TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

ÇEVRE, ATMOSFER YER VE DENİZ BİLİMLERİ ARAŞTIRMA GRUBU

ÇUKURÖREN-ÇOBANLAR (AFYON) ARASINDAKİ DEPREM KAYNAKLARININ (AKTİF FAYLARIN) BELİRLENMESİ

YDABAG: 106 Y 209

FİNAL RAPORU

15 AĞUSTOS 2007
ANKARA

ODTÜ Mühendislik Fakültesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü
Aktif Tektonik ve Deprem Araştırma Laboratuvarı

Proje Adı: **ÇUKURÖREN-ÇOBANLAR (AFYON) ARASINDAKİ DEPREM KAYNAKLARININ (AKTİF FAYLARIN) BELİRLENMESİ**

Proje Kodu: ÇAYDAĞ-106 Y 209

Proje Yürütücüsü: Prof.Dr. Ali Koçyiğit (ODTÜ)

Araştırmacı:

Orta Doğu Teknik Üniversitesi :

Şule Deveci (Doktora Öğr.)

TÜBİTAK

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ……1
1.1. Çalışma Alanı…….....1
1.2. Konu ve Amaç…….....1
1.3. Çalışma Yöntemleri…….....…..4
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR…….....….4
3. STRATİGRAFİK ÖZET……...…13
4. İNCELEME ALANININ DEPREMSELLİĞİ VE DEPREM TEHLİKESİ…….....……..15
5. DEPREM KAYNAKLARI (FAYLAR) ……...…….....16
5.1. Akşehir─Afyon Grabeni ve Kenar Fayları…….....16
5.1.1. Akşehir Fay Zonu (AFZ) …….....17
5.1.1.1. Cumhuriyet ve Maltepe Fayları…….....….....18
5.1.1.2. Yeni Işıklar Fayı…….....20
5.1.1.3. Karahisar fayı…….....22
5.1.1.4. Kalecik fayı…….....23
5.1.1.5. Halımoru Fayı…….....24
5.1.1.6. Belkaracaören Fayı…….....25
5.1.1.7. Değirmendere Fayı…….....26
5.1.2. Hamidiye Fay Zonu…….....27
5.1.2.1. Duru Fayı…….....28
5.1.3. Yarımca Fay Zonu…….....28
5.1.3.1. Susuz Fayı…….....29
5.1.3.2. Çavdarlı fayı…….....29
5.1.3.3. Kurşunlu Fayı……..….....31
5.1.4. Fethibey Fay zonu……..….....34
5.1.4.1. Gecek Fayı…….....36
5.1.5. Demirçevre Fay Zonu……...….....38
5.2. Şuhut ve Karamık Grabenleri ve Kenar Fay Zonları…….....39
5.2.1. Kızıltepe Fayı…….....39
5.2.2. Kurucaova Fayı…….....39
5.3. Sinanpaşa Grabeni…….....40
5.3.1. Sinanpaşa Fay Zonu…….....40
5.3.1.1. Kınık Fayı…….....40
5.3.1.2. Kırka Fayı…….....41
5.3.2. İğdeli Fay Zonu…….....42

5.3.2.1. Balmahmut Fayı…….....42
5.3.2.2. İğdeli Fayı…….....42
5.4. Köprülü Grabeni ve Köprülü Fay Zonu……..…...44
5.5. Altıntaş Grabeni…….....44
5.5.1. Olucak Fay zonu…….....45
5.6. Ağaçköy Grabeni…….....46
5.6.1. Ağaçköy Fay Zonu…….....46
5.6.1.1. Aslıhanlar fayı…….....48
5.6.1.2. Yüylük fayı…….....50
5.6.1.3. Kartaltepe Fayı…….....50
5.6.2. Yeşilyurt Fay Zonu…….....51
5.6.2.1. Uğurluca, Çukurören ve Muratdağı Fayları……...…52
5.6.2.2. Belova Fayı…….....52
5.6.2.3. Hamurköy Fayı…….....54
5.7. Sivaslı─Banaz Grabeni…….....54
5.7.1. Sivaslı-Banaz Fay Zonu…….....55
5.7.1.1. Banaz Fayı…….....55
5.7.1.2. Alaba Fayı…….....57
5.7.1.3. Kızılcaören Fayı…….....57
5.7.1.4 Bahadır Fayı…….....58
5.8. Çamsu grabeni…….....59
5.8.1. Gürlek Fayı…….....59
5.8.2. Avdan Fayı…….....60
5.8.3. Derbent Fayı…….....60
6. SONUÇLAR…….....61
7. ÖNERİLER…….....62
8. PROJE KAPSAMINDA YAPILAN YAYINLAR……..….....62
9. DEĞİNİLEN BELGELER…….....65

ÇUKURÖREN-ÇOBANLAR (AFYON) ARASINDAKİ DEPREM KAYNAKLARININ (AKTİF FAYLARIN) BELİRLENMESİ

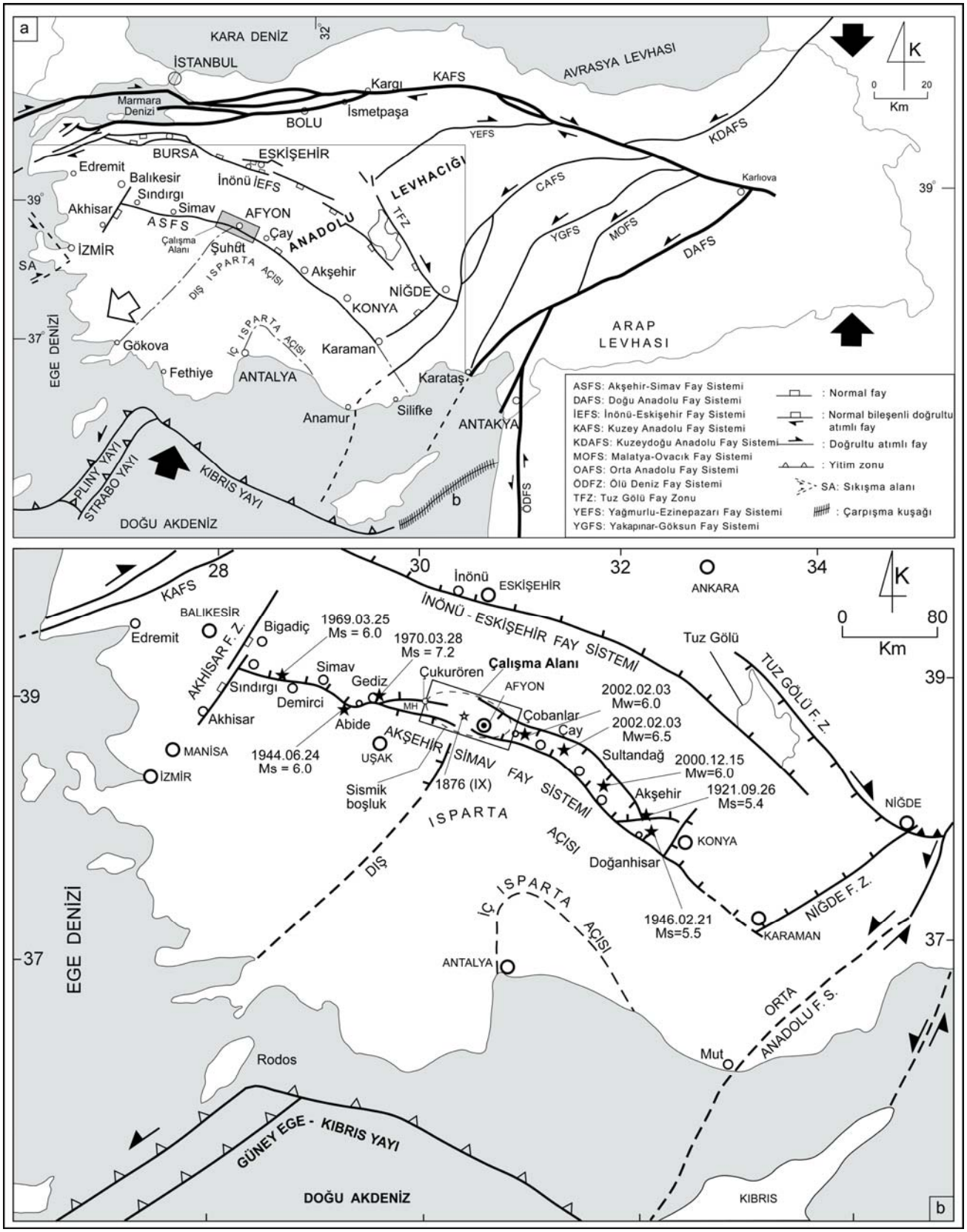
1. GİRİŞ

1.1. Çalışma Alanı

Araştırmaya konu olan alan, Güneybatı Türkiye genişlemeli neotektonik bölgede yer alamakta olup, bu bölgeyi karakterize eden neotektonik yapılardan biri olan Akşehir─Simav fay sisteminin (ASFS) (Koçyiğit ve Deveci 2005) orta kesimini oluşturur (Şekil 1a). Güneydoğuda Çobanlar ilçesi ile kuzeybatıda Çukuröreh beldesi arasında yer alan çalışma alanının Kuzeybatı yarısı kısmen Kütahya ve kısmen de Uşak il sınırları, güneydoğu yarısı ise tümüyle Afyon il sınırı içinde kalır (Şekil 1b). Yaklaşık olarak 29º.10′─31º.00′ doğu boylamları ve 38º.00′─39º.00′ kuzey enlemleri ile sınırlanan çalışma alanı 1/100.000 ölçekli K23, 24 ve 25 topoğrafik paftaları içinde kalır ve yaklaşık 4200 km² büyüklüğündedir.

1.2. Konu ve Amaç

Proje kapsamında gerçekleştirilecek olan araştırmanın ana konusunu, Çobanlar─Çukuröreh sismik boşluğu (Şekil 1b) (Koçyiğit ve Deveci 2005) içinde yer alan deprem kaynakları (faylar) oluşturur. Güneydoğuda Karaman ile kuzeybatıda Sındırgı arasındaki alanda, yaklaşık 3–30 km genişlikte, 500 km uzunlukta, KB–GD- gidişli levhaiçi ve süreksiz verev atımlı normal bir fay sistemi yüzeyler (Şekil 1b). Bu büyük sismojenik kuşak (Koçyiğit 1984) Akşehir–Simav Fay Sistemi (ASFS) olarak adlanmıştır (Koçyiğit ve Deveci (2005). ASFS ‘ nin güneydoğu yarısı, kuzeyde yer alan İç Anadolu ile güneyde yer alan Isparta açısı arasındaki coğrafik sınırı oluşturur; buna karşın fay sisteminin kuzeybatı yarısı Batı Anadolu içinde uzanır ve en kuzeybatıda KD-gidişli Akhisar Fay Zonu ile kesişerek sona erer (Şekil 1b). ASFS bir seri graben–horst ve onların kenarını sınırlayan verev atımlı normal faylarla karakterize edilir. Grabenler iki gruba ayrılır: (1) birincil (ana) grabenler, (2) ikincil grabenler. Birincil grabenler ASFS’nin genel gidişine paralel olup, güneydoğudan kuzeybatıya doğru Konya, Akşehir–Afyon, Sinanpaşa (Sincanlı), Altıntaş, Ağaçköy, Gediz, Simav ve Sındırgı grabenleridir. Bunlardan Konya, Gediz, Simav ve Sındırgı grabenleri dışında kalan grabenler inceleme alanı içinde yer alır (EK-1). Ana graben-



Şekil 1a. Türkiye ve yakın çevresindeki önemli deprem kaynaklarını (fay sistemleri ve fayları) ve çalışma alanını gösteren yalınlaştırılmış harita. **b.** İnceleme alanı ve yakın çevresindeki önemli deprem kaynaklarını (fay sistemleri, fay kuşakları ve faylar) ve burada oluşmuş yıkıcı depremleri gösteren yalınlaştırılmış harita.

ler Aladağ–Kızıldağ, Türkmentepe, Olucak, Muratdağı, Şaphanedağı ve Osmanlar–Düvertepe gibi horstlar ile birbirinden ayrılır. Bunlardan Türkmentepe, Olucak ve Muratdağı horstları inceleme alanı içinde yer alır (EK-1). İkincil grabenler göreceli olarak daha küçüktür ve KB─GD- gidişli ASFS' nin genel gidişine dik (yaklaşık KD─GB- gidişli) grabenler olarak oluşmuştur. İkincil grabenler arasında güneydoğudan kuzeybatıya doğru Karamık, Şuhut, Sivaslı–Banaz, Gölcük–Yeniköy, Emet, Kocaçay ve Bigadiç çöküntüleri sayılabilir. Bunlardan Karamık, Şuhut ve Sivaslı─Banaz grabenlerinin kuzeydoğu kesimleri inceleme alanı içinde yer alır (EK-1).

ASFS'yi karakterize eden KB-gidişli birincil yapılarla, KD-gidişli ikincil yapıların kesişme yerleri, genelde faylar üzerinde hareketin kilitlendiği ve elastik deformasyon enerjisinin biriktiği alanlardır, başka bir deyişle sismik boşluklardır (EK-1). Bu bağlamda ASFS bölgesel ölçekte aktif bir sismojenik kuşaktır ve bu durum, ASFS'nin farklı kesimlerinden kaynaklanmış olan gerek tarihsel (94, 1766, 1873, 1876, 1896), gerekse aletsel dönemde oluşan depremlerle (1921, 1944, 1946, 1969, 1970, 2000, 2002) doğrulanmıştır (Grabert 1971; Ambraseys ve Tchalenko 1972; Soysal ve diğ. 1981; Eyidoğan ve Jackson 1985; Eyidoğan ve diğ. 1991; Ambraseys ve Finkel 1995; Ambraseys & Jackson 1998; Ambraseys 2001; Koçyiğit ve Özacar 2003, Taymaz ve diğ. 2002) (Şekil 1b). Bu depremler ağır hasar ve yüksek can kaybına yol açmıştır.

ASFS'nin güneydoğu kesimi (Doğanhisar–Çobanlar arası) boyunca birikmiş olan elastik deformasyon enerjisi sırayla ve GD' dan KB' ya doğru 1921 Argıthanı─Akşehir, 1946 Ilgın─Argıthanı, 2000 Sultandağı ve 2002 Çay depremleri ile büyük ölçüde serbestlemiştir (Kalafat ve diğ. 2002; Başokur ve diğ. 2002; Ulusay ve diğ. 2002; Akyüz ve diğ. 2002; Dirik, 2002; Tapırdamaz ve diğ. 2002; Öztürk ve Bayrak 2002; Eyidoğan ve diğ. 1991; Koçyiğit ve Özacar 2003, Taymaz ve diğ. 2002) Benzer şekilde, ASFS'nin kuzeybatı kesimi (Sındırgı – Çukurören kesimi) sırasıyla 1944 Abide, 1969 Demirci ve 1970 Gediz depremleriyle etkin hale gelmiş ve fay sisteminin bu kesiminde birikmiş olan elastik deformasyon enerjisi de serbestlemiştir (Eyidoğan ve diğ. 1991). Buna karşın, ASFS'nin güneydoğuda Çobanlar ilçesi ile kuzeybatıda Çukurören beldesi arasında kalan yaklaşık 113 km uzunluğundaki bölümünden kaynaklanmış en son yıkıcı tarihsel deprem IX şiddetindeki 1876 depremidir (Soysal ve diğ. 1981), başka bir deyişle, içinde Afyon ili yanı sıra çok sayıda ilçe, belde ve köyün de yer aldığı ASFS'nin Çobanlar─Çukurören kesimi en azından 131 yıldır sismik boşluk özelliğindedir (Şekil 1b) ve bu durum bu kesimde yer alan yaklaşık 200.000 insan, sağlık turizmine dönük çok sayıda kaplıca, baraj ve tarım amaçlı sanayi merkezleri için ciddi

bir tehlike ve risktir. Anılan bu alan içinde deprem kaynaklarının belirlenmesine dönük şimdiye değin herhangibir çalışma yapılmamıştır.

Yukarıda yapılan öz açıklamanın ışığı altında, ASFS'nin Çobanlar–Çukurören kesimindeki (sismik boşluk içindeki) fayların (özellikle büyük deprem üretme potansiyeline sahip aktif fayların) haritalanması, analiz edilmesi ve haritalanan fayların üretebilecekleri en büyük deprem büyüklüğünün hesaplanması projenin ana amacıdır ve bu konu acil çözüm bekleyen bir sorunudur.

