yarımküre çizimleridir.

Figure-3. Distribution of epicenter of the main shock and aftershocks of the 03 February 2002 (09:11:28, $M_w=6.0, M_s=6.5$) earthquake (modified from <http://annv.koeri.boun.edu.tr>). Fault plane solutions is the from USGS.. Dark quadrants in the mechanism diagrams correspond to the compressional areas in the free surface., The representations are lower hemisphere,, equal-area projections on the focal sphere.

Afyon ve Çevresi'nin Sismo tektoniği

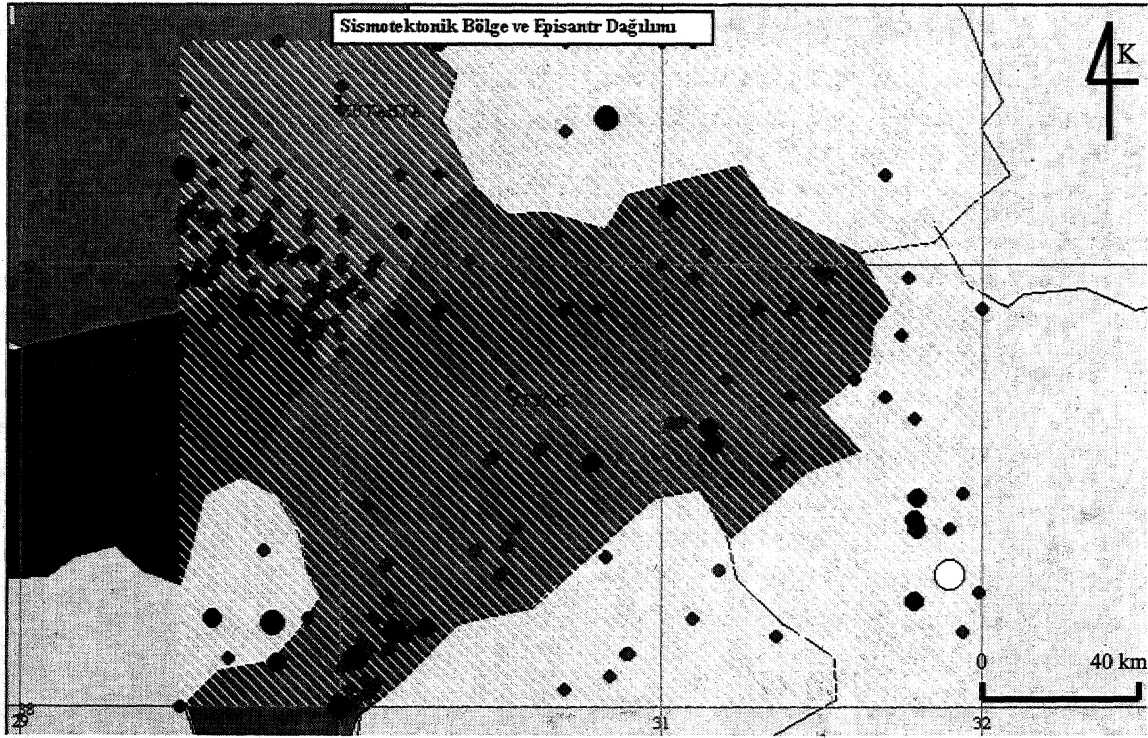
Bölgenin sismotektoniğini, 03.02.2002 (09:11:28) depremi rejimi yönünden bakacak olursak, gerek anaşok gerekse art: sarsıntılarının fay düzlemi çözümlerinden, bu rejimle gelişen yeni kırık doğrultusunun Sultandağı Fayı'nın bilinen doğrultusu ile pek uyumlu olmadığı görülür. Çünkü, USGS tarafından verilen fay yönelim parametreleri; 03.02.2002 (09:11:28) anaşoku için $\theta_1=53^\circ$, $\theta_1=39^\circ$, $A_1=406702=254^\circ$, $\theta_2=53^\circ$, $\theta_2=-78^\circ$ olarak, 03.02..2002 (11:26:43) art sarsıntısı için $\theta_1=236^\circ$, $\theta_1=45^\circ$, $X_1=-58702=15^\circ$, $\theta_2=53^\circ$, $X_2=-118^\circ$ olarak,, 03.02.2002 (13:39:56) art sarsıntısı için $\theta_1=76^\circ$, $S_1=43^\circ$,

$JL_1=-70^\circ / \theta_2=229^\circ$, $\theta_2=50^\circ$, $X_2=-108^\circ$ olarak verilmektedir. θ_1 , fay doğrultunu; θ_2 , fay düzleminin eğimini; X , kayma açısını gösterir. Söz konusu çözümlere ait mekanizma diyagramları Şekil-3'de verilmektedir. Bu diyagramlardan anlaşılmaktadır ki Sultandağı Fayı'nın tek bir kırık olmayıp bir zon olabileceği kuvvetle muhtemeldir. Bir başka deyişle bu, KD-GB ve DKD-BGB yönelimli normal, faylanmalar İçeren bir zondur. Anaşok ile ilgili USGS tarafından verilen çözümlerin içinde de anılan doğrultular vardır.

Afyon ve Çevresi'ni,, $38.00^\circ-39.50^\circ K$ enlemleri ve $29.50^\circ-32.00^\circ D$ boylamlarının

sınırladığı bir coğrafik bölge olarak tanımlamak, Afyon şehir merkezini ve yakın ilçelerini tehdidi altında bulduran yakın tektonik sistemlerin etkisini göz önüne almak demektir. Bunlar; Gediz Çöküntü sistemi, Dinar¹ Fay sistemi ve Akşehir Fay (Koçyiğit, 1984; Koçyiğit ve diğ., 2000) sistemidir. Şekil-4, bu kırık güzergâhlarını, tarihsel (1900 yılı öncesi) ve aletsel dönem. (1900-2001) depremlerinin dışmerkez (episantr) kümelenmeleri olarak, göstermektedir. Yaklaşık 200 milyon yıl (Jura) öncesinden günümüze kadar değişen yaşlardaki malzemeyle oluşmuş olan bu bölge, Türkiye tektoniğini meydana getiren bileşenlerden olan Batı Anadolu

Çöküntü sistemi ile Orta Anadolu Ova rejiminin, karşı karşıya geldiği bir konumdadır.. Yani, bir *geçiş* bölgesinde bulunmaktadır., Akşehir Fay Zonu,, bu bölgedeki tektonizmayı yönlendiren önemli mekanizmalardan biridir (Koçyiğit, 1984; Koçyiğit ve diğ., 2000). BKB-DGD yada DKD-BGB uzanımlı bu sistem, toplam 420 km uzunluğunda olup Konya-Balıkesir (Savaştepe) arasında uzanır., Bu zonda meydana gelen en son depremlerin. (15 Aralık 2000., 03 Şubat 2002) fay düzlemi çözümleri ve arazi gözlemleri, bir genişleme rejiminin, delilleri olan normal faylanma bileşeni baskın kırılmalarla meydana geldiklerini gösterir..



Şekil-4. Afyon ve Çevresi depremlerinin ($M \geq 4.0$) 1875(daha öncesinde veri yok !)-31.12.2001 tarihleri arasındaki dışmerkez (episantr) dağılım haritası. San noktalar en az 7.0, kırmızı noktalar en az 6.0., mavi noktalar en az 5.0, mor noktalar en az 4.0 büyüklüklü depremleri gösterir. Taralı bölge inceleme alanını belirtir.

Figure-4. Epicentral distribution of Afyon and its surroundings for earthquakes with magnitude least 4.0 in period 1875-31.12.2001. Hatched area illustrates the region of interest. Yellow, red, blue and purple solid circles shows the earthquakes with magnitude least 7.0, 6.0, 5.0 and 4.0, respectively. Dark squares are the city centers.

Afyon ve Çevresi'nin Deprem. Riski

Amaliz Yöntemi

Tarihsel depremler gibi yalnız şiddet değeri bilinen depremlerin büyüklük değerleri. Utku ve Özyalın (2001, 2002) tarafından önerilen.

$$M_s = 1.324 + 0.602 I_o \quad (1)$$

eşitliğinden hesaplanır. M_s yüzey dalgası büyüdüğünü, I_o hasar merkezindeki şiddeti gösterir., *Türkiye büyüklük-şiddet denklemi olan (1) denklemi, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem. Araştırma Enstitüsü veri bankasının 1900-2000 yılları arasındaki en az 5.0 (M_s) büyüklükle ve makrosismik gözlemleri de yapılmış Türkiye depremlerine dayanır.*

Bir bölge için deprem bilgisiyle bölgenin tektonizmasını ilişkilendirmede kullanılan bulgulardan biri *büyüklik-frekans* ilişkisidir. İncelenen sismotektonik bölge için bu ilişki kurulurken, ilk olarak. Gutenberg ve Richter (1942., 1944) tarafından önerilen,

$$\log N = a - bM \quad (2)$$

denklemi kullanılır.. N deprem oluş sayısını, M deprem *büyükliğini* gösterir, a ve b sabitlerdir., Deprem oluş sayısı (N) en az M ($>M$) büyüklüktü yıllık sayıyı ifade eder.

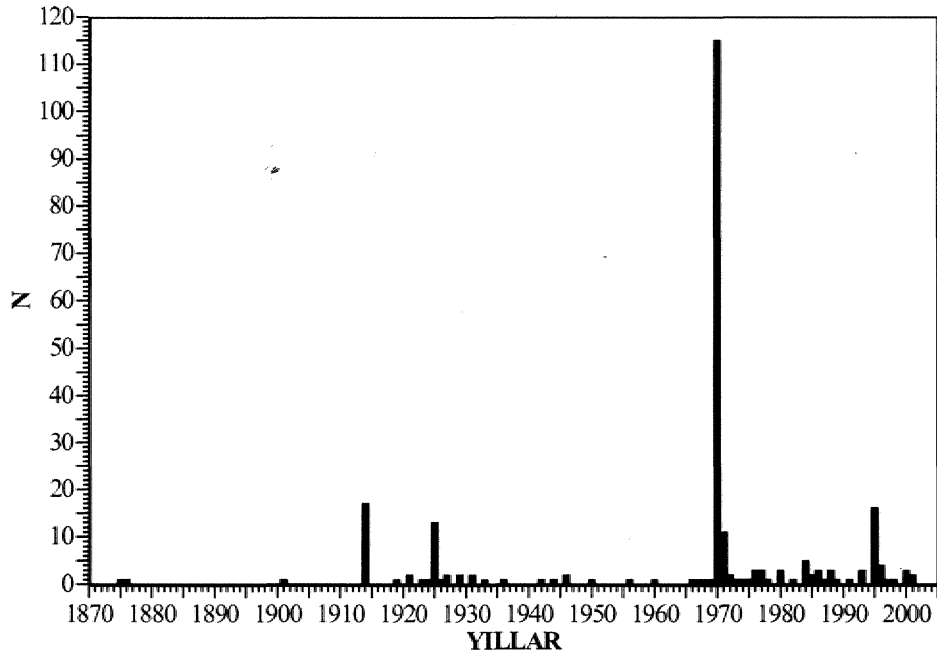
Risk analizi bir dizi olasılık hesaplamalarından oluşur., Analizi yapılan gözlemsel veri dağılımının istatistik anlamı için,

$G(M) = \exp[-a \cdot \exp(-\beta \cdot M)]$, $M > 0$ * (3) denklemiyle tanımlanan 1. tip Gumbel uç değerler dağılımı kullanılır (Gumbel, 1958). a ve β Gumbel regresyon katsayılarıdır.