1.3. Çalışma Yöntemleri

Projeyi gerçekleştirmek ve belirtilen amaca ulaşmak için üç aşamalı bir çalışma yürütülmüştür. Bunlar, ön büro çalışması, arazi çalışması ve son büro çalışması ve rapor yazımıdır. Ön büro çalışması sırasında, inceleme alanının değişik ölçekli hava fotografları ile uydu görüntüleri incelenmiş ve böylece bir ön çizgisellik haritası elde edilmiştir. Yine aynı aşamada anılan alan ve yakın çevresindeki konuyla ilgili literatür çalışması ve sismik verilerin (tarihsel ve aletsel dönemde oluşmuş depremler) kataloglardan derlenmiştir. İkinci aşamada faylar arazide haritalanmış ve faylarla ilgili parametreler (fayın türü, uzunluğu, yaşı, atım miktarı, doğrultusu, eğim miktarı ve yönü, vb.) ile fayın türünü belirlemeye dönük kayma vektörleri (fay aynası, kayma çizgileri, yan atım açıları) doğrudan arazide gözlenip ölçülmüş ve fotoğraflanarak belgelenmiştir. Üçüncü ve son aşamada ise, arazide gözlem ve ölçüm yolu ile elde edilen tüm veriler büroda birlikte değerlendirilip uygun bilgisayar programları [Angelier'in (1990, 1994) Stress Inversion Method: Gerilim Değişim Metodu] ile analiz edilip çizilmiştir. Böylece biri neotektonik yapı ve birimleri içeren neotektonik harita, diğeri ise faylarla deprem episantırlarının ilişkisini gösteren Sismotektonik Harita olmak üzere iki orijinal ürün elde edilmiştir. En sonunda tüm bu veri ve ürünler kullanılarak Sonuç Raporu yazılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Akşehir–Simav Fay Sistemi'nin (ASFS) değişik kesimlerinde, temel jeolojik sorunlar ile volkanizmanın yanısıra ekonomik amaçlı (kömür aramaları gibi) ve yeraltı sularının kullanım ve kirlenmesine dönük birçok araştırma yapılmıştır (Hafeli 1966; Erişen, 1972; Keller ve Villari 1972; Keller 1974; Atalay 1975a; Koçyiğit 1976; Bingöl 1977; Çuhadar 1977; Demirkol ve diğ. 1977; Koçyiğit 1977; Ercan ve diğ. 1978; Koçyiğit 1978; Gündoğdu 1984; Günay ve diğ. 1986; Yalçın ve diğ. 1985; Baş 1986; Şener ve Gevrek 1986; Çevikbaş ve diğ. 1988; Öğdüm ve diğ. 1989; Öğdüm ve diğ. 1991; Türker ve diğ. 1991; Kaya 1993; Barka ve diğ. 1995; Aydar ve diğ. 1996; Seyitoğlu 1997; Olanca 1999; Doğdu ve Bayarı

2002a, 2002b; Akal 2003; Akan 2003; Atilla 2003; Saraç 2003). Benzer şekilde, ASFS boyunca neotektonik rejimin türü, başlangıç yaşı ve bu rejimi karakterize eden fayların niteliği ile ilgili olarak da birçok çalışma yapılmıştır (Zeschke 1954; Atalay 1975a, 1975b; Tokay ve Doyuran 1979a 1979b; Koçyiğit 1984; Boray ve diğ. 1985; Şaroğlu ve diğ. 1987; Barka ve diğ. 1995; Seyitoğlu 1997; Gürsoy ve diğ. 1998; Koçyiğit ve diğ. 2000; Işık ve diğ. 2003; Koçyiğit ve Özacar 2003; Koçyiğit 2005; Koçyiğit ve Deveci 2005). Bunlara karşın, 2000 ve 2002 yıllarında oluşan Sultandağı ve Çay depremlerine gelinceye değin, ASFS'nin deprem kaynakları ve deprem potansiyeline dönük çalışmaların sayısı son derece sınırlı olmuştur (Ergin ve diğ. 1967; Grabert 1971; Ambraseys ve Tchalenko 1972; Soysal ve diğ. 1981; Eyidoğan ve Jackson 1985; Koçyiğit 1984; Eyidoğan ve diğ. 1991; Koçyiğit ve diğ. 2000; Koçyiğit ve Özacar 2003). Ancak 15 Aralık 2000 Sultandağı ve 3 Şubat 2002 Çay depremleri ve bu depremlerin neden olduğu ağır hasar ve can kaybı, çok sayıda araştırmacının ilgisini, ASFS'nin özellikle doğu yarısına (Çay–Akşehir kesimine) çekmiş ve doğrudan deprem kaynağı ve oluşum mekanizması yanısıra, bu depremlerin yol açtığı yüzey deformasyonun belirlenmesi ve analizinin yapılmasına dönük yeni çalışmaları tetiklemiştir (Kalafat ve Öz 2001; Akar ve Altay 2002; Başokur ve diğ. 2002; Demirtaş ve diğ. 2002; Dirik 2002; Özer ve diğ. 2002a, 2002b; Tapırdamaz ve diğ. 2002; Taymaz ve Tan 2001; Taymaz ve diğ. 2002; Tezcan ve diğ. 2002; Ulusay ve diğ. 2002; Özden ve diğ. 2002; Öztürk ve Bayrak 2002; Kalafat ve diğ. 2002; Emre ve diğ. 2003; Koçyiğit ve Özacar 2003; Yürür ve diğ. 2003; Ulusay ve diğ. 2004; Aksar 2006; Akyüz ve diğ. 2006).

Yukarıda değinilen çalışmaların büyük çoğunluğu ASFS'nin güneydoğu kesiminde (Çobanlar ilçesi doğusunda), diğer bazıları ise aynı sistemin kuzeybatı kesiminde (Gediz–Simav–Sındırgı arasında) yoğunlaşmış olup, sistemin orta kesimini oluşturan ve sismik boşluk niteliği taşıyan Çukuröreh–Çobanlar arasında ise, bu alanın deprem potansiyelini ve deprem kaynaklarını belirlemeye dönük hiçbir çalışma yapılmamıştır. Bununla birlikte, doğrudan çalışma alanımız içinde ve yakın çevresinde gerçekleştirilmiş ve çalışmamız açısından önemli gördüğümüz bazı önceki çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

–*Zeschke 1954*, *"Simav graben'i ve Taşları"* adlı makalesinde, Akşehir-Simav Fay Sistemi içinde yer alan birincil grabenlerden birini ilk kez tanımlamış ve graben oluşumu ile volkanizma arasındaki ilişkiyi yorumlamıştır.

–*Erişen 1972, "Afyon–Heybeli (Kızılkilise) Jeotermal Araştırma Sahasının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları"* adlı yayımlanmamış raporunda, Akşehir–Simav fay sisteminin, batıda Afyon ili ile doğuda Akşehir arasında kalan kesiminin genel jeolojik özellikleri yanısıra, Akşehir–Afyon grabeni içinde yer alan çok sayıdaki sıcaksu kaynağının jeokimyasal

özelliklerini de araştırmıştır. Bu çalışmada ayrıca, yalnızca Akşehir─Afyon grabeni değil fakat ona büyük açıda verev olarak gelişmiş Şuhut ve Karamık gibi ikincil grabenlerin genel özellikleri de açıklanmış, birçok fay çizilmiş, onların bazı yapısal özellikleri anlatılmış ve faylar ile sıcaksu kaynakları arasındaki ilişki yorumlanmıştır.

─*Keller ve Villari 1972*, *"Rhyolitic Ignimbrites in the Region of Afyon (Central Anatolia) [Afyon (Orta Anadolu) Bölgesinde Riyolitik İgnibritler*]" adlı makalelerinde, Afyon çöküntüsünden çok genç bir graben yapısı olarak söz ederlerken, grabenin kuzey ve güneyinde de çok yaygın bir volkanik topluluğun yüzeylediğini vurgulamışlardır. Araştırmacılara göre Afyon volkanit topluluğu trakitik ve latitik lavalardan oluşan domlar, onlarla ilişkili lösitik lavlar, aglomera-breş ve tüflerden oluşan riyolitik ignimbrit platoları ve en üste de çok genç bir şapka oluşturan yüksek potasyum içeren bazalt lavlarıyla temsil edilmekte olup, volkanizma Geç Miyosen'de başlayıp Erken Kuvaterner'e değin süren bir zaman dilimi içinde gelişmiştir.

─*Atalay 1975a*, *"Akşehir, Eber ve Karamık Gölleri Havzalarının Kuvaterner Depoları ve Jeomorfolojisi"* adlı çalışmasında, Akşehir─Afyon grabeninin Akşehir ile Çay arasında kalan kesiminin jeomorfolojik özelliklerini konu etmekte olup, yazar bu bağlamda anılan çöküntü alanını kenarları eğim atımlı normal faylarla sınırlı Akarçay havzası olarak tanıtmakta ve onun tektonik kökenli olup Geç Oligosen-Kuvaterner zaman diliminde oluştuğunu vurgulamaktadır. Yazar ayrıca Akarçay havzasının, Kuvaterner'den başlayarak flüviyal dönemlerde oluşan göller (Akşehir, Eber ve Karamık gölleri) tarafından kaplandığını ve değişik evrelerin, göllerin kenarlarında ve değişik yüksekliklerde yer alan göl taraçalaryıla belgelendiğini belirtmiştir.

─*Çuhadar (DSİ) 1977*, *"Akarçay Havzası Hidrolojik Etüd Raporu*" adlı çalışmada, Akşehir─Simav fay sistemini karakterize eden Akşehir─Afyon ve Sinanpaşa (Sincanlı) gibi iki büyük graben yapısının tümünün genel jeolojik özellikleri yanısıra, ağırlıklı olarak akifer türleri, yeraltı suyu, dolaşımı ve kalitesi incelenmiştir. Anılan çalışmaya göre akiferler çoğun Pliyo-Kuvaterner yaşlı yelpazelerle temsil edilmekte ve yelpazeleri oluşturan sediman kalınlığı birkaç metre ile 300 m ye değin değişmektedir. Çalışmada ayrıca, her iki grabenin kenarlarında yüzeyler durumda ve graben dolgusu altında gömülü konumda önemli fayların bulunduğu, bu faylar boyunca yükselen kükürt ve sülfatca zengin sıcak suların yeraltı içme sularına karıştığı ve onların kirlenmesine yol açtığı da vurgulanmaktadır.

─*Bingöl 1977*, *"Muratdağı Jeolojisi ve ana kayaç birimlerinin petrolojisi*" adlı çalışmasında, Akşehir-Simav fay sisteminin önemli ögelerinden biri olan ve inceleme alanımızın kuzeybatı kesimini karakterize eden Muratd─ğı horstunun orta kesimlerinin 1/25.000 ölçekli jeolojik

haritasını yapmış ve bu alanın genel stratigrafik ve petrografik özelliklerini ayrıntılı olarak incelemiştir. Tümüyle Pliyosen öncesi Paleotektonik dönemi kapsayan bu çalışmada neotektonik yapı ve birimler konu edilmemiştir.

─*Koçyiğit 1984*, *"Güneybatı Türkiye ve Yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim*" adlı makalesinde" genişlemeli neotektonik rejimin ve ilgili graben─horst yapılarının doğuya doğru Tuz Gölü'ne değin etkin olduğunu; Özellikle Isparta Açısı ve Konya çöküntüsünün de aktif genişlemeli rejimin denetiminde olduğunu ilk kez ortaya koymuş ve belgelemiştir. Yazar ayrıca, genişlemeli neotektonik rejimin büyük boyutlu yapılarından birinin de sismojenik bir kuşak özelliğindeki yaklaşık KB-gidişli Akşehir─Simav çöküntüsü olduğunu, bu kuşağı temsil eden ana yapılardan birinin Akşehir grabeni ve onun güney kenarını denetleyen fay olduğunu ve bu fayın normal bir fay (Akşehir fayı) niteliği taşıdığını ilk kez belgeleyip adlamıştır.

─*Boray ve diğ. 1985, "Isparta Büklümünün Kuzey Kesiminde Doğu─Batı Daralma için Bazı Veriler"* başlıklı makalelerinde, Isparta Açısının kuzey kesiminde (Afyon, Şuhut, Çay, Yalvaç ve Yarıkkaya sahaları) K─G eksen gidişli kıvrım ve ters fayların bulunduğunu, bu bölgenin Geç Miyosen'den beri sıkışmakta olduğunu, bu sıkışmanın da Isparta açısının (büklümünün) kuzey kesiminde D─B daralmaya yol açtığını ve yine bu bölgede çekme geriliminin (genişlemeli tektonik rejimin) varlığını gösteren herhangi bir verinin bulunmadığını vurgulamışlardır. Yazarlar ayrıca Isparta büklümünü, batıya doğru kaçan "Anadolu Levhası" önünde bu kaçışa direnç gösteren tampon bir bölge olarak yorumlamışlardır. Özetle yazarlar, Koçyiğit'in (1984) görüşlerinin aksine, Isparta Büklümünün Geç Miyosen'den günümüze sıkışmalı bir neotektonik rejimin denetiminde bulunduğunu belirtmişlerdir. Ancak, 2000 Sultandağı ve 2002 Çay depremlerinin oluşumu ve bu depremlerin odak mekanizmalarının çözümü (Taymaz ve Tan 2001; Taymaz ve diğ. 2002), Boray ve diğ.'nin (1985) özetlenen bu görüşlerinin doğru olmadığını ortaya koymuştur.

─*Şaroğlu ve diğ. (1987), "Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremselliği"*adlı çalışmalarında, Akşehir─Simav fay sistemini oluşturan en önemli iki yapıdan Akşehir Fay zonunu güneybatıya doğru eğimli bir ters fay, Simav grabeninin kenarlarını sınırlayan ve denetleyen fayları da sağ yanal doğrultu atımlı faylar olarak haritalamış ve yorumlamışlardır. Ancak Bu bölgelerde yapılan ayrıntılı saha çalışmaları, eski gerilim (paleostress) analizleri ve jeolojik haraitalamaların (Grabert 1971; Ambraseys ve Tchalenko 1972; Seyitoğlu 1997; Koçyiğit ve diğ. 2000; Koçyiğit ve Özacar 2003; Koçyiğit ve Deveci 2005; Işık ve diğ. 2003) yanısıra, 24 Haziran 1944 Abide, 25 Mart 1969 Demirci ve 28 Mart 1970 Gediz depremlerinin odak

mekanizmaları çözümleri de (Eyidoğan ve Jackson 1985; Eyidoğan ve diğ. 1991) Şaroğlu ve diğ.'nin (1987) bu gözlem ve yorumlarını doğrulamamıştır.

─*Çevikbaş ve diğ. 1988, "Geology and Regional Distribution of Neogene Volcanics Between Afyon─Şuhut (Afyon─Şuhut arasında Neojen volkaniklerinin jeolojisi ve bölgesel dağılımı)"* adlı çalışmalarında, temelin başlıca kuvarsit, kalkşist, fillit ve fosil içeren Erken─Orta Karbonifer─Geç Permiyen yaşlı kristalize kireçtaşları ile bunlar üzerinde uyumsuzlukla yer alan Orta─Geç Jura yaşlı kireçtaşlarından oluştuğunu; Geç Jura ile Erken Miyosen arasında uzun bir stratigrafik boşluk bulunduğunu; Erken Miyosen'de önce akarsu─göl ortamında kalın bir sedimanter istif oluştuğunu ve bu istifi yukarıya doğru Orta Miyosen─Erken Pliyosen boyunca yaygın bir volkanizmanın izlediğini ve bu volkanik etkinlik ile Afyon volkanitlerinin oluştuğunu; volkanik etkinliğe üste doğru akarsu ve göl ortamında depolanmış sedimanter bir istifin eşlik ettiğini ve istifin, en üstte kalın katmanlı ve gözenekli gölsel kireçtaşları ve bazik lav akıntıları ile sona erdiğini rapor etmişlerdir.

─*Türker ve diğ. 1991, "Uşak─Banaz Jeotermal Alanının Jeoelektrik Yöntemlerle Araştırılması"* adlı çalışmaları kapsamında, inceleme alanımızın batı kesiminde yer alan Banaz grabeni içindeki Burak kaplıcaları ve çevresinde, sıcak su hazne kayacını saptamak amacıyla özdirenç, etkisel kutuplaşma ve Doğal gerilim gibi bazı jeofizik yöntemleri uygulamışlar ve 150 ile 600 m gibi iki ayrı derinlikte sıcak su hazne kayacına ulaşmışlardır.

─*Aydar ve diğ. 1996, "Afyon stratovolkanının volkanolojik ve petrolojik gelişiminin incelenmesi"* başlıklı makalelerinde, Afyon volkanizmasının İç Anadolu'da yer alan küçük bir stratovolkan ile temsil edildiğini ve volkanizmanın üç aşamada geliştiğini; ilk evrede trakiandezitik lav akıntıları, laharlar, blok ve kül akıntıları ile ignimbritlerin; ikinci evrede mega- ve feno sanidin kristalleri ile tipik olan trakitik-porfirik lav domları-lav akıntılarının; en son evrede ise küçük ölçekli hidrovolkanik etkinlikler ile oluşmuş afirik lav akıntıları ve daykların meydana geldiğini rapor etmişlerdir. Araştırmacılara göre Afyon volkanitleri, petrojenetik açıdan, özellikle potasik ve ultrapotasik karakterli lavların da işaret ettiği gibi, kısmi ergime ve manto metasomatizması izlerini taşımaktadır.

─*Gürsoy ve diğ. 1998, Paleomagnetic study of the Karaman and Karapınar volcanic complexes, central Turkey: neotectonic rotation in the south-central sector of the Anatolian Block (Karaman ve Karapınar volkanik karmaşığının Paleomağnetik çalışması, orta Türkiye: Anadolu Bloğu'nun güney orta kesiminde neotektonik rotasyon)"* adlı çalışmalarında, anılan alanda Pliyosen sonrası rotasyonların arttığını, bu bölgede ve en son deformasyon döneminde 25º-35º lik hemen hemen tek düze ve saatin tersi yönünde bir dönmenin gerçekleştiğni ve bu dönmenin doğu-güneydoğuya doğru Orta ve Doğu Anadolu fay zonlarına kadar etkili

olduğunu ortaya koymuşlardır. Buna karşın, araştırmacılar ayrıca, daha küçük ve farklı saatin tersi dönmelerin Anadolu Bloğu'nun Isparta açısı ile etkileşen güney orta kesimini karakterize etmekte olduğunu da belirtmişlerdir.

─*Koçyiğit ve diğ. 2000, "Episodic graben formation and extensional neotectonic regime in west Central Anatolia and the Isparta Angle: a case study in the Akşehir─Afyon Graben, Turkey (Batı İç Anadolu ve Isparta Açısı'nda genişlemeli neotektonic rejim ve duraksamalı graben oluşumu: Akşehir-Afyon Grabeni'nde örnek çalışma, Türkiye)"* adlı çalışmalarında, Akşehir─Afyon grabeninin Çay─Bolvadin doğusunda kalan kesiminin ayrıntılı fay haritasını yapmışlar, stratigrafisini ortaya koymuşlar ve grabenin jeolojik gelişimini açıklamışlardır. Araştırmacılar ayrıca, bir taraftan bölgenin deprem tehlikesini diğer taraftan da deprem kaynaklarını ortaya koymuşlar ve bu bölgenin (Isparta Açısı, Akşehir─Afyon grabeni ve çevresi), önceki bazı araştırmacıların (Boray ve diğ. 1985; Şaroğlu ve diğ. 1987, Barka ve diğ. 1995; Altunel ve diğ. 1999) görüş ve yorumlarının aksine, geç pliyosen'den beri etkin verev atımlı normal faylarla karakterize edilen genişlemeli bir neotektonik rejimin denetiminde olduğunu belgelemişlerdir.