Deprem Risk Analizi

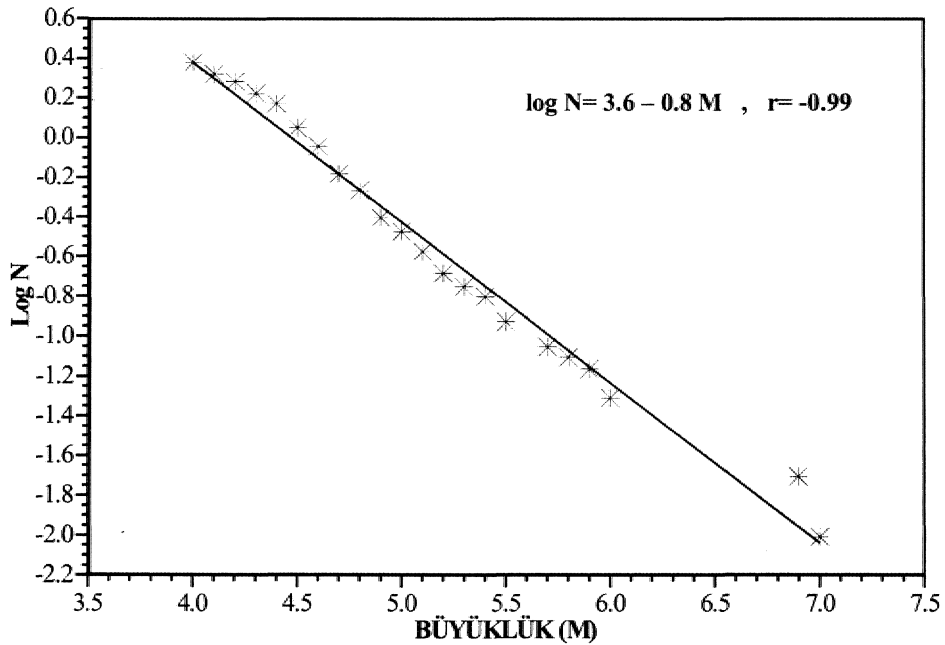
Deprem risk analizindeki *deprem verisine* dayalı tüm analiz ve değerlendirmeler, *Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü*, 'nün veri bankasının, en az 4.0 büyüklüklü ($M > 4.0$) deprem verisine dayanmaktadır. Buna göre sözkonusu coğrafik sınırlar içinde, ancak 1875'den itibaren depremlerle ilişki kurulabilmektedir. Bir başka deyişle bölge ile ilgili tarihsel deprem kaydı pek kıttır. Bunlar 1875 ve 1876 yıllarındaki IX şiddetli (-6.9 büyüklüklü²) depremlerdir... En az 6.0 büyüklüklü aletsel dönem depremleri ise 1914 ($M=6.0$), 1931 ($M=7.0$), 1933 ($M=6.0$), 1970 ($M=6.0$), 1995 ($M=6.0$), 2000' ($M_w=6.0$) yıllarında gerçekleşmiştir¹. Böylece, sismolojinin elindeki kayıtlarda 03 Şubat 2002 (09¹¹, $M_d=6.0$ KANDİLLİ, $M_w=6.5$ USGS) depremine kadar en az 6.0 büyüklüklü., 8 depremin olduğu anlaşılmaktadır., Tüm bu süreçte (127 yıl) bu bölgede meydana gelen en az 4.0 büyüklüklü deprem sayısı 2.52'dir., Şekil-5, tarihsel ve aletsel dönem için. bölgedeki deprem oluş sayısının yıllara göre değişimini gösterir, Sözkonusu verinin hemen-hemen tamamını aletsel dönem yani 1900-2001 yılları arası oluşturmaktadır. En yüksek aktivite 1970 yılında 115 depremle gerçekleşmiştir. Bunu., 1914'deki 17., 1995'deki 16, 1925'deki 13 ve 1971'deki 11 depremlik sismik etkinlikler izlemektedir. Şekil-6,7,8 ise sırasıyla bölgedeki büyüklük-frekans ilişkisini., bölgede meydana gelebilecek muhtemel depremlerin belli sürelerdeki aşılma olasılıklarını ve dönüş periyotlarını verir.

² Türkiye *büyüklik-şiddet* denkleminde hesaplanan büyüklüktür (Utku ve Özyalın; 2001, 2002).



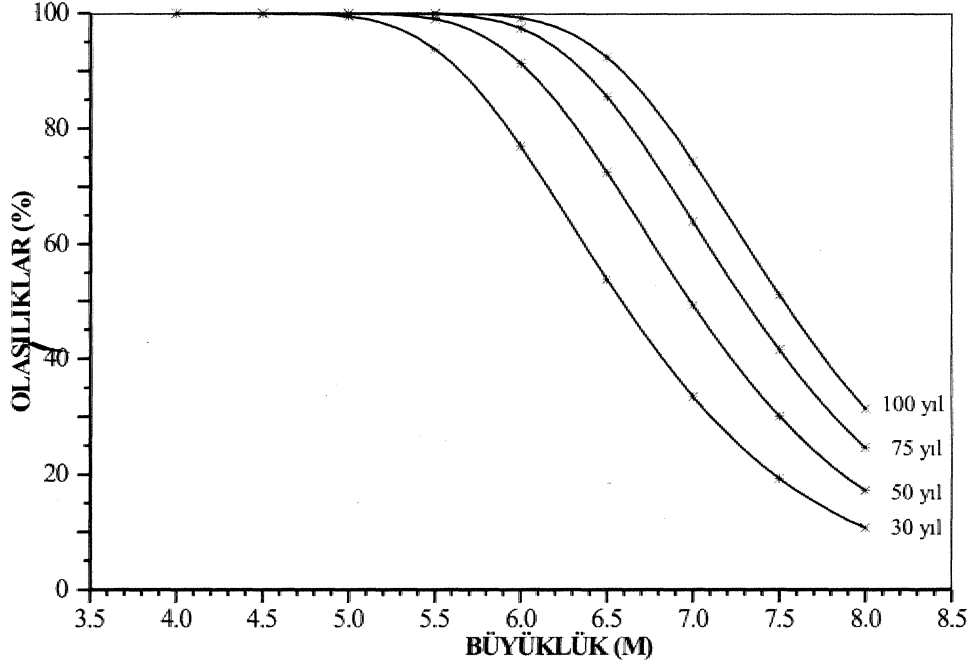
Şekil-5. Afyon ve Çevresi depremlerinin ($M \geq 4.0$) 1875(daha öncesinde veri yok!)-31.12.2001 periyodunda, yıllara göre oluş sayıları. N deprem oluş sayılarıdır.

Figure-5. Distribution of the occurrence numbers versus the years concerning earthquakes ($M \geq 4.0$) occurred in the period 1875-31.12.2001 for Afyon and its surroundings. N is the number of earthquakes $\geq M$.



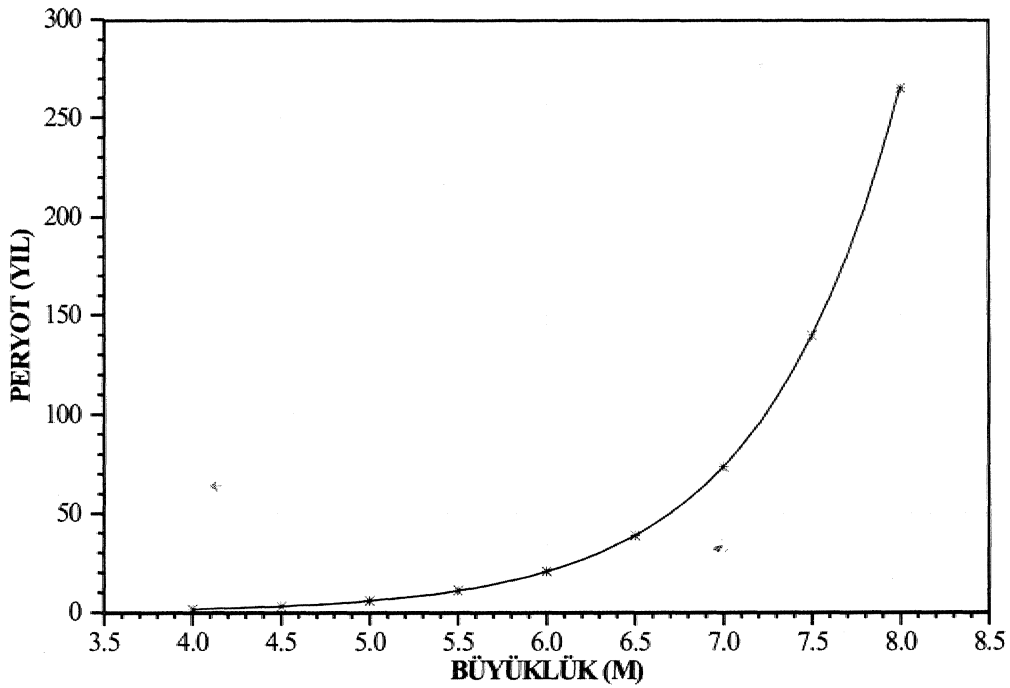
Şekil-6. Afyon ve Çevresi için büyüklük-frekans ilişkisi. N deprem oluş sayısını, M deprem büyüklüğünü, r ilişki katsayısını gösterir.

Figure-6. Magnitude-frequency relation for Afyon and its surroundings. N shows the number of events $\geq M$. M is magnitude. r indicates the correlation coefficient.



Şekil-7. Afyon ve Çevresi için olası deprem büyüklüklerinin belli sürelerdeki (30, 50, 75, 100 yıl) aşılma olasılıklarının değişimi.

Figure-7. The exceedance probabilities of the probable magnitudes in Afyon and its surroundings for building lifetimes of years 30, 50, 75 and 100.



Şekil-8. Afyon ve Çevresi için olası deprem büyüklüklerinin dönüş periyotları değişimi.

Figure-8. Return periods of the probable magnitudes for Afyon and its surroundings.

Tüm bu değerlendirmelerin ışığında, Afyon ve çevresi'ni karakterize eden depremsellik özellikleri şöyledir:

1. Afyon ve çevresi'nde eji ÖZ 4,0 büyüklüklü depremlere göre oluş periyodu ~5 ay"dır.
2. Şekil-6'deki *büyüklik-frekans* ilişkisinden ($\log N = 3.6 - 0.8 M$, $r = -0.99$), Afyon ve çevresi'nin deprem, yönünden hem aktif hem de .hasar riski **yüksek** bir bölge olduğu görülmektedir.
3. Şekil-7'den, 6.0 büyüklüğündeki bir depremin 30 yıllık sürede gerçekleşme olasılığı %78, *50 yıllık hır sürede %90* civarındadır. 7.0 büyüklüğü için bu değerler sırasıyla aynı süreler için %35 ve %,50 olarak hesaplanmaktadır.
4. Şekil-8'den, 6.0 büyüklüğündeki bir depremin 20 yılda bir tekrarlayabileceği,, 7.0 büyüklüğündeki bir depremin tekrarlanma süresinin ise 72 yıl ..olduğu, görülmektedir.
5. *100 yılda*, bu bölgede meydana gelebilecek maksimum büyüklük 7,3 olarak hesaplanmaktadır.
- 6., Sözkonusu koordinatlarla tanımlı olan Afyon ve Çevresi,, *Deprem Bölgeleri Haritası* 'nda I. ve II. derece deprem, bölgesi. olarak yer almakla beraber, en son. 03 Şubat 2002 (09:11:28, $M_w = 6.5$) aktivite rejiminde de görüldüğü gibi Akşehir Fay Zonu'nun deprem, etkinliğinin önemli tehdidi altındadır.,