─*Doğdu ve Bayarı 2002, "Akarçay Havzası'nda (Afyon) jeotermal kökenli kirlenme: 2. yeraltısuyu kirliliği"* adlı çalışmalarında, inceleme alanımız içinde yer alan Heybeli, Ömer─Gecek ve Gazlıgöl jeotermal alanlarından alınan örnekler üzerinde yaptıkları hidrokimyasal değerlendirmeler sonucunda, anılan jeotermal bölgeler ve yakın çevresinde, jeotermal akifer ve kuyulardan yeraltı soğuksu akifer ve kuyularına sızmaların olduğunu ve tatlı suların önemli derecede kirlenmiş olduğunu ortaya koymuşlardır.

─*Özden ve diğ. 2002, "3 Şubat 2002 Çay (Afyon) Depremleri*" adlı çalışmalarında, Çay ve Sultandağı ilçeleri ve çevresinde 3 Şubat 2002 tarihinde, yaklaşık iki saat arayla orta büyüklükte iki depremin meydana geldiğini, depremlerin ilkinin BKB-gidişli ve kuzeye eğimli bir normal faydan, ikincisinin ise yaklaşık KD-gidişli ve güneydoğuya eğimli yine bir başka normal faydan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca, ilk depremde Çay ilçesi ve yakın civarı ile Maltepe köyü yakın güneyinde, ikinci deprem sırasında ise Kadıköy'ün yakın batısında yüzey kırıklarının oluştuğunu, yüzey kırıkları boyunca 35 cm ve 10 cm kadar düşey atımın gerçekleştiğini ve ayrıca yüzey kırıkları genel gidişlerinin de depreme kaynaklık eden fayların genel gidişleriyle yaklaşık uymlu olduğunu gözlemiş ve belgelemişlerdir. Bu çalışma, inceleme alanımızın en güneydoğu kesiminde, o yörenin deprem kaynaklarına yönelik çalışmalardan birisidir.

─*Kalafat ve diğ. 2002, "3 Şubat 2002 Sultandağı (Afyon) Depremi*" adlı çalışmalarında, 3 Şubat 2002 tarihinde ve yerel saatle 9.11 de Çay─Sultandağı bölgesinde Mw = 6.5

büyüklüğünde bir depremin oluştuğunu, depremin 44 kişinin ölümüne, 120 kişinin yaralanmasına neden olduğunu ve deprem sırasında yapısal hasarın Sultandağı ve Çay arasında yoğunlaştığını açıklamışlardır. Araştırmacılar ayrıca, depremin Çay ve Maltepe fay parçalarının etkinlik kazanmasıyla oluştuğunu, etkinliğin fayın doğu ucundan başlayıp batı─kuzeybatıya doğru sürdüğünü; ilk depremden yaklaşık iki saat sonra Mw = 6.0 büyüklüğünde ayrı bir depremin daha meydana geldiğini; Haziran sonuna kadar büyüklüğü M >2.5 olan toplam 635 artçı depremin kayıd edildiğini ve deprem odak mekanizmalarının çözümünün de dapremlerin kaynağının verev atımlı normal fay karakterinde olduğunu gösterdiğini belirtmişlerdir.

─*Dirik 2002, "Akarçay (Afyon) havzası'nın tektoniği ve Çay─Afyon (03.02.2002) depreminin önemi"* adlı bildiri özünde, Akarçay havzasının orta kesimlerinde 3 Şubat 2002 tarihinde ve yaklaşık iki saat arayla iki ayrı depremin (Mw = 6.1 ve Md = 5.3) meydana geldiğini; bu depremlerden ilkinin KD-gidişli, ikincisinin ise KKD-gidişli eğim atımlı normal faylardan kaynaklanmış olduğunu rapor etmiştir. Araştırmacı ayrıca, deprem bölgesinde gözlemiş olduğu deprem yüzey kırıklarının (Çay ilçesinde K45º─80ºD- gidişli; Maltepe köyünde yaklaşık D─B- gidişli ve Heybeli kaplıcası, Kadıköy ve Demirciler yöresinde de K20º─35ºD-gidişli yüzey çatlakları) geometrisi ile deprem odak mekanizması çözümlerinin de bu gözlem ve yorumlarını doğruladığını belirtmiştir.

─*Tapırdamaz ve diğ. 2002, " Sultandağ (Afyon) Depremi (03 Şubat 2002, Mw = 6.2) Artçı Deprem Çalışması"* adlı incelemelerinde, 3 Şubat 2002 ana depremi artçıl şoklarını kısa süreli bir çalışmayla kayıd edip değerlendirmişler ve bu değerlendirmelerle: (a) depremi oluşturan fayın etkin hale gelen kesiminin 37 km uzunluğunda ve 7 km genişliğinde bir alan olduğu, (b) fayın doğudan batıya doğru etkin hale geçtiği ve (c) depremlerin, ortalama eğim açısı 62º olan yaklaşık D─B ve DGD─BKB doğrultulu verev atımlı normal faylardan kaynaklandığı sonucuna ulaşmışlardır.

─*Başokur ve diğ. 2002, "Jeoloji ve Jeofizik Çalışmalar Işığında 03.02.2002 Çay (Afyon) Depremi'nin Mekanizması, Hasarın Nedenleri ve Bölgenin Deprem Etkinliği"* adlı çalışmalarında, 3 Şubat 2002 tarihli Çay depremi sırasında toplam 19 km uzunluğunda ve üç ayrı hat üzerinde (yaklaşık D─B- gidişli Maltepe yüzey kırığı, Sultandağ Yüzey kırığı ve çok belirgin ve büyük boyutlu olmayan KKD-gidişli yüzey kırıkları) yüzey kırıklarının geliştiği, depreme listrik türde normal bir faylanmanın kaynaklık ettiği, deprem sırasında bazı yerlerde suların artezyen biçiminde çıkış yaptığı, yaygın kum ve çamur püskürmelerinin sıvılaşmaya işaret ettiği ve deprem bölgesindeki ağır yapısal hasara çoğun zayıf zemin

koşullarının yanısıra depreme dayanaklı olmayan kerpiç ve yığma taş yapıların ve deprem yönetmeliğine yeterince uyulmamasının yol açmış olduğu rapor edilmiştir.

─*Ulusay ve diğ. 2002, " 3 Şubat 2002 Sultandağı (Afyon) Depremi Saha İnceleme Raporu"* adlı çalışmalarında, 3 Şubat 2002 depreminin orta büyüklükte (Ms = 6.1) ve sığodaklı (h =11 km) olduğunu; depremin yalnızca Çay ilçesi ve Maltepe köyünde sınırlı bir alanda KD─GB-gidişli yüzey kırığı oluşturduğunu; deprem bölgesinde yaygın bir alüvyon örtüsü ve sığ yeraltı suyu olmasına karşın sıvılaşmanın yaygın olmadığını; deprem sırasında en çok hasarın Çay ilçesi ve yakın çevresinde oluştuğunu ve yapısal hasara zemin koşulları ve kalitesiz inşaatın yanısıra Deprem yönetmeliğine uyulmamasının yol açtığını rapor etmişlerdir.

─*Akal 2003, "Mineralogy and Geochemistry of Melilite of Melilite Leucitites, Balçıkhisar, Afyon (Turkey) [Melilit Lösititlerinin Mineralojisi ve Jeokimyası, Balçıkhisar, Afyon (Türkiye)]"* adlı çalışmasında, Orta Miyosen yaşlı Afyon Volkanik Kompleksi'nin potasik-ultrapotasik bir volkanizmanın ürünü olduğunu ve volkanizmanın üç evrede geliştiğini vurgulamıştır. Araştırmacıya göre ilk evrede Melilit-Lösitit lavları, ikinci evrede lamproitler, üçüncü ve son evrede ise fonotefritik lav domları, daykları ve lav akıntıları oluşmuştur. Yazara göre Afyon Volkanik Kompleksi, petrojenetik açıdan aktif levha kenarına yakın bir ortamda kısmi ergime ile gelişmiş ilksel bir eriyiğin üst kabuktan kısmi kirlenmesi sonucu oluşmuştur.

─*Akan 2003, "Afyon Ömer─Gecek jeotermal sisteminde reenjeksiyon uygulamalarının rezervuar sıcaklığı üzerine etkilerinin modellenmesi"* adlı makalesinde, Jeotermal bölgelerde, termal suların kullanımları sonrası ne şekilde ortamdan uzaklaştırılacağının önemli bir sorun olduğunu; ülkemizde sorunun çözümü için yaygın olarak uygulanan yöntemin, kullanımdan dönen suların yüzey sularına verilmesi şeklinde olduğunu, bunun ise yüzey sularında su kalitesinin bozulmasına (suyun kirlenmesine) yol açtığını; sorunun çözümü için en uygun yöntemin, kullanımdan dönen suyun jeotermal sisteme yeniden geri verilmesi olacağını belirtmiştir. Çalışma inceleme alanı içinde ve Akşehir─Afyon grabeninin güneybatı ucuna yakın yerde gerçekleştirilmiştir.

─*Koçyiğit ve Özacar 2003'ün "Extensional Neotectonic Regime through the NE Edge of the Outer Isparta Angle, SW Turkey: New Field and Sesmic Data (Dış Uısparta Açısının KD kenarı boyunca Genişlemeli Neotektonik Rejim, GB Türkiye: Saha ve Sismik veriler)"* adlı çalışmalarında Akşehir─Afyon grabeni, grabenin bakışımsız gelişimi, grabenin oluşumunu denetleyen fayların niteliği, geometrisi ve graben dolgusunun stratigrafisi yanısıra, grabenin güney kenarına yakın yerde meydana gelen 15 Aralık 2000 Sultandağı ve 3 Şubat 2002 Çay depremleri ve Çay depreminden kaynaklanan yüzey kırıkları ayrıntılı olarak belgelenip analiz

edilmiş ve sonuçta tüm arazi ve sismik verilerin, Isparta açısında, daha önce bazı araştırmacıların öngörülerinin aksine, Geç Pliyosen'den günümüze genişlemeli bir neotektonik rejimin etkin olduğu, bu bağlamda yukarıda sözü edilen iki depremin de, Akşehir─Afyon grabeninin güney kenarını sınırlayan Akşehir verev atımlı normal fay zonu ana fayından (Akşehir─Pınarkaya ve Sultandağı─Maltepe sismik fay segmentlerinden) kaynaklandığı bir kez daha vurgulanmıştır.

─*Ulusay ve diğ.'nin (2004) "An overview of geotechnical aspects of the Çay-Eber (Turkey) earthquake [Çay-Eber Depreminin (Türkiye) jeoteknik yönlerinin gözden geçirilmesi]"* adlı makalelerinde 3 Şubat 2002 Çay─Eber depreminin çok az sol yanal doğrultu atım bileşeni olan KD─GB doğrultulu normal bir faydan kaynaklandığı, faylanma sırasında fayın yaklaşık 30-40 km uzunluğundaki bir kesiminin etkinlik kazandığı; depremin Afyon─Akşehir arasında KB─GD-gidişli bir zon boyunca kuvvetli yer hareketine neden olduğu; deprem sırasında aynı zamanda KD─GB- gidişli ikincil graben olan Karamık grabenin Akşehir─Afyon grabenine yakın kesimlerinin de etkinlik kazandığı ve graben içindeki kalın ve pekişmemiş sedimanter istif yüzünden gereken boyutta yüzey kırığının gelişemediği rapor edilmiştir. Yazarlar ayrıca, kumlu zeminin sınırlı oluşu ve kalın alüvyonlarla kaplı bulunması yüzünden sıvılaşmanın da yaygın olarak gelişemediğini vurgulamışlardır.

─*Koçyiğit ve Deveci 2005, "Akşehir-Simav fay sistemi: GB Türkiye'de neotektonik rejimin başlama yaşı ve depremsellik*" adlı bildiri özetinde, güneydoğuda Karaman ile kuzeybatıda Sındırgı arasında uzanan, başlıca graben─horst ve verev atımlı normal faylarla karakterize edilen, genişleme türü neotektonik rejimin denetiminde gelişimini sürdüren, yaklaşık 10─30 km genişliğe ve 500 km uzunluğa sahip sismojenik zonu ilk kez Akşehir─Simav Fay Sistemi olarak adlayıp tanıtmışlar ve bu sistemin orta kesiminde yakın gelecekte tehlike yaratcak bir sismik boşluğun (Çobanlar─Çukurören sismik boşluğu) yer aldığını ortaya koymuşlardır. Anılan sismik boşluk içindeki deprem kaynakları bu yeni çalışmamızın da ana konusunu oluşturmaktadır.

─*Akyüz ve diğ.'nin (2006) "3 Şubat 2002 Çay depreminde meydana gelen yüzey kırığı üzerinde paleosismolojik araştırmalar"* adlı makalesi, Akşehir─Afyon fay zonunun ana fayını temsil eden Çay ve Maltepe fay segmentleri üzerinde, bu faylardan kaynaklanacak depremlerin yinelenme aralığını (süresini) saptamak amacıyla açılan iki hendekteki paleosismolojik çalışmaları konu almaktadır. Biri inceleme alanımızın en doğu ucunda, diğeri ise dışında yer alan ve bu bölgede ilk kez yapılmış olan paleosismolojik çalışmalar, Maltepe segmentinden kaynaklanan son tarihsel depremin MS 1150 yılından sonraki bir dönemde, Çay

segmentinden kaynaklanan tarihsel depremin ise MS 760 yılı öncesi bir dönemde meydana geldiğini ve bu fay segmentlerinin deprem üretme tarihçelerinin aynı olmadığını göstermiştir.

3. STRATİGRAFİK ÖZET

İnceleme alanının strtigrafisi projenin kapsamı ve amacı dışında olmakla birlikte, fayların yaşı, atımı ve etkinliklerinin (diri olup olmadıklarının) daha kolay anlaşılabilmesi için, burada inceleme alanı ve yakın çevresinin kısa bir stratigrafik özeti verilmiştir. Çalışma alanı ve yakın çevresinde yüzeyleyen kayaçlar, yaş ve türlerine göre üç kategoriye ayrılır: (1) yaşlı temel kayaları, (2) eski graben dolgusu kayaları ve (3) güncel graben (neotektonik graben) dolgusunu oluşturan kayalar ve sedimanlar. Yaşlı temel kayaları ve eski graben dolgusu kayalar EK-1 deki neotektonik harita üzerinde beyaz olarak bırakılan alanlarla, jeoloji kesitlerinde (EK-1 de A-A', B-B' ve C-C' jeoloji kesitleri) ise değişik kayatürü simgeleriyle gösterilmiş; güncel graben dolgusu istifi ise neotektonik harita ve jeoloji enine kesitlerinde değişik tonlarda boyanmış gri ve açık sarı renkler ve kaya türü simgeleriyle belirtilmiştir (EK-1).

Yaşlı temel kayaları Jura öncesi (Silüriyen─Geç Triyas zaman aralığı) oluşmuş düşük dereceli metamorfitler, Jura─Erken Kretase yaşlı platform karbonatları, Kretase yaşlı bazik─ultrabazik tektonik kaya dilimleri (başlıca peridotit, serpantinit, gabro), Geç Kretase yaşlı ofiyolitik karışık (melanj), Eosen yaşlı filiş ile volkanitler ve Oligosen yaşlı orojenik molas (sığsu ve akarsu ortamında oluşmuş kalın sedimanter istif) ile temsil edilir. Düşük dereceli metamorfitler başlıca yeğince kıvrımlı gnays, şist (kuvars-klorit-mika şist), kalkşist, fillat, kuvarsit, kalın katmanlı ve masif mermer ve yeniden kristallenmiş kireçtaşlarından oluşur. Yaşlı temel kayaları kendi aralarında yer yer iyi korunmuş stratigarafik ilişki sunmakla birlikte, birbirleriyele çoğunlukla tektonik ilişkilidir, başka bir deyişle büyük açılı bindirme faylarıyla birbirleri üzerine itilmiştir.

Genelde Güneybatı Türkiye'de olduğu gibi, inceleme alanımız içinde kalan grabenler de iki evrede gelişmiş (Duraksamalı gelişim: Episodik gelişim) olup, grabenler birbirlerinden açılı uyumsuzlukla ayrılmış iki istif ya da iki ayrı dolgu içerir (Koçyiğit ve diğ. 2000; Koçyiğit ve Özacar 2003; Koçyiğit 2005). Daha yaşlı olan graben dolgusu (eski graben dolgusu kayaları) deformasyon geçirmiş (kıvrımlanmış, ters ve doğrultu atımlı faylanmaya uğramış) olup hem grabenin ilk oluşumu sırasında grabeni denetleyen genişleme rejimin (ilk evre genişlemeli tektonik rejim) kayıtlarını hem de ilk evredeki graben oluşumunu sona erdiren ve onu deforme eden daralma rejiminin kayıtlarını içerir (Koçyiğit 2005). Eski graben dolgusu kayaları, genel olarak, kalınlıkları 05─2 km arasında değişen iki istif ile temsil edilir.

Bunlardan ilki akarsu ve göl ortamlarında oluşmuş, yer yer ekonomik düzeyde kömür içeren sedimanter bir istif, diğeri ise alt ve orta düzeylerde kalk-alkali üste doğru egemen olarak alkali özellikler taşıyan volkanitlerdir (örneğin: Afyon stratovolkanik karmaşığı gibi) (Çevikbaş ve diğ. 1988; Aydar ve diğ. 1996). Eski graben dolgu istifi, genelde, en altta yaşlı temel kayalardan türemiş çoktür bileşenli ve boylamasız bir taban çakıltaşı ile başlar ve yukarıya doğru kumtaşı, çamurtaşı-kiltaşı-marn ve ilk volkanizmanın verisi olan tüf ve kömür aradüzeyleriyle devam eder. Anılan bu taban istifi daha üste doğru ya derin gölsel sedimanlarla (organik maddece zengin şeyil ve gölsel kireçtaşı ardaşımı) sürer ya da kalın bir volknit topluluğu tarafından uyumlu olarak örtülür (örneğin: Afyon stratovolkanitleri gibi). Her iki istif birbirleriyle yanal-düşey geçişli dokunak ilişkisi gösterir fakat en üstte önce sığ ve gözenekli kalın-masif göl karbonatları daha sonra da dereceli akarsu çakıltaşı ve kumtaşlarından oluşan regresif bir istifle sonlanır. Yer yer kısa stratigrafik boşluk içermekle birlikte, eski graben dolgu istifi Geç Erken Miyosen─Orta Pliyosen arasındaki bir zaman diliminde çökelmiş olup, güncel graben dolgu istifi tarafından açılı uyumsuzlukla örtülür. Bir diğer önemli özellik de, Eski graben dolgu kayalarının hem güncel grabenlerin içinde, hem de onların dışında yüzeylemiş olmasıdır.