Bu anlamda bölge 7.0-7.3 arasmda. depremler yaşayabilecek, bir deprem potansiyeline sahiptir., Özellikle yerleşim alanlarının ve nüfusun büyük bir bölümünün, gevşek

sulu tortullardan oluşan •yerlerde bulunması,, Afyon ve Çevresi için bir deprem, sırasında zemin **büyütmesi faktörünün önemli** olduğu bir bölge karakteri sergilemektedir. Dolayısıyla bölgede yer ivmesi $0,2^{TM}1,5g$ arasında değişebilecektir (Ercan, 2000). Yer salınım periyodu ise 0.2-3.0 sn arasında beklenmelidir (Ercan, 2000),

03 ŞUBAT 2002 DEPREMİ

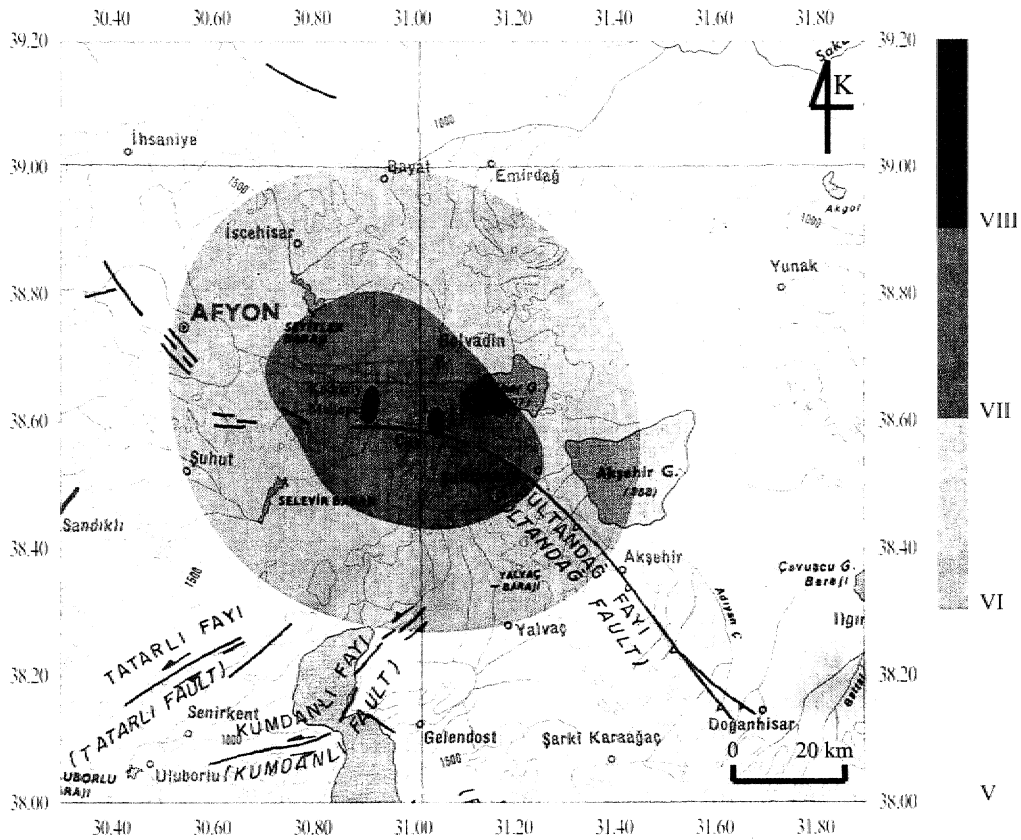
Afyon ili sınırları içinde 03 Şubat 2002 tarihinde yerel saat ile 09¹¹'de meydana gelen deprem, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından, $M_d = 6.0$ büyüklüğünde ve merkezüssü Eber Gölü. güneyi olarak kamuoyuna açıklandı., USGS tarafından da büyüklüğü. $M_w = 6J$ olarak verilen bu. depremin ağır hasar yaptığı,, görsel medyanın ilk haberleri arasında geçildi. Ana şokun ardından, aynı gün büyüklükleri $M_d = 5.3(11^{26})$, $M_d = 5.1(13^{39})$ ve $M_d = 5.0(13^{34})$ olan 3 orta büyüklükte ve pek çoğu da küçük art sarsıntılar oluştu, Ana şok ve art: sarsıntılarının dışmerkez dağılımları Şekil-3'de görülmektedir.

Makrosismik Gözlemler

DEÜ Mühendislik Fakültesi. îeofizik Mühendisliği Bölümü araştırma ekibi, 05/02/2002 tarihi sabahı deprem, bölgesinde idi. Bölgedeki çalışmalarını 2 günde tamamlayan ekip tarafından yapılan makrosismik gözlemler sırasında,, en yüksek hasarın Çay .. ilçesi, ile Eber, Maltepe ve Kadıköy yerleşimlerinde olduğu, Sultandağı ve Bolvadin ilçelerinde de yer-yer önemli hasarların yaşandığı görüldü. Sözkonusu makrosismik gözlemlerden, Medvedev-Sponheur-Karnik (MSK) şiddet cetveline göre hazırlanan ve bölgenin