Güncel graben (günümüzde sürmekte olan ikinci grabenleşme evresinde oluşmakta olan grabenler) dolgusunu oluşturan kayalar ve sedimanlar, genel olarak, oluşum ortamı ve türlerine göre iki ana fasiyesle temsil edilir: (a) iri taneli kenar fasiyesi ve (b) ince taneli graben ortası fasiyesi. İri taneli kenar fasiyesi, faylarla kontrol edilen graben kenarlarındaki yüksek alanlardan, graben içine akmakta olan ve tektonik etkinlik nedeniyle yataklarını derine kazmış bulunan akarsuların çökelttiği yakınsak *yelpaze tortulları* ve yelpazelerin, zaman içinde fay sarplıklarında birikmiş olan yamaç döküntüleriyle (yerçekimi denetiminde taşınıp birikmiş koluviyal sedimanlar) birleşmesi sonucu oluşan *yelpaze-önlük sedimanter istifiyle* temsil edilir. Bu istifler genel olarak çoktür bileşenli, boylamasız ve yapısız, iyi pekişmiş ya da gevşek tutturulmuş çakıltaşı ve breşlerden oluşur. Kenar fasiyesleri, grabenler içine akan akarsular tarafından parçalanmış ve tektonik etkinlik nedeniyle çoğun faylar tarafından değişik kotlara yükseltilmiştir. Bu nedenle iri taneli kenar fasiyesleri graben kenarlarını karakterize den fay taraçaları olarak yüzeyler (EK-1) Aynı nedenle fay taraçaları, bir taraftan fayların etkinliğini, diğer taraftan fayların düşey atım miktarını hesaplamada kullanılan çok önemli bir morfotektonik yapıdır. İnce taneli graben ortası kaya ve sedimanları ise bir taraftan fay denetiminde çökelmiş olan yelpazelerin uç kesimlerini (distal sections) oluşturan ince taneli çamurtaşı, kiltaşı ve karbonatlar, diğer taraftan da grabenleri akaçlayan (direne eden) menderesli akarsu tortullarıyla temsil edilir. Kenar ve graben ortası fasiyesler arasında yanal

ve düşey tüm geçişler gözlenir. Mikro- ve makromemeli fossil bulgu ve yaşlandırmalarına göre (Saraç 2003), inceleme alanımızda yer alan güncel graben dolgusu Geç Pliyosen-Kuvaterner zaman diliminde (Genişlemeli neotektonik dönem) çökelmiş olup, kalınlığı 30─500 m arasında değişir (Atalay 1975a; Çuhadar1977; Koçyiğit ve diğ. 2000).

4. İNCELEME ALANININ DEPREMSELLİĞİ VE DEPREM TEHLİKESİ

İnsan yaşamını, sağlığını ve kazanımlarını tehdit eden tüm yapay ve doğal olaylar *Tehlike* olarak adlanır. Bu bağlamda Deprem enbüyük doğal tehlikedir. Olacağı öngörülen belirli büyüklükteki bir depremin meydana gelmesi durumunda oluşacak birincil ve ikincil, başka bir deyişle doğrudan ve dolaylı fiziksel değişimler (örneğin: heyelanlar, kaya düşmeleri, tsunami, taşkınlar, göçmeler, yükselmeler, yüzey yarılmaları, yatay ve düşey yer değiştirmeler, kuvvetli yer hareketleri, sıvılaşma-yüzey yayılması v.b. gibi) *Deprem tehlikesi* olarak adlanır. Deprem tehlikesinin değerlendirmesi ise, öngörülen depremin hangi büyüklükte, ne zaman, nerede olacağının ve hangi fiziksel değişimlere yol açacağının kestirimidir. Bir alan ya da bir bölgenin deprem tehlikesinin belirlenebilmesi için yapılacak ilk aşama çalışma, o alan ya da bölgenin deprem kaynaklarının (aktif fayların) ayrıntılı olarak haritalanması ve aktif fay parametrelerinin saptanıp belgelenmesidir. Daha sonra yıkıcı deprem üretecek faylar üzerinde, yıkıcı depremlerin sayısı ve yinelenme aralığının belirlenmesine dönük paleosismoloji çalışmaşları ve faylar üzerindeki yıllık kayma hızının saptanması için Jeodezi çalışmaları yapılır. Son aşama ise, aktif fay parametrelerine dayalı Deprem tehlike haritalarının üretilmesidir. Proje, fayların haritalanması ve analizinin yapılmasını amaçladığı için, bu proje kapsamında diğer iki aşamaya geçilmemiş fakat deprem tehlike haritasının hazırlanmasına baz oluşturan fay haritası (EK-1) yapılmış ve aktif fay parametreleri saptanıp belgelenmiştir.

Yukarıdaki bölümlerde değinilmiş olduğu gibi inceleme alanı etkin Akşehir─Simav fay sisteminin orta kesiminde yer alan yaklaşık 113 km uzunluğunda bir sismik boşluktur. Bugüne değin inceleme alanımız içinde gerçekleşmiş ve belgelenebilmiş olan yıkıcı deprem sayısı üç adettir. Bunalar sırayla VIII şiddetindeki 94, VI şiddetindeki 1 Kasım 1873 ve IX şiddetindeki 13 Mayıs 1876 tarihsel depremleridir (Soysal ve diğ. 1981). Her üç deprem de Akşehir─Afyon grabeninin batı kesiminde yer almaktadır (EK-2). Diğer taraftan, 1900-günümüz arasını kapsayan ve büyük bölümü aletsel deprem kayıt ve değerlendirme dönemini temsil eden zaman diliminde ise, inceleme alanımız içinde, büyüklükleri 2 ile 6 arasında değişen toplam 844 deprem belgelenmiştir. Bu deprem episantırlarının faylarla ilişkisini belirlemek amacıyla, inceleme alanımız için ilk kez bir sismotektonik harita (EK-2)

üretilmiştir. Yukarıda kısaca özetlenen tarihsel ve aletsel dönem depremleri, inceleme alanımızda yer alan başta Afyon ili olmak üzere Çobanlı, Sinanpaşa (Sincanlı), Dumlupınar, Banaz ilçeleri, bunlara bağlı çok sayıdaki kasaba ve köy boyutundaki yerleşke, bu yerleşkelerde yaşayan toplam 200.000 dolayında insan, sanayi ve jeotermal tesis ile baraj-yol, Üniversite, Hastahane, market gibi büyük mühendislik yapısının deprem tehlike ve riski altında olduğunu göstermektedir. Bu durum, inceleme alanımızın batısında ve doğusunda ve aynı sismojenik kuşak içinde gerçekleşen 1970 Gediz, 2000 Sultandağı ve 2002 Çay depremleriyle son bir kez daha doğrulanıp ve belgelenmiştir.

5. DEPREM KAYNAKLARI (FAYLAR)

Çalışma alanı, Akşehir─Simav fay sisteminin orta kesimini oluşturan ve fay sisteminin genel gidişine paralel olarak uzanan dört ana graben, yedi adet horst ve bu yapıların genel gidişine yaklaşık dik açıda gelişmiş üç adet ikincil graben ile bu graben─horst sisteminin kenar faylarıyla biçimlenip karakterize edilir. Yaklaşık BKB-gidişli ana grabenler ve horstlar güneydoğudan kuzeybatıya doğru Akşehir─Afyon, Sinanpaşa, Altıntaş ve Ağaçköy grabenleri; Kızıldağ, Paşadağ, Çavdarlı, Olucak, Ahırdağ, ve Muratdağı horstları olarak sıralanır (EK-1). İkincil grabenler ise yaklaşık KKD-gidişli Karamık, Şuhut ve Banaz grabenleridir. Tüm bu graben ve horstların kenarlarını sınırlayıp denetleyen ve büyüklüğü 5 ve daha büyük deprem üretme potansiyeline sahip olan faylar, inceleme alanının güneydoğu ucundan başlamak üzere, aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

5.1. Akşehir─Afyon Grabeni ve Kenar Fayları

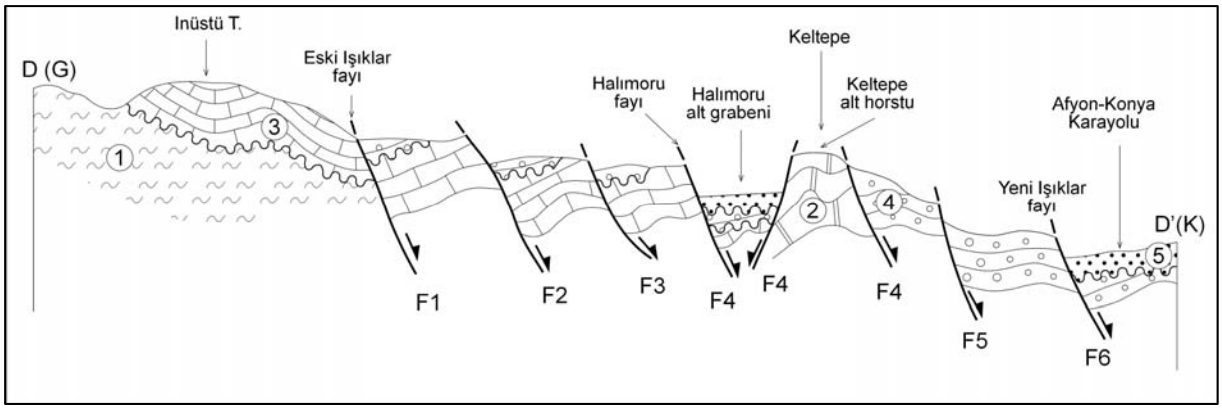
Akşehir─Afyon grabeni (AAG) 4─20 km genişliğinde, 130 km uzunluğunda, duraksamalı bir gelişim tarihçesine sahip, bakışımsız, uzanımı boyunca gidişi değişmekle birlikte genel olarak BKB─DKD- gidişli etkin bir çöküntü alanıdır (Atalay, 1975; Koçyiğit ve diğ. 2000; Koçyiğit ve Özacar 2003). İlkin Koçyiğit ve diğ. (2000) tarafından adlanıp gelişimi ayrıntılı olarak açıklanan AAG'nin yaklaşık 51 km uzunluğundaki BKB kesimi inceleme alanımız içinde kalmakta olup, bu kesimin yaklaşık 34 km uzunluğundaki Çobanlar─Afyon kesimi günümüzde sismik boşluk özelliğindedir. AAG'nin inceleme alanımız içinde kalan kesimi kuzeyden Paşadağ, güneyden Kızıldağ horstlarıyla çevrelenmekte olup, kuzeybatı ucunda ise yaklaşık K─G- gidişli Türkmentepe horstu ile batıdaki Altıntaş ve Sinanpaşa grabenlerinden ayrılır (EK-1). Diğer taraftan, AAG'nin batı kesimi Çavdarlı alt horstuyla da daha küçük kesimlere bölünmüş durumdadır.

İnceleme alanımız içinde AAG, kuzeyden Hamidiye ve Yarımca fay zonları, güneyden Akşehir fay zonu, batıdan ise Demirçevre ve Fethibey fay zonlarıyla sınırlanıp denetlenir.

AAG'nin kuzey ve güney kenarını sınırlayan fay zonları, yaklaşık KKD-gidişli Karamık ve Şuhut grabenlerinin kenar fay zonlarıyla da (örneğin: Ağzıkara fayı, Yarışlı fayı, Kurucaova fay zonu, Devederesi fay zonu ve Koçbeyli fay zonu gibi) kesişmekte ve birbirlerini etkilemektedir (EK-1). Anılan fay zonlarının kesişme yerleri genellikle hareketlerin kilitlenip yavaşladığı, bu nedenle daha yüksek miktarda enerjinin biriktiği potansiyel deprem alanlarıdır. Nitekim 3 Şubat 2002 Çay depremi sırasında Akşehir─Afyon fay zonunun Koçbeyli, Devederesi ve Kurucaova fay zonlarıyla kesişme yerlerindeki (kavşak yerleri) faylar etkinlik kazanmış ve büyüklüğü Mw = 5.3 ve Mw = 6.0 arsında değişen depremlerin oluşmasına ve yer yer 30 m ile 1 km uzunlukta, KKD-gidişli yüzey kırıklarının gelişmesine yol açmıştır (Özden ve diğ. 2002; Dirik 2002; Başokur ve diğ. 2000; Kalafat ve diğ. 2002). AAG'nin inceleme alanımız içinde kalan kesimini sınırlayıp denetleyen ve yıkıcı deprem üretme potansiyeline sahip olan faylar aşağıda öz biçimde açıklanıp analiz edilmiş ve faylarla ilgili aktif fay parametreleri (fayın türü, yaşı, eğim yünü ve miktarı, doğrultusu, uzunluğu, atım miktarı, olasılı etkinlik derecesi, üretebileceği enbüyük depremin büyüklüğü gibi) sunulmuştur.

5.1.1. Akşehir Fay Zonu (AFZ)

İlkin Koçyiğit ve diğ. (2000) tarafından adlanıp, çeşitli özellikleri ayrıntılı olarak açıklanmış olan Akşehir fay zonu verev atımlı normal bir faylanma kuşağı olup, AAG'nin güney kenarını sınırlayıp denetler. AFZ'nun inceleme alanımız içinde kalan kesimi doğuda Cumhuruyit beldesi ile batıda Tınaztepe yerleşkesi arasında yer alır (EK-1). AFZ'nun batı kesimi yaklaşık ve toplam olarak 2─12 km genişlikte, 54 km uzunlukta ve genel olarak BKB-gidişli olup, uzunlukları 0.9─28 km arasında değişen, 0.2─4 km aralıklı, birbirine paralel-yarı paralel uzanan, D─B- ve BKB-gidişli çok sayıda yapısal fay segmentinden oluşur ve kuzeye graben içine doğru bakan basamak türü faylanma biçimi oluşturur (EK-1; EK-1 de C-C' jeoloji enine kesidi ve Şekil 2). İnceleme alanı içinde, AFZ'nu oluşturan tüm fay segmentleri boyunca birikmiş olan düşey atım miktarı yaklaşık 0.9 km dolayındadır. Gerek morfotektonik ve gerekse sismik verilere göre, AFZ'nu oluşturan yapısal fay segmentlerinin birçoğu diri olup büyüklüğü 5 ve üzerinde deprem üretme potansiyeline sahiptir. Çalışmamızda ayrı ayrı adlanmış olan bu faylar arasında Cumhuriyet, Maltepe, Yeni Işıklar, Kalecik, Karahisar, Halımoru, Belkaracaören, Eski Işıklar ve Değirmendere fayları sayılabilir (EK-1).

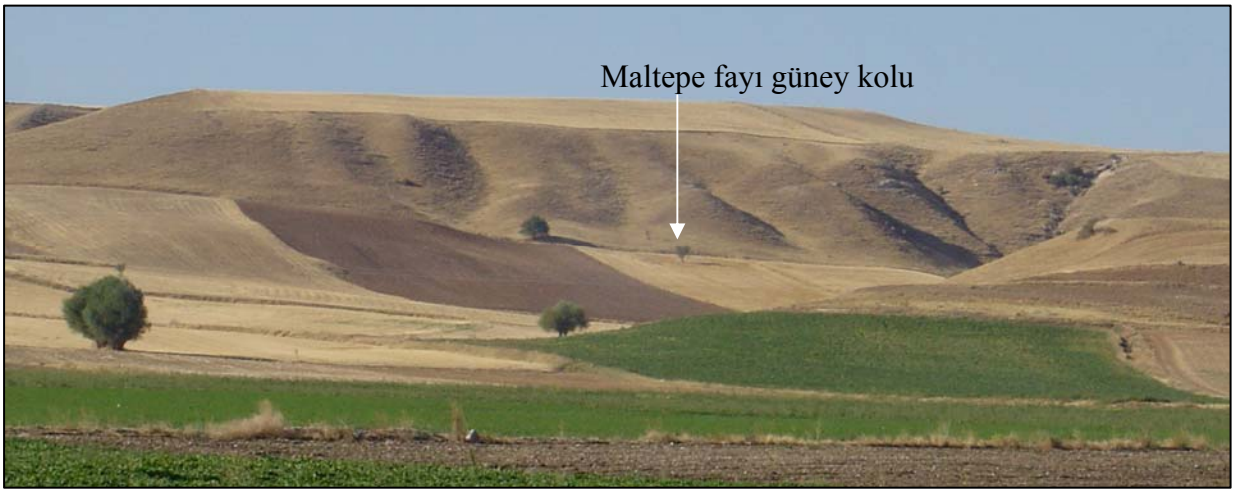


Şekil 2. Afyon ili yakın doğusunda Akşehir─Afyon grabeninin güney kenarının basamak türü faylanma biçimini gösteren ölçeksiz enine jeoloji kesiti (yer: EK-1' de D-D'). 1: geç Paleozoyik yaşlı metamorfitler, 2: geç Paleozoik yaşlı mermer, 3: Miyosen─Orta Pliyosen yaşlı gölsel sedimanter istif, 4: Pliyo─Kuvaterner yaşlı taraça çakıltaşlar, ve 5: güncel graben dolgusu.