aktif tektoniği (Şaroğlu ve diğ., 1992) ile birleştirilen eşşiddet haritası, Şekil-9 ve Şekil-10'da verilmektedir. Eşşiddet haritalarındaki VIII şiddetindeki bölgeler (Şekil-9, Şekil-10), Şekil-3'deki mekanizma diyagramlarıyla uyumludur. Çay ilçesindeki Sanayi Sitesi ile Konut Yapı Kooperatifi, yüksek hasarın en önemli saha bulguları idi. Resim-1,2 Konut yapı Kooperatifi inşaatını, Resim-3 Bolvadin Çarşı Camii, Resim-4 Konut Yapı Kooperatifi inşaatındaki *imalât hatasını* sergileyen hasar görüntülerini sergilemektedir. Çay, Maltepe ve Kadıköy'de izlenen yüzey kırık-

ları ise depremdeki mekanizmanın önemli delilleri olarak izlendi. Bunlardan Çay ilçesinde görülen yüzey kırığının, (38,59°K, 31.03°D) koordinatında K70D doğrultusunda olduğu saptandı (Şekil-10., K1 noktası), Çay kırığındaki bu yönelim, ana şokun fay düzlemi çözümleriyle iyi bir uyum göstermektedir. Bu kırığın değişik noktalarında 16-25 cm arasında düşey atımlar ölçüldü. Maltepe ve Kadıköy yerleşimlerinde bulunan kırıklar¹ üzerindeki K2 ve K3 noktalarında da sırasıyla. K1 OD ve K25D doğrultulan saptandı (Şekil-10).



"Şekil-9. Afyon ve Çevresinin 03 Şubat 2002 deprem rejimindeki eşşiddet haritası (MSK)/* ile gösterilen I ve II noktaları, sırasıyla, Konut Yapı Kooperatifi ve Çay Sanayi Sitesi'nin bulunduğu yerlerdir. Aktif tektonik, Şaroğlu ve diğ.(1992)Mendir.

Figure-9. The isoseist map (MSK) of Afyon and its surroundings in the 03 February 2002 earthquake regime., The I and II locations marked with * shows the Building Cooperative and the industries site of Çay., respectively. Active tectonics are from Şaroğlu et al. (1992).,



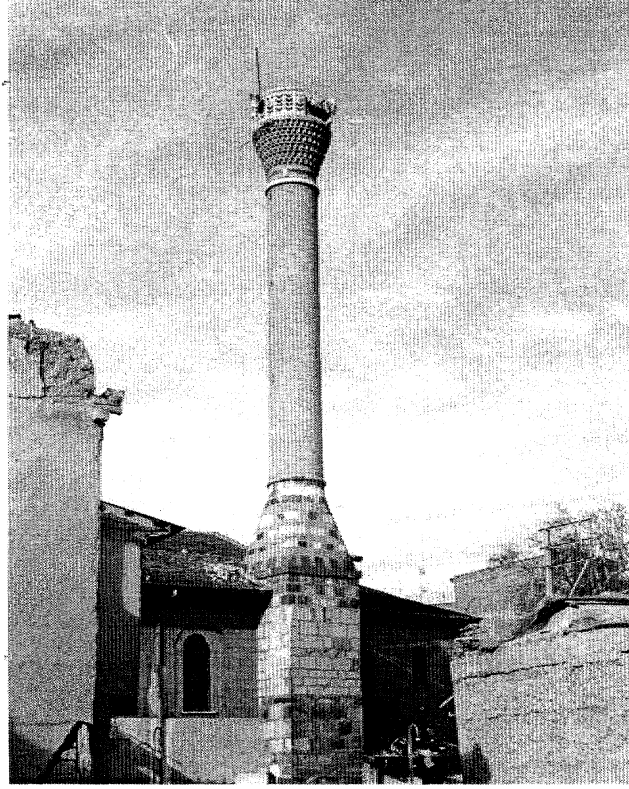
Resim-1. Konut Yapı Kooperatifi inşaatından hasar görüntüsü.

Photo-1. A damage view from construction of Building Cooperative after the 03 February 2002 Çay Earthquake:



Resim-2. Konut Yapı Kooperatifi inşaatından hasar görüntüsü.. 3 katı yerine çökmüş bir bina...

Photo-2. A damage view front construction of Building Cooperative. The building collapsed towards underground the 3 stories during the 03 February 2002 Çay Earthquake.



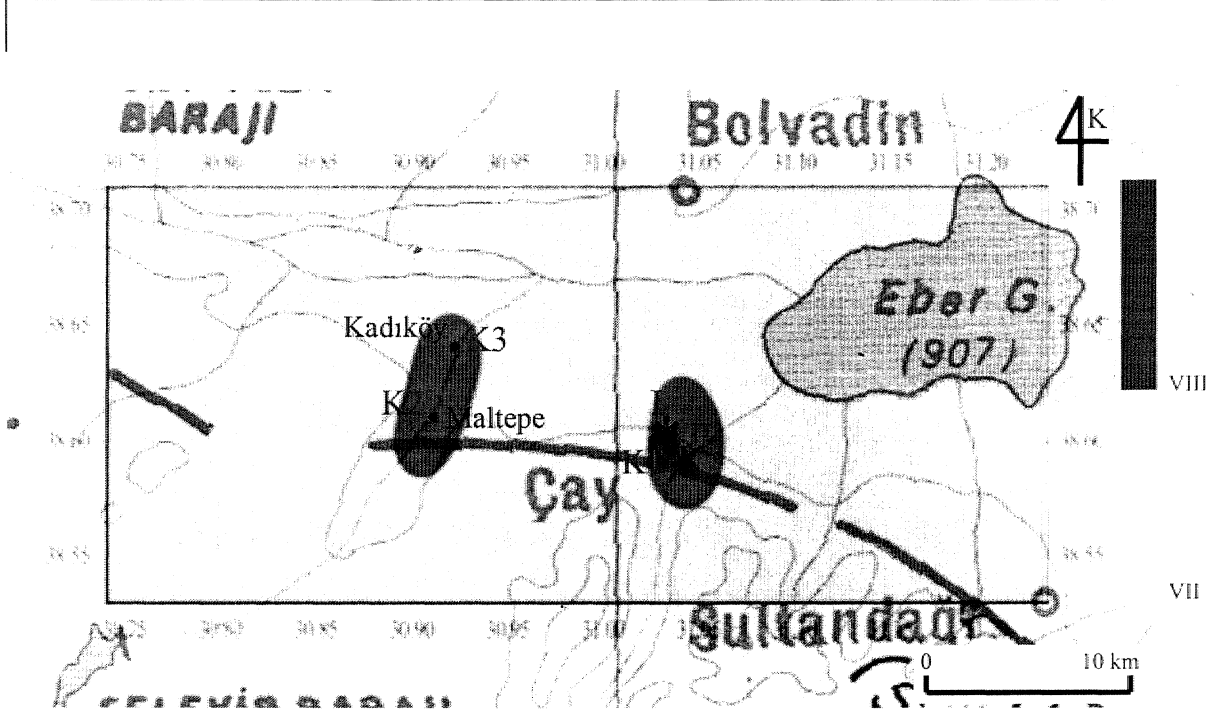
Resim-3. 03 Şubat 2002 Çay depremi sonrası Bolvadin Çarşı Camii *nden hasar görüntüsü.