5.1.1.1.Cumhuriyet ve Maltepe Fayları

Bu faylar aynı zamanda Akşehir fay zonu ana fayının inceleme alanımız içindeki uzantısıdır. İnceleme alanımız dışında ve doğusunda yer alan Çay ilçesinin yaklaşık 2 km doğusunda, AFZ ana fayı gidişini, güneye doğru 30º'lik bir dönüşle, K60ºB'dan yaklaşık D─B'ya değiştirir ve batıya doğru devam ederek önce çay ilçesinden geçer ve 5 km sonra inceleme alanımız içindeki Cumhuriyet beldesine ulaşır. Cumhuriyet beldesi yakın batısında ilkin iki alt kola (Cumhuriyet ve Maltepe fayları) ayrılır. Daha sonra bu iki alt kol'dan Maltepe fay segmenti BKB doğrultusunda devam ederek, Yeni Maltepe köyü batısında tekrar iki kola ayrılır ve bu kollar da batıya doğru devam edip Karaburun kaplıcalarından geçer ve daha batıdaki Gözsüzlü köyü yakın batısında kuzeye bir sıçrama yaparak Değirmendere köyü batısında sona erer (EK-1). Cumhuriyet fay segmenti ise, Karamık grabeninin batı kenarını denetleyen Devederesi fay zonunda sona erer. İnceleme alanı dışındaki kesimi ile birlikte toplam uzunluğu yaklaşık 15 km olan Cumhuriyet ve Maltepe fayları kuzeye yaklaşık 58º ile eğimli ve verev atımlı normal fay özelliğindedir ve diridir. Fayların uzanımları boyunca geç Pliyosen öncesi oluşmuş kaya birimlerinin Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ile karşı-karşıya gelmeleri, akarsuların (örneğin: Kali Çayı) faylar tarafından denetlenip az da olsa sağ yanal yönde ötelenmesi Şekil 3), sıcak ve soğuk su çıkışlarının (örneğin: Karburun ve Heybeli sıcak su çıkışları gibi) fayların genel gidişlerine paralel dizilmi gibi (Şekil 4) morfotektonik yapı ve oluşumlar (EK-1), Cumhuriyet ve Maltepe faylarının jeolojik olarak etkin (diri) olduğunu gösterir. Diğer taraftan, AFZ ana fayının Cumhuriyet ve Maltepe segmentlerini de kapsayan Sultandağı─Maltepe kesimi, 3 Şubat 2002 tarihinde etkin hale glmiş ve Mw = 6.5 büyüklüğündeki (HARVARD 2002; Taymaz ve diğ. 2002) Çay depreminin oluşumuna kaynaklık etmiştir. Ayrıca, 3 Şubat 2002 çay depremi sırasında , Maltepe fay segmentinin

aşağı düşen kuzey bloğu (tavan bloğu) üzerinde gelişmiş yaklaşık 4 km uzunluğunda yüzey kırığı ve kırık boyunca 17 cm kadar düşey atım (kırığın kuzey bloğu düşmüş) gözlenmiş, ölçülmüş ve haritalanmıştır (Özden ve diğ. 2002; Başokur ve diğ. 2002; Dirik 2002; Koçyiğit ve Özacar 2003). 3 Şubat 2002 Çay depreminin odak mekanizması çözümleri (Kalafat ve diğ. 2002; Tapırdamaz ve diğ. 2002; Taymaz ve diğ. 2002), depreme kaynaklık eden fayın (AFZ ana fayının ve onu oluşturan Cumhuriyet ve Maltepe fay segmentlerinin) verev atımlı normal bir fay olduğunu (Atalay 1975a; Koçyiğit 1984; Koçyiğit ve diğ. 2000; Koçyiğit ve Özacar 2003) bir kez daha doğrulamıştır. Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülü esas alındığında, Cumhuriyet ve Maltepe faylarından kaynaklanabilecek en büyük depremin büyüklüğü Mw = 6.4 dür. Bu sonuç da 3 Şubat 2002 depremiyle bir kez daha doğrulanmıştır.



Şekil 3. Maltepe fayı güney kolunun kuzeyden güneye doğru genel görünümü (yer: Gözsüzlü köyü yakın güneyi)

Şekil 4. Doğudan batıya doğru Maltepe fayı kuzey kolunun genel görünümü (yer: Karaburun sıcaksu kaynağının yakın güneyi).

Cumhuriyet ve Maltepe fayları, Cumhuriyet beldesi ve Karaburun kaplıcaları arasındaki alanda (bu alandan aynı zamanda Afyon─Konya şehirlerarası asfalt yolu geçmektedir), KKD-gidişli Karamık grabeninin doğu ve batı kenarlarını sınırlayan ve denetleyen Koçbeyli ve Devederesi fay zonlarıyla kesişmekte olup, her iki fay zonunun kuzey kesimleri, 3 Şubat 2002 depremi sırasında etkin hale gelmiştir. Bu alanda (Demirciler yöresi ve Kadıköy yerleşkesi yakın batısı) depremden hemen sonra yapılan arazi çalışmalarında, uzunlukları 5m ile 1 km arasında değişen KKD-gidişli yüzey kırıklarının gelişmiş olduğunun gözlenmesi (Dirik 2002; Özden ve diğ. 2002) bunun en güvenilir kanıtlarından biridir.

5.1.1.2. Yeni Işıklar Fayı

İnceleme alanımızda, AAG'nin güney kenarını denetleyen, en uzun (28 km) ve en etkin fay olup, bu fay da inceleme alanımız içinde, AFZ'nun ana fayını temsil eden bir diğer fay segmentidir. Doğuda Değirmendere köyü ile batıda Küçük Kalecik köyü yakın kuzeyi arasında uzanan, yaklaşık BKB-gidişli (K50º─75ºB)Yeni Işıklar fayı kuzeye dikçe eğimli (75º─87º) verev atımlı normal bir faydır. Fayın büyük kesimi Geç Kuvaterner yaşlı alüvyon yelpazeleri tarafından örtülmüş olması nedeniyle fay sınırlı alanlarda yüzeyler (EK-1). Geç Kuvaterner yaşlı yelpaze tortulları Yeni Işıklar fayı tarafından kesilip yükseltilmiş ve bu yükselmiş yaşlı yelpaze tortulları, fayın kuzeyindeki tavan bloğunda graben dolgusunun en altında kalırken, fayın güneyini oluşturan taban bloğunda faya asılı taraça çakıltaşları olarak yüzeylemektedir (Şekil 2). Kızıltepenin yaklaşık 1.5 km batısında açılmış olan kum ocağında (Ek-1 de İstasyon 1 :S1) gerek fay gerekse açıklanan bu ilişkiler çok açık biçimde gözlenir (Şekil 5). Benzer tektonostratigrafik ilişkiler, daha batıda (Keltepe kuzeyi) ana faya paralel ve onunla aynı yöne eğimli sintetik normal fay segmenti boyunca da çok iy gelişmiş ve korunmuş olarak gözlenmektedir (EK-1 de İstasyon 2: S2 ve Şekil 2). S2 nolu istasyonda

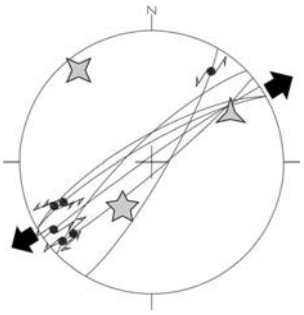
Şekil 5. Yeni Işıklar fayının yakın görünümü (yer: EK-1' de S-1).

Pliyo─Kuvaterner yaşlı eski yelpaze tortulları faya asılı fay taraçası olarak yüzeylemekte olup, taraça tortulları sedimantasyonla yaşıt çok sayıda ve normal türde büyüme fayı içermektedir (Şekil 6). Taraça tortullarının ince taneli kesimlerinde, gerek sedimantasyonu denetleyen gerekse onları daha sonra kesen genişleme türündeki neotektonik rejim ve ilgili kayma vektörleri (slikinsaydlar: kayma düzlemleri ve kayma çizgileri) yaygın olarak kayıd edilmiş ve iyi korunmuş biçimde gözlenir (Şekil 7). Her iki istasyondan (EK-1 de S1 ve S2) ölçülen kayma verilerinin kinematik analizi, Yeni Işıklar fayı ve ona paralel uzanan sintetik fayın verev atımlı normal bir fay karakterinde olduğunu ve bu alandaki yerel genişlemenin KKD-yönde sürdüğünü kanıtlamıştır (Şekil 8a, 8b). Fayın tavan bloğundaki graben dolgusunun kalınlığı (Çuhadar 1977) baz alındığında, fay boyunca birikmiş olan toplam düşey atım miktarı 200─250 m dolayındadır.

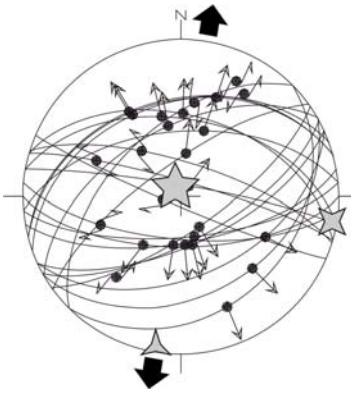
Yeni Işıklar fayı diri bir fay olup günümüzde bir sismik boşluk olma özelliğni sürdürmektedir. Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülüne göre, Yeni Işıklar fayından kayanaklanacak en büyük depremin büyüklüğü Mw = 6.76 dir.

Şekil 6. Pliyo─Kuvaterner yaşlı faylanmış taraça tortulları (yer: EK-1' de S-2).

Şekil 7. Pliyo─Kuvaterner yaşlı taraça tortulları içerisinde kayıd edilmiş fay aynası verileri (kayma düzlemi ve kayma çizgileri) (yer: EK-1' de S-2).

No	Doğrultu (ºN)	Eğim miktarı (º)	Yan yatım (º)	Yön	Gerilim eksenleri	ϕ	
1	055°	87° KD	11° G	N	σ_1= 57º/213º σ_2=12º/322º σ_3= 31º/059º	0.492	
2	050°	84° G	21° G	N			
3	060°	79° K	28°G	N			
4	060°	74° K	21° G	N			
5	046°	77° K	11° G	N			
6	030°	81° G	19° K	N			

Şekil 8a. Yeni Işıklar fay aynasından alınan kayma verileri ve bu verilerin kinematik analizi. Büyük oklar yerel genişleme yönünü gösterir. (yer: EK-1' de S-1).

No	Doğrultu (ºN)	Eğim miktarı (º)	Yan yatım (º)	Yön	Gerilim eksenleri	ϕ	
1	280°	84° K	87° G	N	σ_1= 84º/329º σ_2=04º/099º σ_3= 04º/189º	0.242	
2	054°	73° K	75° K	N			
3	055°	72° G	89° G	N			
4	060°	54° K	78° K	N			
5	293°	85° G	82° K	N			
6	065°	65° G	85° G	N			
7	075°	39° K	62° K	N			
8	045°	54° K	52° K	N			
9	085°	69° G	85° K	N			
10	080°	66° G	82° G	N			
11	014°	58° K	42° G	N			
12	287°	72° K	64° K	N			
13	280°	49° K	74° K	N			
14	090°	64° G	71° B	N			
15	286°	47° K	80° K	N			
16	286°	82° K	42° K	N			
17	275°	68° G	50° K	N			
18	070°	40° K	82° G	N			
19	000°	40° D	32° K	N			
20	075°	38° K	77° G	N			
21	000°	41° D	39° K	N			
22	061°	67° G	80° G	N			
23	065°	48° G	61° K	N			
24	045°	46° K	80° K	N			

Şekil 8b. Yeni Işıklar fay aynasından alınan kayma verileri ve bu verilerin kinematik analizi. Büyük oklar yerel genişleme yönünü gösterir. (yer: EK-1' de S-2).

5.1.1.3. Karahisar fayı

Karhisar fayı, doğuda Afyonkarahisar ili güneyi ile batıda Boyalı yerleşkesi yakın güneyi arasında yüzeyler (EK-1). Yaklaşık 14 km uzunlukta, D─B-gidişli ve kuzeye doğru 64º ile eğimli olan Karahisar fayı verev atımlı normal fay karakterindedir. İnceleme alanımız

içinde AFZ'nun ana fayını temsil eden bir diğer fay segmenti olan Karahisar fayı uzanımı boyunca Miyosen─Orta Pliyosen yaşlı Afyon stratovolkanik karmaşığını keser ve egemen olarak düşey yönde 150 m kadar öteler. Fay boyunca volkanitler parçalanıp ezilmiş ve dilinimli bir yapı kazanmıştır. Karahisar fayı, özellikle Afyon ilinin tarihi dokusunu oluşturan kale ve çevresinde (Karahisar kesimi), kuzeye kaleye ve şehre doğru dikçe bakan fay sarplığı oluşturur (Şekil 9). Küçük deprem episantırlarının dağılımına göre (EK-2), Karahisar fayı diri olup, IX şiddetindeki 13 Mayıs 1876 tarihsel depreminin de (Soysal ve diğ. 1981) Karahisar fayından kaynaklanmış olma olasılığı oldukça yüksektir. Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülü baz alındığında, Karahisar fayından kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü Mw = 6.4 dür.

Şekil 9. Kuzeyden güneye doğru Karahisar fay sarplığı (ön planda Afyon ilinin tarihsel kesimi görülmektedir).

5.1.1.4.Kalecik fayı

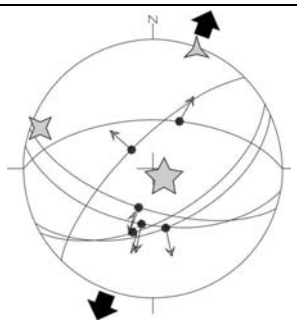
Kalecik fayı doğuda Küçük Kalecik köyü ile batıda Tınaztepe arasında yüzeyler ve uzanımı boyunca Afyon volkanitlerini keser ve egemen olarak düşey yönde, 50-100 m arasında değişen miktarlarda öteler. D─B-gidişli ve kuzeye dikçe (70º) eğimli olan Kalecik verev atımlı normal fayı kuzeye bakan fay sarplığı sunar. Fayın izi boyunca fayın genel gidişine paralel olarak dizilmiş soğuk su kaynakları ve fay tarafından denetlenen dereler (fay vadisi oluşumu) ve ezilmiş-parçalanmış ve dilimlenmiş kayalar (Fay breşleri) bir taraftan fayın varlığını diğer taraftan da fayın jeolojik olarak diri olduğunu gösterir. Fayın doğu ve batı ucundaki sismik etkinlik de (EK-2) bu gözlem ve yorumu destekler. Ayrıca, VI şiddetindeki 1 Kasım 1873 tarihsel depreminin de Kalecik fayı ile Yeni Işıklar fayının birbirlerini etkiledikleri ve enerji birikimine yol açtıkları kavşak yerinden (EK-1) kaynaklanmış olma olasılığını doğrular. Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülü baz alındığında, 11

km uzunluğundaki Kalecik fayından kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü Mw = 6.2 dir.

5.1.1.5. Halımoru Fayı

Halımoru fayı doğuda Yeni Işıklar beldesinin yakın doğusunda Yeni Işıklar ana fayından ayrılır ve batı yönde Halımoru ve Bozdoğan köylerinden geçerek daha batıda kuzeybatıya doğru 20º lik bir dönme ile gidişini değiştirir ve Değirmenayvalı yerleşkesi yakın doğusunda sona erer (EK-1). Yaklaşık D─B- gidişli, 17 km uzunluğunda, kuzeye doğru ortalama 68º ile eğimli sintetik türde verev atımlı normal bir faydır. Halımoru fayı uzanımı boyunca geç Paleozoyik yaşlı metamorfitleri, Miyosen─Orta Pliyosen yaşlı Afyon volkanitlerini ve kıvrımlı gölsel kireçtaşlarını keser ve bu yaşlı birimleri Kuvaterner yaşlı graben dolgusu ile tektonik olarak karşı karşıya getirir (EK-1, Şekil 2). Halımoru fayı boyunca toplam düşey atım miktarı yaklaşık 200 m dolayında olup, fayın düşen kuzey bloğu güneye faya doğru önemli derecede (15º' ye değin) eğimlenmiştir (Şekil 10). Bu tür geriye eğimlenmeler (back-tilting), ilgili fayın diri olduğunun önemli bir morfotektonik belirtecidir. Bu durum bu yöredeki küçük deprem etkinliği (EK-2) tarafından da desteklenir. Halımoru fayı kuzeye bakan dikçe fay sarplığı ve fay sarplığı üzerinde yer yer iyi korunmuş fay aynası sunar. Fay aynasından (EK-1 de İstasyon 3: S-3) ölçülen kayma verilerinin kinematik analizi, Halımoru fayının verev atımlı normal bir fay oldoğunu ve bu alanın KKD-yönde genişlemekte olduğunu gösterir (Şekil 11). Wells ve Coppersmith'in kuramsal formülüne göre, Halımoru fayından kaynaklanabilecek en büyük depremin büyüklüğü Mw = 6.5 dir.

Şekil 10. Halımoru fayının kuzeyden güneye doğru genel görünümü. GE: Geriye eğimlenme (Back─tilting) (ön planda Halımoru köyü).

No	Doğrultu (ºN)	Eğim miktarı (º)	Yan yatım (º)	Yön	Gerilim eksenleri	ϕ	
1	090°	59° K	74° D	N	σ_1= 81º/128º σ_2=08º/290º σ_3= 03º/020º	0.266	
2	280°	54° B	90°	N			
3	288°	64° G	89° K	N			
4	065°	52° G	82° G	N			
5	045°	72° K	89° G	N			
6	060°	58° G	60° G	N			

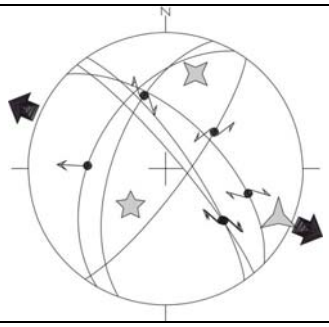
Şekil 11. Halımoru fay aynasından alınan kayma verileri ve bu verilerin kinematik analizi. Büyük oklar yerel genişleme yönünü gösterir. (yer: EK-1' de S3).

5.1.1.6. Belkaracaören Fayı

Belkaracaören fayı doğuda İnüstü tepe ile batıda Göme yaylası arasında yüzeyler (EK-1). Toplam 13 km uzunluğunda, BKB-gidişli ve kuzeye dikçe (74º) eğimli verev atımlı normal bir fay olan Belkaracaören fayı, uzanımı boyunca Miyosen─Orta Pliyosen yaşlı ve kıvrımlı gölsel kireçtaşları ile Afyon volkanitlerini keser ve onları, 60─130 m arasında değişen miktarlarda ve egemen olarak düşey yönde öteler. Fayın düşen kuzey bloğunun, güneye faya doğru eğimli (20º ye kadar) olması fayın jeolojik olarak diri olduğunu gösteren en güvenilir verilerden biridir (Şekil 12). Belkaracaören fayı kuzeye dikçe bakan fay sarplığı ve sarplık üzerinde yer yer iyi korunmuş fay aynası sunar (EK-1 de İstasyon 4: S4). Fay aynasından ölçülmüş kayma vektörlerinin kinematik analizi (Şekil 13) fayın verev atımlı normal bir fay olduğunu ve bu alanın BKB-yönde yerel olarak genişlediğini gösterir.

Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülü baz alındığında, Belkaracaören fayından kaynaklanacak enbüyük depremin büyüklüğü Mw = 6.37 dir.

Şekil 12. Belkaracaören fayının kuzeydoğudan güneybatıya doğru genel görünümü. GE: Geriye eğimlenme (Back─tilting).

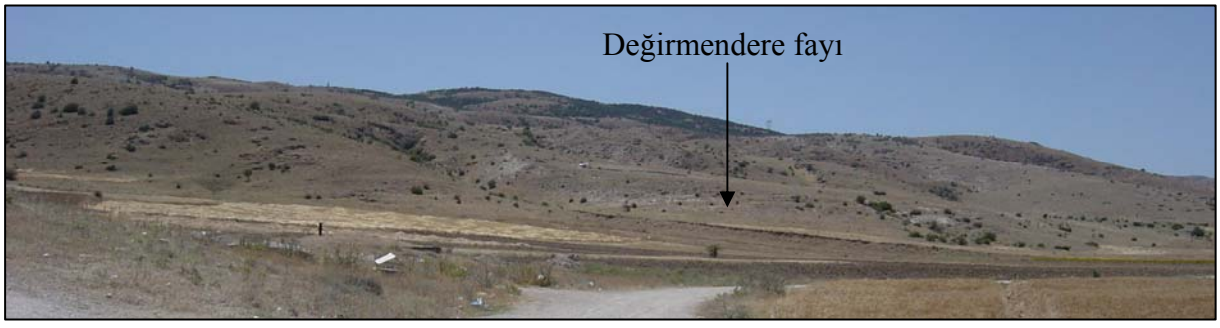
No	Doğrultu (ºN)	Eğim miktarı (º)	Yan yatım (º)	Yön	Gerilim eksenleri	ϕ	
1	020°	58° K	54° K	N	σ_1= 75º/174º σ_2=13º/020º σ_3= 06º/288º	0.175	
2	314°	59° K	45° G	N			
3	036°	78° G	55° K	N			
4	325°	76° K	44° G	N			
5	030°	46° K	70° G	N			
6	320°	82° K	44° G	N			

Şekil 13. Belkaracaören fay aynasından alınan kayma verileri ve bu verilerin kinematik analizi. Büyük oklar yerel genişleme yönünü gösterir. (yer: EK-1' de S4).

5.1.1.7. Değirmendere Fayı

Yaklaşık 11 km uzunluğunda, D─B-gidişli ve kuzeye dikçe (75º-80º) eğimli Değirmendere verev atımlı normal fayı doğuda Değirmendere köyü güneyi ile batıda İnüstü tepenin güneydoğusu arasında yüzeyler (EK-1). Uzanımı boyunca geç Paleozoyik yaşlı metamorfitleri, Miyosen─Orta Pliyosen yaşlı Afyon volkanitlerini ve kıvrımlı gölsel kireçtaşlarını keser, bu kayaları yer yer tektonik olarak karşı karşıya getirir ve egemen olarak düşey yönde 30─80 m kadar öteler. Değirmendere deresi, yarı doğrusal bir fay izi ve kuzeye dikçe bakan fay sarplığına (Şekil 14) sahip olan Değirmendere fayının tavan bloğu üzerinde, fayın genel gidişini izleyen derin bir yatak açmıştır (EK-1). Değirmendere fayı aynı zamanda, KKD-gidişli Şuhut grabeninin doğu kenarını sınırlayan ve Kurucaova fay zonunu oluşturan birçok fay segmentiyle de kesişir. Fay denetimli akarsular, tavan bloğunun güneye faya doğru eğimlenmesi, fay izine paralel dizilmiş güncel yelpazeler (ölçek nedeniyle haritada gösterilmedi) gibi morfotektonik belirteçler yanısıra küçük deprem etkinliği (EK-2) de Değirmendere fayının diri olduğunu gösterir.

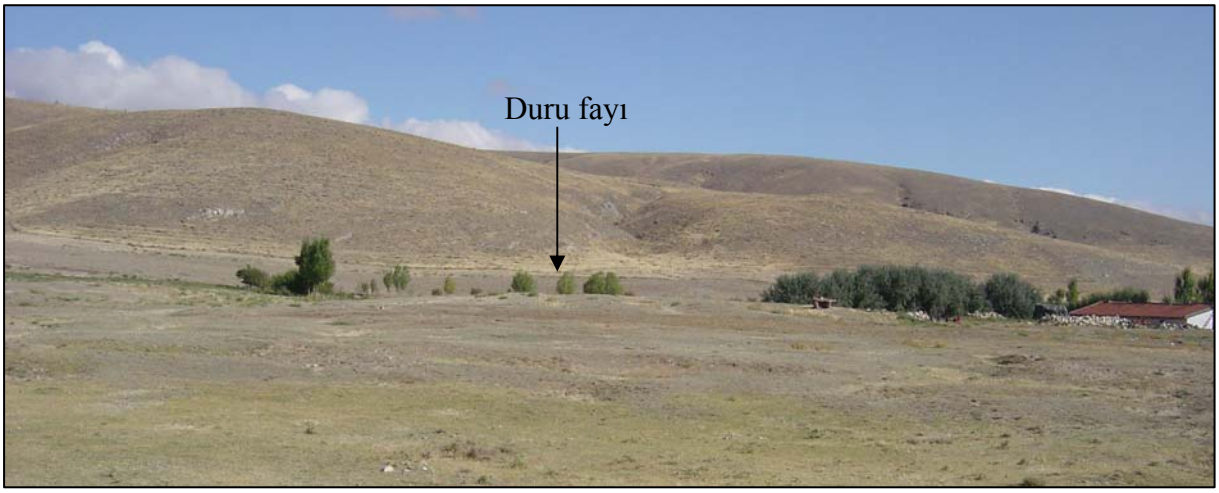
Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülü baz alındığında, Değirmendere fayından kaynaklanacak enbüyük depremin büyüklüğü Mw = 6.2 dir.



Şekil 14. Değirmendere fayının kuzeyden güneye doğru genel görünümü.

5.1.2. Hamidiye Fay Zonu

Bu yapı AAG'nin inceleme alanımız içinde kalan kuzey kenarını (Çobanlar─Bolvadin arasındaki kesimini) sınırlayıp denetleyen verev atımlı norrmal fay kuşağıdır (EK-1). Hamidiye fay zonu inceleme alanının doğu kesiminde yer alan Çobanlar ilçesi yakın doğusundaki Hamidiye beldesi ve çevresinde yüzeyler ve bu alan içerisinde bir taraftan KKD-gidişli Kurucaova ve Devederesi fay zonlarıyla, diğer taraftan ise KB-gidişli Yarımca fay zonuyla kesişerek önemli miktarda gerilim enerjisinin biriktiği bir kavşak oluşturur. Hamidiye fay zonu 3.5 km genişlikte, toplam 14 km uzunlukta olup, birbirine paralel, sık aralıklı (0.5─1.2 km), uzunlukları 1.2─14 km arasında değişen ve güneye graben içine doğru eğimli çok sayıda fay segmentinden oluşur (EK-1). Bunlar içerisinde en uzunu ve en etkin olanı Dura fayıdır (Şekil 15).



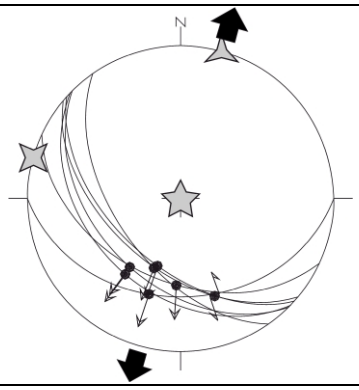
Şekil 15. Duru fayının güneyden kuzeye genel görünümü.

Şekil 16. Duru fayı fay aynasının yakın görünümü.

5.1.2.1. Duru Fayı

Yarı doğrusal bir ize sahip olan Duru fayı batıda Millik kaplıcaları ile doğuda Duru köyü arasında yüzeyler. 14 km uzunluğunda ve güneye graben içine doğru dikçe eğimli olan Duru fayı uzanımı boyunca geç Paleozoyik yaşlı mermer ve şistleri keser, yaklaşık 200 m kadar düşey yönde öteler ve bu temel kayalarını Kuvaterner yaşlı graben dolgusu ile tektonik olarak karşı karşıya getirir (EK-1). Duru fayı yer yer iyi korunmuş fay aynası sunar (EK-1 de İstasyon 5: S5 ve Şekil 16). Fay aynasından ölçülen kayma vektörlerinin kinematik analizi, Duru fayının verev atımlı normal bir fay olduğunu ve bu alandaki yerel genişlemenin KKD-yönde sürdüğünü gösterir (Şekil 17).

Fay tarafından denetlenen dere yatakları, fay izine koşut dizilmiş güncel alüvyon yelpazeleri (ölçek nedeniyle çizilmedi) ve graben dolgusunun yaşlı temel kayaları ile karşı karşıya gelmesi gibi morfotektonik belirteçlerin yanısıra küçük deprem etkinliği (EK-2) Duru fayının hem jeolojik hem de sismik bakımdan diri olduğunu gösterir. Wells ve Coppersmit'in (1994) kuramsal formülüne göre, Duru fayından kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü Mw = 6.4 dür.

No	Doğrultu (ºN)	Eğim miktarı (º)	Yan yatım (º)	Yön	Gerilim eksenleri	ϕ	
1	295°	45° G	74° G	N	σ_1= 89º/183º σ_2=00º/286º σ_3= 01º/016º	0.459	
2	310°	52° G	44° G	N			
3	090°	36° G	75° B	N			
4	315°	44° G	84° G	N			
5	314°	39° G	84° G	N			
6	312°	54° G	76° G	N			
7	325°	55° G	69° G	N			

Şekil 17. Duru fayı aynasından alınan kayma verileri ve bu verilerin kinematik analizi. Büyük oklar yerel genişleme yönünü gösterir. (yer: EK-1' de S5).

5.1.3. Yarımca Fay Zonu

Yarımca fay zonu yaklaşık 0.5─13 km genişliğinde, 50 km uzunluğunda, K50ºB-gidişli verev atımlı normal bir fay kuşağı olup güneydoğuda Hamidiye beldesi ile kuzeybatıda Ablak köyü arasında yüzeyler (EK-1). Yarımca fay zonu, AAG'nin inceleme alanımız içinde kalan kesiminin en kuzeybatı kenarını (Kırburun─Ablak köyü arasındaki kesimi) sınırlar ve yer yer graben kenarını keserek değişik boyutlu alt graben ve alt horstlara böler (örneğin: Gebeciler alt grabeni ve Çavdarlı alt horstu gibi) (EK-1). Diğer taraftan, Yarımca fay zonu

güneydoğuda (Çobanlar─Hamidiye arasında) KKD-gidişli Kurucaova ve D─B-gidişli Hamidiye fayı ile kesişir ve bu alanda gerilim enerjisinin birkmesine yol açarken, kuzeybatı ucuna yakın yerde de (Gazlıgöl beldesi─Yarımca çevresinde) yine KKD-gidişli Fethibey fay zonunu keser ve onu sol yanal yönde öteler (EK-1). Hamidiye, Kurucaova, Yarımca ve Fethibey fay zonlarının kesişme yerlerinde (kavşak yerleri) yoğunlaşan sıcak su çıkışlarının yoğunlaşmış olması da, bir taraftan bu fay kuşaklarının diri olduğunu, diğer taraftan da bu alanların yüksek gerilim enerjisi biriktirdiğini ve gelecekteki yıkıcı depremlerin olası yeri olduğunu belgeler (EK-1).

Kesintili yüzeylemeler veren Yarımca fay zonu, birbirine paralel─yarı paralel, sık aralıklı (0.5─5.5 km), boyutları 1─10 km arasında değişen, güneybatı ve kuzeydoğuya dikçe eğimli çok sayıda fay segmentinden oluşur.Yarımca fay zonu içinde, K─G-, KKB- ve KKD-gidişli, 2─5.5 km uzunlukta diğer bazı fay segmentleri de yer alır. Yarımca fay zonunu oluşturan ve yıkıcı deprem üretma potansiyeline sahip faylar arasında Susuz, Çavdarlı ve Kurşunlu fayları sayılabilir (EK-1).

5.1.3.1. Susuz Fayı

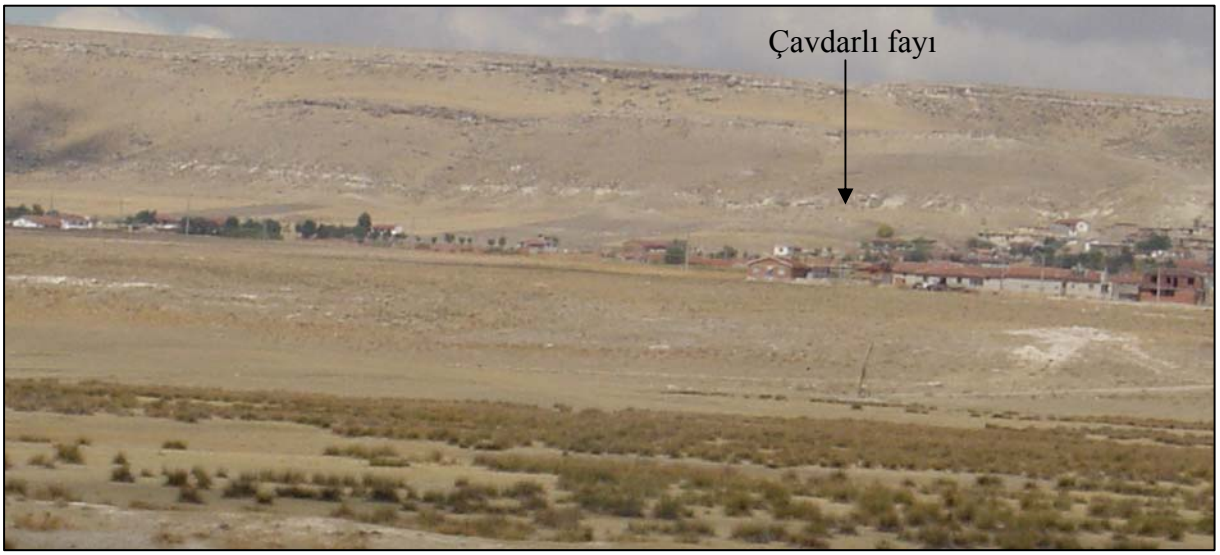
Susuz köyü kuzeyinde ve Güzelim tepenin güneyinde yüzeyleyen, K50º─70ºB-gidişli, güneybatıya dikçe (75º) eğimli, yaklaşık 10 km uzunlukta, yarı doğrusal ize sahip verev atımlı normal bir faydır (EK-1). Uznımı boyunca geç Paleozoyik yaşlı metamorfitleri (çoğun kuvarsit, kalkşist ve mermer) keser, düşey yönde 180 m kadar öteler ve Kuvaterner yaşlı graben dolgu sedimanlarıyla tektonik olarak karşı─karşıya getirir. Faylanma nedeniyle yatağı bükülmüş ve ötelenmiş dereler, ani yamaç eğimi değişimi ve yaşlı kayalar ile genç sedimanter örtünün tektonik olarak karşı─karşıya gelmesi gibi morfotektonik belirteçlerin yanısıra, küçük deprem etkinliği de (EK-2) Susuz fayının diri olduğunu gösterir.

Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülüne göre, Susuz fayından kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü Mw = 6.2 dir

5.1.3.2. Çavdarlı fayı

Yaklaşık K70ºB-gidişşli, 9 km uzunlukta, güneye dikçe eğimli (70º─75º), verev atımlı normal bir fay olup, Çavdarlı alt horstunun güney kenarını keser ve denetler. Güneye ve aşağıya düşen tavan bloğu üzerinde Çavdarlı köyünün de yer aldığı Çavdarlı fayı (Şekil 18), uzanımı boyunca erken─Orta Pliyosen yaşlı gölsel kireçtaşı─marn ardaşımını keser ve onu düşey yönde 130 m kadar öteler. Küçük deprem etkinliği (EK-2), çavdarlı fayının sismik olarak etkin olabileceğini gösterir.

Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülüne göre, Çavdarlı fayından kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü Mw = 6.18 dir.



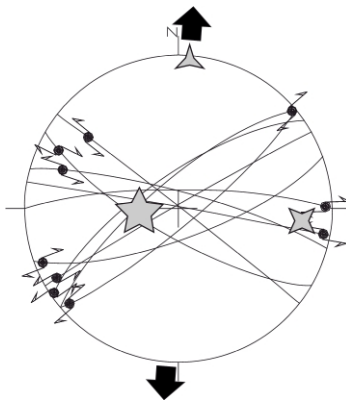
Şekil 18. Güneyden kuzeye doğru Çavdarlı fayının genel görünümü.

5.1.3.3. Kurşunlu Fayı

Yaklaşık K50ºB-gidişli, 5.5 km uzunluğunda, güneybatıya dikçe eğimli, verev atımlı diri bir normal faydır. Kurşunlu fayı, Çavdarlı alt horstunun güneybatı kenarını denetler ve uzanımı boyunca Orta─geç Pliyosen yaşlı gölsel kireçtaşı─marn ardaşımını keser, düşey olarak 40 m kadar öteler ve Pliyo─Kuvaterner yaşlı graben dolgusu ile tektonik olarak karşı─karşıya getirir. Kurşunlu köprüsü'nün yakın kuzeydoğusunda (EK1 de İstsyon 6: S6) ve Kurşunlu fayının tavan bloğunda, başlıca kahve-sarı-beyaz renkli marn, çamurtaşı, gevşek tutturulmuş çapraz katmanlı çakıltaşı ve gözenekli kireçtaşı ardaşımından oluşan Pliyo─Kuvaterner yaşlı graben dolgusu çok sayıda birincil (sedimentasyon ile yaşıt) ve ikincil (tektonik) fay topluluğu (Şekil 19) ile genişleme türü bir tektonik rejimin kayıdlarını (slikinsaydları: kayma düzllemi ve kayma çizgilerini) içerir. Buradan aölçülen kayma düzlemi verilerinin kinematik analizi (Şekil 20), Kurşunlu fayının verev atımlı normal bir fay olduğunu ve bu alanın da yaklaşık K─G- yönde genişlemekte olduğunu gösterir.

Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülüne göre Kurşunlu fayından kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü Mw = 5.9 dur.

Şekil 19. Pliyo─Kuvaterner yaşlı graben dolgusunu kesen normal bir fayın yakın görünümü (yer: EK-1' de S6).

No	Doğrultu (ºN)	Eğim miktarı (º)	Yan yatım (º)	Yön	Gerilim eksenleri	ϕ	
1	055°	72° K	03° G	N	σ_1= 69º/265º σ_2=21º/096º σ_3= 04º/004º	0.194	
2	050°	75° K	03° K	N			
3	280°	89° K	05° K	N			
4	070°	74° G	06° G	N			
5	050°	81° G	07° G	N			
6	090°	80° K	05° D	N			
7	060°	88° K	10° G	N			
8	300°	75° G	15° B	N			
9	308°	89° K	26° K	N			
10	285°	81° K	22° K	N			

Şekil 20. Kurşunlu fay aynasından alınan kayma verileri ve bu verilerin kinematik analizi. Büyük oklar yerel genişleme yönünü gösterir. (yer: EK-1' de S6).

5.1.4. Fethibey Fay zonu

Fethibey fay zonu, AAG'nin en kuzeybatısında ve kuzeyde Kunduzlu yerleşkesi ile güneyde Köprülü beldesi arasında yüzeyler (EK-1). Güneyde Köprülü beldesi yakın kuzeyinden başlar ve daha sonra Gecek kaplıcalarından geçerek DKD-doğrultusunda Fethibey beldesi batısına değin devam eder; burada kuzeye doğru 30º lik bir dönüş yapar ve KKD

doğrultusunda devam ederek daha kuzeyde (Yarımca yerleşkesi çevresinde) Yarımca fay zonu ile kesişir ve aynı fay zonu tarafından sol yanal yönde Gazlıgöl kaplıcalarına kadar ötelenir. En kuzeyde ise, yine KKD-doğrultusunda Yaylabağı ve Kunduzlu yerleşkeleri boyunca üç ayrı fay segmenti olarak aralarında gelişmiş alt graben ve horstu da sınırlayıp inceleme alanımızın yakın dışında sona erer (EK-1). Fethibey fay zonu yaklaşık 0.6─3.5 km genişlikte, 27 km uzunlukta ve DKD- ile KKD- arasında değişen gidişe sahip, güney-güneydoğuya doğru eğimli normal bir fay zonudur (Şekil 21). Fethibey fay zonu birbirine paralel─yarı paralel, sık aralıklı (0.2─2 km), uzunlukları 1.2─17 km arasında değişen çok sayıda normal fay segmentinden oluşur. Fethibey fay zonu Gecek kaplıcaları ile Yarımca yerleşkesi arasında AAG'nin en kuzeybatı kenarını sınırlar ve denetler (EK-1 ve Şekil 21). Fethibey fay zonu güneybatıda Köprülü ve Demirçevre fay zonlarıyla, kuzeydoğuda ise Yarımca fay zonuyla kesişir. Bu kesişme alanları yüksek gerilim enerjisinin birikim yerleri olup, bu durum, sıcak su çıkışlarının (örneğin: Gecek ve Gazlıgöl kaplıcaları gibi) fay ve fay zonlarının kesişme yerlerinde (kavşaklarında) yoğunlaşmış olmasıyla da beirginlik kazanır (EK-1).

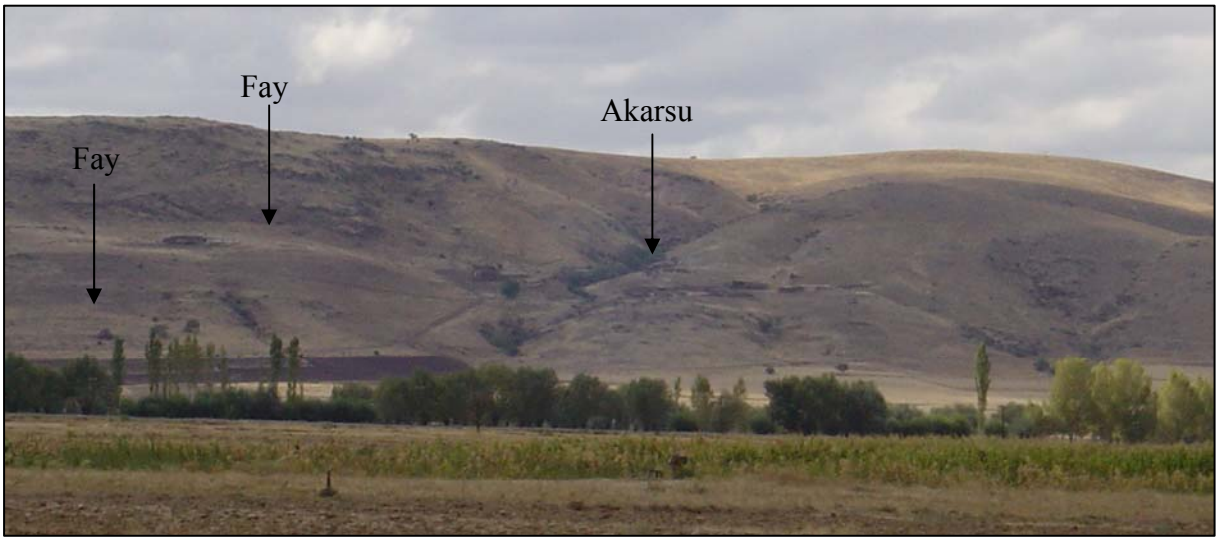
Şekil 21. Güneydoğudan kuzeybatıya doğru Fethibey fay zonunun kuzeydoğu yarısının genel görünümü.

Fethibey fay zonu ve fay zonunu oluşturan fay segmentleri uzanımları boyunca geç Paleozoyikv yaşlı metamorfitleri, Miyosen─ Orta Pliyosen yaşlı göl─akarsu sedimanter istifini ve bu istifler üzerine akmış ve Afyon stratovolkan karmaşığının en son evresini temsil eden bazaltik lav akıntılarını keser, bu birimleri egemen olarak düşey yönde öteler (yaklaşık 285─300 m) ve ayrıca, geç Pliyosen öncesi yaşlı bu birimleri gerek kendi aralarında gerekse Pliyo─Kuvaterner yaşlı grben dolgusu ile tektonik olarak karşı─karşıya getirir. Diğer taraftan, fay zonunu oluşturan fay segmentleri güneydoğuya graben içine doğru bakan basamaklanma

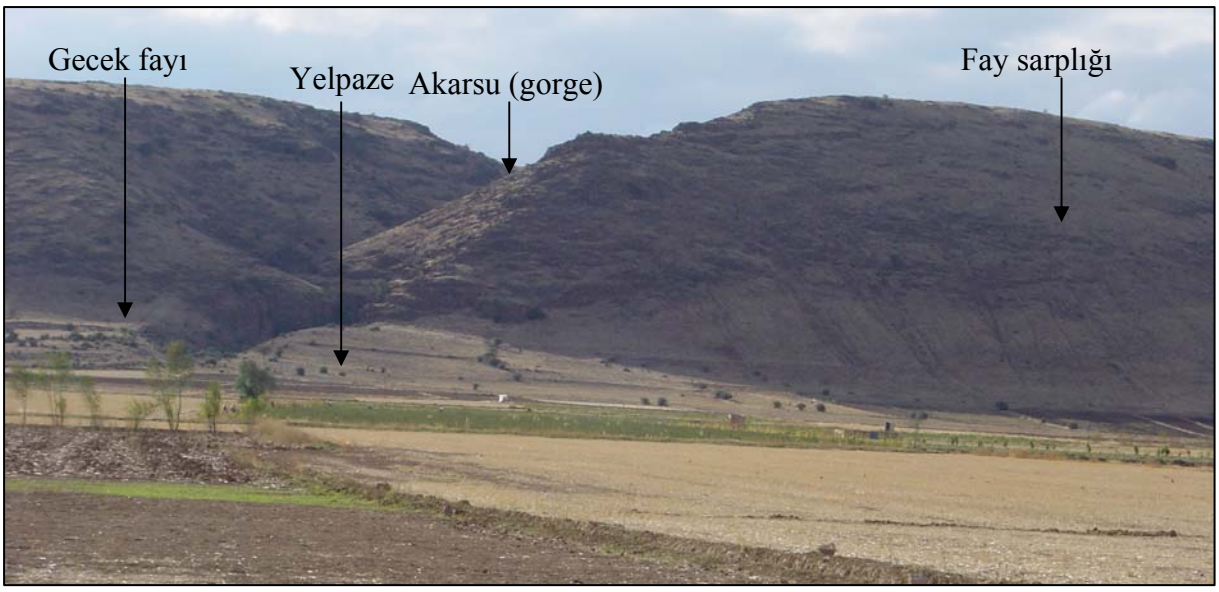
türü faylanma biçimi oluşturur ve faylar tarafından sınırlanmış dikçe eğimli fay sarplığı sunar (Şekil 22).

Şekil 22. Güneydoğudan kuzeybatıya doğru Fethibey fay zonunun güneybatı yarısının genel görünümü.

Fay sarplığını kat ederek yamaç aşağıya graben içine doğru akan dereler, faylar üzerindeki düşey harekete bir tepkime olarak, bir taraftan yataklarını derine kazarken, diğer taraftan da dere ağızlarında daha önce biriktirmiş oldukları alüvyon yelpazelerini de parçalayıp onlar üzerinde ve onların uç kesimlerinde yenilerini çökeltmiştir (Şekil 23 ve 24). Fethibey fay zonunu oluşturan en uzun ve en etkin fay segmenti Gecek fayıdır.



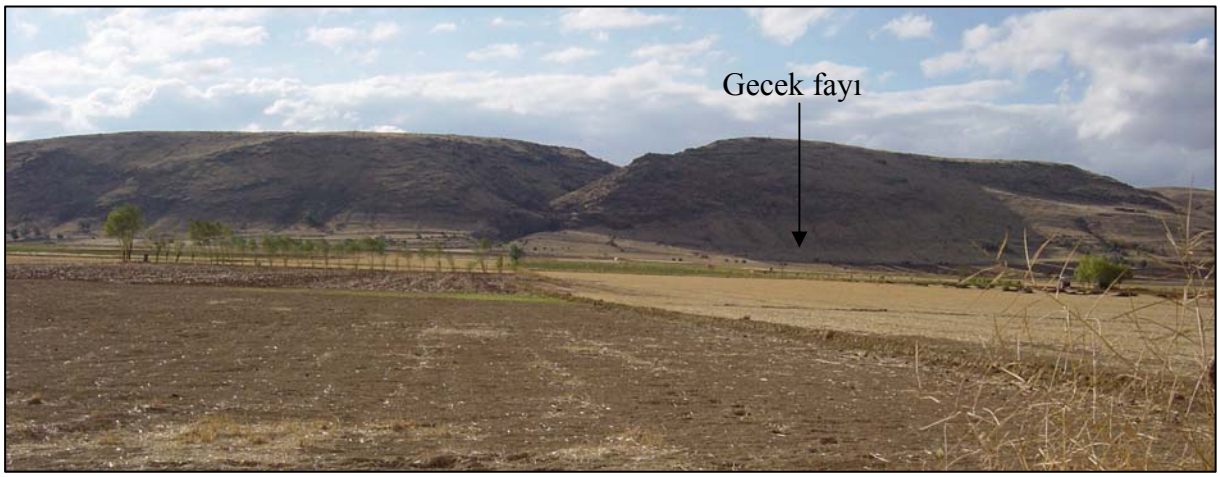
Şekil 23. Fethibey fay zonu boyunca basamak türü faylanma ve fay denetimli akarsuyun doğudan batıya doğru genel görünümü (yer: Fethibey beldesi batısı).



Şekil 24. Doğudan batıya doğru Gecek fay sarplığı, Gecek fayı, fay tarafından kesilmiş ve yatağını derine kazmış dere yatağı ve alüvyon yelpazesinin genel görünümü.

5.1.4.1. Gecek Fayı

Gecek fayı kuzeydoğuda Yarımca ile güneybatıda Gecek kaplıcaları arasında yüzeyler. Fayın güneybatı yarısı DKD-, kuzeydoğu kesimi ise KKD-gidişli olup toplam 17 km uzunluğunda, güneydoğuya graben içine doğru 40º ile eğimli verev atımlı normal bir faydır (Şekil 25).



Şekil 25. Doğudan batıya doğru Gecek fayı ve fay sarplığının genel görünümü.

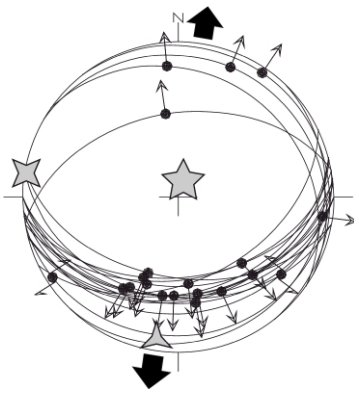
Gecek fayı, Fethibey beldesi batısında iki alt kola ayrılır ve iki kol halinde Gecek kaplıcaları ve Köprülü köyü yakınuına değin devam eder. Fayın iki kola ayrıldığı alanda, basamak türü bir faylanma biçimi (Şekil 22) sunan fay koları uzanımları boyunca Orta─geç Pliyosen yaşlı bazaltları, Miyosen─Orta Pliyosen yaşlı Afyon volkanitleri ve akarsu─göl

ortam ürünü volkanosedimanter bir istifi keser, onları düşey yönde öteler ve Pliyo─Kuvaterner yaşlı graben dolgusu ile tektonik olarak karşı─karşıya getirir (EK-1, Şekil 22). AAG'nin daha yaşlı graben dolgusu Gecek fayının güney alt kolu tarafından kesilmiş ve fay taraçası olarak yükseltilmiştir. Bu alanda, genişleme türü tektonik bir rejimin izleri (slikinsaydlar) (Şekil 26), yeşil-mavi marn, çakıltaşı, çamurtaşı, silis bandları ve kireçtaşı katmanı ardaşımından oluşan graben dolgusu içinde kayıd edilmiş olup, istif ayrıca çok sayıda birincil ve ikincil fay toplulukları da içermektedir (Ek-1 de İstasyon 7: S7). Bu istasyondan alınan kayma verilerinin kinematik analizi, Gecek fayının verev atımlı normal fay karekterinde oldoğunu ve bu alanın yaklaşık K─G yönünde genişlediğini göstermiştir (Şekil 27).

Şekil 26. Pliyo-Kuvaterner yaşlı graben dolgusu içinde kaydedilmiş kayma verileri (slikınsayd: kayma düzlemi ve kayma çizgileri) (yer: EK-1' de S7).

Gecek fayı Fethibey fay zonunu oluşturan en etkin ve en uzun (17 km) yapısal segmentidir ve bu segmentten kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülüne göre Mw = 6.74 dür.

No	Doğrultu (ºN)	Eğim miktarı (º)	Yan yatım (º)	Yön	Gerilim eksenleri	ϕ	
1	044°	09° G	54° K	N			
2	084°	26° G	46° K	N			
3	080°	12° G	23° G	N			
4	075°	38° G	76° G	N			
5	322°	04° N	72° K	N			
6	090°	32° G	82° K	N			
7	084°	47° G	69° G	N			
8	280°	47° G	82° K	N			
9	064°	45° G	76° G	N	σ_1= 81º/017º		
10	083°	37° G	77° G	N	σ_2=01º/279º	0.346	
11	305°	21° K	52° K	N	σ_3= 09º/189º		
12	090°	42° G	75° B	N			
13	090°	36° G	64° B	N			
14	280°	36° G	75° K	N			
15	075°	34° G	82° K	N			
16	300°	11° K	82° K	N			
17	076°	35° G	65° K	N			
18	080°	46° G	77° K	N			
19	085°	37° G	85° K	N			
20	080°	45° K	89° K	N			



Şekil 27. Gecek fay aynasından alınan kayma verileri ve bu verilerin kinematik analizi. Büyük oklar yerel genişleme yönünü gösterir. (yer: EK-1' de S7).

5.1.5. Demirçevre Fay Zonu

Demirçevre fay zonu kuzeybatıda Gecek kaplıcaları ile güneydoğuda Çakırköyü─Erkmen yerleşkeleri arasında yüzeyler, kuzeybatıda Fethibey fay zonu, güneyde ise Akşehir fay zonu ile kesişir (EK-1). Yaklaşık 0.1─2.4 km genişlikte, 10 km uzunlukta ve KKB-gidişli diri verev atımlı normal bir fay zonu olan Demirçevre fay zonu birbirine paralel─yarı paralel, kısa (0.9─2.5 km), yakın aralıklı (100 m─1 km), kuzeydoğuya graben içine doğru dikçe eğimli (67º) çok sayıda normal fay segmentinden oluşur (EK-1). Demirçevre fay zonu, AAG'nin batı kenarını (Çakırköyü ile Gecek kaplıcaları arasındaki kesimi) sınırlar ve denetler. Fay zonu, uzanımı boyunca Miyosen─Orta Pliyosen yaşlı Afyon volkanitlerini keser, egemen olarak düşey yönde 200 m kadar öteler ve AAG'nin Pliyo-Kuvaterner yaşlı dolgu sedimenleri ile tektonik olarak karşı─karşıya getirir (EK-1).

Güneydoğuya graben içine doğru dikçe eğimli fay sarplığı oluşturan fay segmentleri, fay sarplığı boyunca yer yer iyi korunmuş fay aynaları sunar ve kalınlığı 1 m ye varan fay killeri bu fayları arazide belgeler (Şekil 28, EK-1 de İstasyon S8). Fay aynalarından (EK-1 de İstasyon 9: S9) alınan kayma vektörlerinin kinematik analizi (Şekil 29), Demirçevre fay zonunun verev atımlı normal bir fay kuşağı olduğunu ve bu alandaki yerel genişlemenin KKD- yönünde devam ettiğini bir kez daha doğrulamıştır.