Photo-3. A damage view from Bolvadin Çarşı Mosque after the 03 February 2002 Çay Earthquake.



Resim-4. Konut Yapı Kooperatifi inşaatı odaki imalât hatası görüntüsü.

Photo-4, A view of structure production error front Building Cooperative,,



Şekil-10. Çay ve yakın çevresinin 03 Şubat 2002 deprem rejimindeki eşsiddet haritası (MSK). K1, K2, K3 yüzey kırıklarının gözlemlendiği noktalar. * ile gösterilen I ve II noktaları, sırasıyla, Konut Yapı Kooperatifi ve Çay Sanayi Sitesi'nin bulunduğu yerlerdir. Aktif tektonik, Şaroğlu ve diğ. (1992)'dendir.

*Figure-10. The isoseist map (MSK) of Çay and its surroundings in the 03 February 2002 earthquake régime. K1, K2 and K3 are the locations of the surface ruptures. The I and II locations marked with * shows the Building Cooperative and the industries site of Çay, respectively. Active tectonics are from Şaroğlu et al. (1992).*

SONUÇ ve ÖNERİLER

1. Makrosismik gözlemler, fay düzlemi çözümleri ve art. sarsıntılarının dışmerkez dağılımlarının ışığında,, 03 Şubat 2002 tarihinde yerel saat ile 09:11:28'de meydana gelen deprem ($M_w=6.5$) ve izleyen rejim,, Akşehir Fay Zonu tarafından, üretilmiştir. Dolayısıyla, bu değerlendirmelere göre 03 Şubat 2002 (09:11:28, $M_w=6,5$) depremi, Çay (Afyon) Depremi olarak adlandırılır.,
2. En az 4.0 büyüklüklü depremlere göre bölgedeki deprem, oluş periyodu 5 ay" dır.
3. 5,5 büyüklüklü bir depremin yinelenme periyodu .12 yıl, gerçekleşme olasılığı 30 yılda %94 olarak hesaplanmaktadır (Şe-

kit-7,8).. 5.5 büyüklüğü, yöredeki yapılaşma sorunlarından dolayı bölge için hasar yapıcı deprem sınıfındandır. Dolayısıyla,, Afyon ve çevresi 5.5 büyüklüğüne her an hazır olmalıdır.

4. 7.0 büyüklüklü bir depremin yinelenme periyodu 72 yıl, 30 yıldaki gerçekleşme olasılığı %33 olarak hesaplanmaktadır (Şekil-7,,8).
- 5; 100' yılda bu bölgede meydana gelebilecek, maksimum, büyüklük 7.3 olarak hesaplanmaktadır.
6. Bölge aktiftir ve gelecekte de değişik, büyüklükte depremler yine olacaktır (Şekil-6).

- 7., Depremler sonrası karşılaşılan maddî ve manevî zararların, en önemli nedenleri; yanlış yer seçimi,, hatalı ve denetimsiz yapılaşmadır.,
8. Özellikle Çay Sanayi Bölgesi'nde ve Yeşilçay Konut Yapı **Kooperatifinde** görülen hasarlar, gerek ihale yasasındaki kaliteyi artırmaya yönelik iyileştirmelerin ve gerekse " zemine yönelik **Jeofizik-Jeolojik** araştırmaların vazgeçilemez olduklarının birer göstergesidir.
9. Özellikle tortul ve yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu alanlarda çok katlı yapılar için mutlaka zemin, projesi koşulu getirilmelidir. Bu konuda Yerel yönetimlere büyük sorumluluklar¹ düşmektedir.
10. Yapılardaki teknik sorumlu mühendisler/teknik elemanlar, yapıların *ekonomik ömürlerince* güvenliklerinden sorumlu tutulmalıdır.
11. Her il, ilçe ve gerekirse beldelerde Jeoloji Mühendisleri, Jeofizik Mühendisleri,, İnşaat Mühendisleri, Şehir Plânlamacıları ve Çevre Mühendisleri gibi teknik elemanların, ve gerekli diğer sivil toplum örgütlerinin katılımı ile Doğal Afet Kurulları oluşturulmalı ve işlevselliği sağlanmalıdır.,
12. Bir Ulusal Deprem **Ağı** ile Yerbilimle ilgili ülke çapındaki tüm kuruluşların güçleri birleştirilerek, plânlı stratejilerle, istenen sonuca daha çabuk ulaşma olanağı yaratılmalıdır.
13. Yerleşime yeni açılması düşünülen alanlarda, *mikro belgeleme* çalışmaları uy-

gun kurumlar tarafından *mutlaka*: yapılmalıdır.

- 14... Olası depremlere hazırlanmak, ve kayıpları azaltmak amacıyla, tehlikeli yapıların, yıkılması ve bu amaçlı kamulaştırmalar için *yerel yönetimlere tam yetki* verilmiştir.
- 15... Halka deprem bilimci kazandırmada kit- le iletişim araçları *etkin* olarak kullanılmalıdır.

Değinen Belgeler

- Akçığ, Z., Utku, M., Danışman, MA., Akyol, N., (2002), 03 Şubat 2002 Afyon-Çay Depremi Makrosismik Raporu, *Dokuz Eylül Üniversitesi*, 15 sayfa,, Izmir.
- Arpat, E., Aktar, M., Berece, E., Karabulut, H., Komut, T. ve Örgülü, G., (2002), 3 Şubat .2002 Sultandağı Depremi ön raporu. *Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Jeofizik Ânabilim Dalı*, İstanbul.
- Besang, C, Eckhardt, F.J., Harre, W. Freuzer, H. ve Muller, P., (1977), Radiometrische Altersbestimmungen aus dem Jungtentiär der Türki, *Geol J.*, 25, 139-167..
- Colin,, H.,(1955), Jeolojik Harita İzahnameleri (Afyonkarahisar 72/2 ve 72/4 paftaları), *MTA*, Rapor No: 2244, Ankara..
- Çevikbaş, A., Ercan, T. ve Metin,, S., (1988), Geology and Regional Distribution of Neogene Volcanics between Aiyon-Şuhut, *Jour. Pure and AppL Sei.*, METU, Ankara, 21/1-3, 479-499..
- Ercan, A., (2000), Türkiye Deprem Bölgelendirme Haritası, *Atlas Dergisi*, Sayı: 86, Mayıs-2000, No: 2000/5, Sayfa; 146-147,

- Erişen, EL, Akkuş, L, Uygur, K. ve Koçak, A., (1996), Türkiye Jeotermal Envanteri,, MTA, Ankara, p.480..
- Gumbel, E, J. (1958), Statistics „of Extrem.es., Columbia University Press, USA.,
- Gutenberg, B. ve Richter, C, F. (1942), Earthquake Magnitude., Intensity, Energy and Acceleration, *Bull SeismoL Soc Ant*, Vol. 32, No. 3, 163-191.,
- Gutenberg, B. ve Richter, C, F. (1944), Frequency of earthquakes in California, *Bull SeismoL Soc, Am.*, Vol., 34, 185-188.,
- Kandilli Rasathanesi ve Deprem. Araştırma Enstitüsü Veri Bankası, <http://www.koeri.boiiin.edu.tr>, Boğaziçi Üniversitesi İstanbul.
- Keller, J., (1983), Potassic Lavas in the Orogenic Volcanism of the Mediterranean Area, *Jour, Volcanology and Geothermal Research*, 18,, 321-335.
- Ketin, İ., (1966), Anadolu'nun Tektonik Birlikleri, *MTA Dergisi*, 53, Ankara,
- Koçyiğit, A., (1984).. Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim., *Türkiye Geo. Kur., Bulk*, 27, 1-16.
- Koçyiğit, A. ve Özacar, A.A., (2003), Extensional Neotectonic Regime through the NE Edge of the Outer İsparta Angle, SW Turkey: New Field and Seismic Data, *Turkish J. Earth ScL*, Vol.,12, No.,1, pp.67-90.
- Koçyiğit, A., Ünay,, E, ve Saraç, G., (2000), Episodic graben formation and extensional neotectonic regime in west Central Anatolia and the İsparta Angle; a case study in the Akşehir-Afyon Graben, Turkey,, In: Bozkurt, E., Winchester,, J.A., Piper, J.A.D. (eds), *Tectonics and Magmatism in Turkey and surrounding Area*, *Geol Soc. Spec: Publ*, 173,, 285-301.
- Öztürk, E.M, ve Öztük, Z., (1989), Balçıkhisar-Karadilli (Afyon)- Dereköy (İsparta) Dolayının Jeolojisi Raporu, (*yayınlanmamış*), MTA, 282-286, Ankara,
- Sun,, S., (1979), Gazlıgöl (Afyon) Yöresinin Jeoloji İncelemesi, Bitirme Projesi, *Ege Üniversitesi, Yerbilimleri Fakültesi., Jeoloji Mühendisliği*, 22 sayfa, İzmir..
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Kuşçu, L, (1992), Türkiye Diri Fay Haritası, *Maden Tetkik Arama, Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., and Şaroğlu, F., (1985), Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, Strike-Slip Deformation Basin Formation and sedimentation, *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, Spec. Publ.,No.37,pp.227-264.
- Tatlı, S., (1973), Afyon, Gazlıgöl-Susuz Alanının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji olanakları, MTA, Rapor no: 2900, Ankara.
- USGS (United States Geological Survey), <http://neic.usgs.gov>
- Utku, M., ve Özyalın, Ş., (2001), Yeni Q100: Deprem Risk Analizi Bilgisayar Yazılımı, //,, İzmir ve Çevresi'nin Deprem-Jeoteknik Sempozyumu (JEOTEKNIK-III), CD-ROM,, 5 sayfa, 12-14 Kasım 2001, İzmir.
- Utku, M., ve Özyalın, Ş., (2002), Teknolojik Anlamıyla Q100: Deprem Risk Analizi Bilgisayar Yazılımı, *Bilgi Teknolojileri Kongresi*, CD-ROM (8 sayfa), Bildiri Özetleri, sayfa 151-155,, 06-08 Mayıs 2002, Pam.ukk.ale Üniversitesi, Denizli
- Yağmurlu, F., Savaşım,, M.Y. ve Ergün, M., (1997), Relation of Alkaline Volcanism and Active Tectonism within the Evolution of İsparta Angle, SW-Turkey,, *J. Geol*, 105,, 717-728.