Şekil 28. Demirçevre fay zonu içinde, andezitik²trakiandezitik volkanitleri (volkanik breş─ tüf ardaşımı) kesen normal bir fay ve fay boyunca gelişmiş yaklaşık 1 m kalınlıkta kırmızı fay breşinin genel görünümü (yer: EK-1' de S8).

No	Doğrultu (ºN)	Eğim miktarı (º)	Yan yatım (º)	Yön	Gerilim eksenleri	ϕ	
1	010°	78° K	71° K	N			
2	067°	75° G	58° G	N			
3	014°	88° G	59° G	N			
4	315°	75° K	55° K	N			
5	015°	54° K	69° G	N	σ_1= 87º/091º σ_2=03º/290º σ_3= 01º/200º	0.362	
6	325°	51° G	56° G	N			
7	000°	83° B	44° G	N			
8	338°	73° G	60° G	N			
9	295°	56° G	89° G	N			
10	345°	57° K	74° K	N			

Şekil 29. Demirçevre fay zonundan alınan kayma verileri ve bu verilerin kinematik analizi. Büyük oklar yerel genişleme yönünü gösterir (yer: EK-1' de S9).

Fay denetimli akarsu yatakları, akarsuların yatağını derine kazması, tektonik olarak yaşlı ve genç kaya birimlerinin yan─yana gelmesi, fay zonu içinde etkin ve çok sayıda sıcak su çıkışının yoğunlaşmış olması (örneğin: Gecek kaplıcaları gibi) ve küçük deprem etkinliği Demirçevre fay zonunun diri olduğunu gösterir. Demirçevre fay zonunu oluşturan fay segmentleri tek tek 5 ve daha büyük deprem üretecek boyutta değildir. Bununla birlikte, fay segmentlerinin çok sık aralıklı olması diğerlerini de tetikleyeceği için toplam olarak üretebilecekleri en büyük depremin büyüklüğü fay zonunun toplam uzunluğu ile ilşkilidir ve bu değer, Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülü baz alındığında Mw = 6.2 dir.

5.2. Şuhut ve Karamık Grabenleri ve Kenar Fay Zonları

Şuhut grabeni yaklaşık KKD-gidişli, 8─11 km genişlikte ve 24 km uzunlukta, genişleme türü neotektonik rejimin denetiminde oluşumunu sürdüren, sismik bakımdan diri neotektonik bir yapıdır [ayrıntılı bilgi için Koçyiğit ve Deveci (2007)] ye bakınız). Şuhut grabeninin batı kenarı yaklaşık KKD-gidişli, 2.5 km genişliğinde ve 22 km uzunluğunda, doğuya doğru dikçe eğimli Şuhut fay zonu tarafından; grabenin doğu kenarı ise 5─8 km genişliğinde, 62 km uzunluğunda, batı ve doğuya doğru dikçe eğimli Kurucaova fay zonu tarafından sınırlanır ve denetlenir. Şuhut grabeninin daha doğusunda yer alan, yaklaşık 5─13 km genişlikte, 31 km uzunlukta, DKD- ve KKD-gidişli Karamık grabeni ise batı kenarı boyunca Devederesi fay zonu, doğu kenarı boyunca da Koçbeyli fay zonu tarafından sınırlanıp denetlenen sismik bakımından diri bir diğer neotektonik yapıdır. Koçbeyli fay zonu 1.5─6 km genişlikte, 36 km uzunlukta, batıya dikçe eğimli, sismik bakımdan da diri ve verev atımlı normal bir fay kuşağıdır. Benzer şekilde Devederesi fay zonu da 2─6 km genişlikte, 63 km uzunlukta, doğuya graben içine doğru eğimli bir diğer verev atımlı normal fay kuşağıdır. Yaklaşık KKD-gidişli Şuhut ve Karamık grabenlerinin en kuzey kesimleri ile onların kenar fay zonları, AFZ ve Hamidiye fay zonu ile kesişmekte ve bu kesişm yerleri (sırayla Kızıltepe─Hamidiye beldesi ve Cumhuriyet beldesi─Maltepe köyü çevresi), başka bir deyişle, kavşak yerleri inceleme alanımız içinde yer almaktadır (EK-1). Proje kapsamı dışında olduğu için, anılan grabenler ve kenar fay zonları daha ayrıntılı olarak açıklanmamış, ancak, inceleme alanımız içinde de devam eden ve 3 Şubat 2002 Çay depremi sırasında Çay─Maltepe fay segmenteleri tarafından tetiklenerek etkin hale gelen ve Mw = 6.0 büyüklüğünde deprem üreten Kurucaova fay zonunun bazı önemli segmentleri (Kızıltepe ve Kurucaova fayları) hakkında ayrıntılı bilgi sunulmuştur.

5.2.1. Kızıltepe Fayı

Kurucaova fay zonu, Çobanlar ilçesinin hemen güneyindeki Millik kaplıcaları çevresinde, güneyde Akşehir fay zonu, kuzeyde ise Hamidiye fay zonu ile kesişir ve yaklaşık 1.7 km genişlikte, 8.7 km uzunlukta ve KD-gidişli bir alt horst (Örneğin: Kızıltepe alt horstu gibi) ve alt graben oluşturur. Bu alt horst boyunca yer yer alttan daha yaşlı birimler yüzeye çıkar ve bu kayalar ile birlikte Kızıltepe alt horstu güneydoğu kenarı boyunca yaklaşık 7 km uzunlukta ve güneydoğuya 55º─60º ile eğimli verev atımlı normal bir fay tarafından (Kızıltepe fayı) sınırlanır (Ek-1). Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülüne göre, Kızıltepe fayından kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü Mw = 6.06 dır. Nitekim, Kızıltepe fayı, 3 Şubat 2002 tarihinde etkin hale gelmiş ve Mw = 6.0 büyüklüğünde bir deprem üretmiştir (EK-2). Odak mekanizma çözümü, depremin KD-gidişli ve güneydoğuya eğimli normal bir faylanma sonucu oluştuğunu ve Kızltepe fayının hem diri hem de normal fay karakterinde olduğunu bir kez daha belgelemiştir (Kalafat ve diğ. 2002).

5.2.2. Kurucaova Fayı

Kurucaova fay zonunun inceleme alanımız içinde kalan kesimi, AAG'nin kuzey kenarını sınırlayan Hamidiye fay zonu ile kesiştikten sonra, onun daha kuzeyinde (Kurucaova yerleşkesi boyunca) ve KD-doğrultusunda 17 km kadar daha devam edip Bolvadin grabeninin batı kenarını sınırlayan faylarda sona erer (EK-1). Bu kesimde Kurucaova fayı birbirine yakın, dağişik uzunlukta fakat paralel 5 ayrı fay segmenti ve bunlar arasında yer alan dar, derin ve oldukça uzun bir çöküntü (Kurucaova grabeni) ile temsil edilir (EK-1). Bu fay segmentlerinin en uzunu 17 km uzunluğundaki Kurucaova fayıdır ve 13 km uzuluğundaki kesimi inceleme alanımız içinde kalan bu fay, küçük deprem etkinliğine göre diridir ve henüz sismik boşluk olma özelliğini korumaktadır. Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülüne göre, bu faydan kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü Mw = 6.74 dür.

5.3. Sinanpaşa Grabeni

Sinanpaşa (Sincanlı) grabeni güney ve güneybatıdan Ahırdağ horstu, batı-kuzeybatıdan Muratdağı horstu, kuzeyden Olucak ve doğudan Türkmentepe horstu ile sınırlanır ve inceleme alanımızın orta kesimlerinde yer alır (EK-1 ve EK-1 de B-B' jeoloji enine kesiti). Yaklaşık 9─16 km genişlikte, 29 km uzunlukta ve D─B ile BKB-gidişli diri bir çöküntü alanı olan Sinanpaşa grabeni, başlıca Ayvalı dere, Eğrek dere, Dağ dere, Çeyiztarla dere, Kuru dere, Bel dere, Kedili dere ve Kayalı dere gibi, Akarçay ırmağının yan kollarını oluşturan akarsular tarafından akaçlanır (EK-1). Tüm bu akarsular, Sinanpaşa grabenini sınırlayan dağlık alanın yüksek kesimlerinden doğup yamaç aşağı yünde graben içine doğru

akar ve akaışları süresince yüksek alanlardan aşındırıp taşıdıkları sedimanları, graben kenarındaki faylara eriştiklerinde yamaç eğiminin birden bire azalması ve bu nedenle de taşıma enerjilerinin düşmesi sonucu alüvyon yelpazeleri olarak çökeltmiş ve çökelktmeyi sürdürmektedir. AAG gibi, Sinanpaşa grabeni de birbirinden açılı uyumsuzluk ile ayrılmış iki ayrı graben dolgusu içermekte olup, duraksamalı (episodic) bir gelişim tarihçesine sahiptir. Sinanpaşa grabeni güneyden Sinanpaşa fay zonu, kuzeyden İğdeli fay zonu, batıdan ise Güneyköy fayı ile sınırlanır (EK-1). Grabenin doğu kenarı ise daha küçük ve süreksiz fay segmentleriyle belirginlik kazanır. Graben kenarını sınırlayan fay zonları ve onları oluşturan önemli faylar aşağıda açıklanmıştır.

5.3.1. Sinanpaşa Fay Zonu

Sinanpaşa fay zonu, doğuda Tınaztepe ile batıda Çiftlikköy yerleşkeleri arasında yüzeyler ve aynı zamanda doğuda yer alan AFZ'nun batı devamı olarak da kabul edilebilir (EK-1). Sinanpaşa fay zonu bu yörede, aynı adlı grabenin güney kenarını sınırlayan ve denetleyen en önemli neotektonik yapıdır. Yaklaşık 0.6─6 km genişlikte, 37 km uzunlukta ve D─B- ile BKB-gidişli normal bir fay kuşağı olan Sinanpaşa fay zonu, birbirine paralel─yarı paralel, sık aralıklı (0.5─2.5 km), uzunlukları 1.7 km ile 14 km arasında değişen, tümü kuzeye graben içine doğru dikçe eğimli olan ve basamak türü faylanma biçimi oluşturan çok sayıda verev atımlı normal fay segmentinden oluşur (EK-1). Grabenin oluşumu süresince, fay segmentleri oyunca birikmiş olan toplam düşey atım miktarı yaklaşık 400 m dir. Sinanpaşa fay zonunu temsil eden ve yıkıcı deprem üretme potansiyeline sahip en uzun iki fay segmenti sırayla Kınık ve Kırka faylarıdır.

5.3.1.1. Kınık Fayı

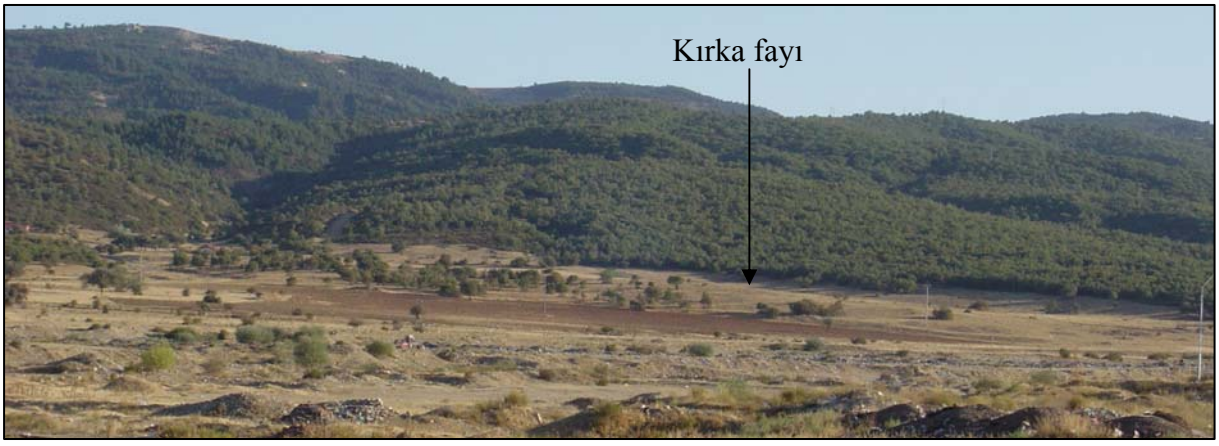
Kınık fayı doğuda Kınık köyü ile batıda Çiftlikköy arasında yüzeyleyen, 14 km uzunluğunda, BKB-gidişli, kuzeye dikçe eğimli (76°), verev atımlı normal bir diri faydır (EK-1). Kınık fayı uzanımı boyuna Miyosen─Orta Pliyosen yaşlı afyon volkanitlerni keser, onları egemen olarak düşey olarak yaklaşık 60 m kadar öteler ve Pliyo─Kuvaterner yaşlı graben dolgusu ile karşı─karşıya getirir.

Fay tarafından denetlenen akarsular, fayın genel gidişine paralel dizilmiş güncel alüvyon yelpazeleri, değişik yaşlı kaya birimlerinin tektonik olarak karşı─karşıya getirilmesi ve küçük deprem etkinliği gibi morfotektonik ve sismik veriler Kınık fayının diri olduğunu gösterir. Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülüne göre, Kınık fayından kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü Mw = 6.4 dür.

5.3.1.2. Kırka Fayı

Kırka beldesinin yaklaşık 3.5 km kuzeybatısından başlayan fay, kırka beldesinde iki alt kola ayrılıp DGD-yönde gidiş değiştirir; Kırka beldesinin doğusunda ise iki ayrı alt fay kolu olarak birbirinden 0.6 km uzaklıkta fakat birbirine paralel olarak Sivri tepe yakın batısına değin devam eder ve orada sona erer (EK-1). Kırka fayı uzanımı boyunca sırayla Kuru dere, Çığıl dere, Damlalı dere gibi birçok akarsu yatağını denetler. Anılan bu dereler yataklarını derine kazmış olup, Kırka fayını geçerken, fay üzerindeki harekete bir tepkime olarak bükülür ve ötelenir. Kırka fayı 13 km uzunluğunda ve kuzeye dikçe eğimli (70°−80°) verev atımlı normal bir fay olup, uzanımı boyunca Afyon volkanitlerini keser, egemen olarak düşey yönde 150 m kadar öteler ve onları Pliyo─Kuvaterner yaşlı greban dolgusu ile karşı─karşıya getirir (Şekil 30).

Yukarıda Kınık fayı için açıklanmış olan morfotektonik ve sismik veriler, Kırka fayı boyunca da gözlenmekte olup Kırka fayının diri olduğunu belgeler. Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülüne göre, Kırka fayından kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü Mw = 6.37 dir. Gerek Kınık ve gerekse kırka fayları sismik boşluk olma özelliklerini günümüzde sürdürmektedir.



Şekil 30. Kuzeyden güneye doğru Kırka fayının genel görünümü (yer: Kırka köyünün yakın doğusu).

5.3.2. İğdeli Fay Zonu

İğdeli fay zonu doğuda Demirçevre ile batıda Akçaşar yerleşkeleri arasında yüzeyler ve Sinanpaşa grabeninin kuzey kenarını sınırlayıp denetler. Doğuda KKD-gidişli Köprülü ve KB-gidişli Demirçevre fay zonlarıyla kesişir (EK-1). Yaklaşık 5 km genişliğinde, 24 km uzunluğunda ve egemen olarak D─B gidişli normal bir fay kuşağı olan İğdeli fay zonu birbirine paralel─yarı paralel, sık aralıklı (0.2-2.5 km) ve uzunlukları 0.6─12 km arasında değişen güneye dikçe eğimli normal fay segmentlerinden oluşur. İğdeli fay zonunu oluşturan

fay segmentlerinin, yıkıcı deprem potansiyeline sahip en önemli iki fay segmenti sırayla Balmahmut ve İğdeli faylarıdır (EK-1).

5.3.2.1. Balmahmut Fayı

Batıda Ayvalı köyü güneyi ile doğuda 26 Ağustos Milli Parkı arasında Afyon−Uşak karayolunun kuzeyinde fakat yola paralel olarak yüzeyler (EK-1 ve Şekil 31). Yaklaşık 12 km uzunluğunda, D─B-gidişli, güneye dikçe eğimli (70°), normal bir fay karakterine sahip olan Balmahmut fayı, Uzanımı boyunca Afyon volkanitlerini ve onunla yanal─üşey geçişli stratigrafik ilişki sunan akarsu─gölsel ortamda çökelmiş volkanosedimanter bir istifi keser, egemen olarak düşey yönde 180 m kadar öteler ve Pliyo−Kuvaterner yaşlı graben dolgu istifiyle tektonik olarak karşı─karşıya getirir (EK-1). Sinanpaşa graben dolgusunun en alt düzeyini oluşturan birimler, Balmahmut fayı tarafından kesilip yükseltilmiş ve daha sonra kısmen aşınarak yer yer faylara asılı fay taraçaları olarak kalmıştır.

Faylanma sonucu oluşan morfotektonik yapılar ve Küçük deprem etkinliği Balmahmut fayının etkin oldoğunu gösterir. Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülüne göre, Balmahmut fayından kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü Mw = 6.33 dür.

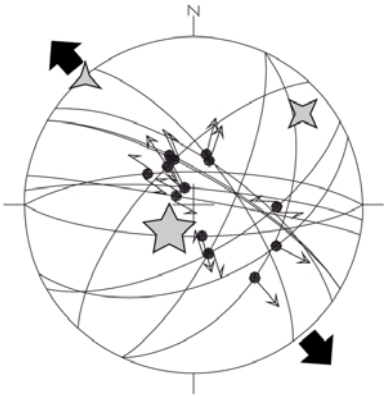
Şekil 31. Güneyden kuzeye doğru Balmahmut fayının genel görünümü (yer: Balmahmut köyünün yakın batısı)

5.3.2.2. İğdeli Fayı

İğdeli köyü boyunca yaklaşık D─B doğrultusunda uzanan, 12 km uzunluğunda ve güneye doğru 50° ile eğimli normal bir fay olan İğdeli fayı, geç Paleozoyik yaşlı mermerleri keser, düşey yönde 150 m kadar öteler ve onları Miyosen−Orta Pliyosen yaşlı akarsu─göl

ürünü sedimanter bir istifle tektonik olarak karşı─karşıya getirir. Ayrıca Pliyo─Kuvaterner yaşlı graben dolgu sedimanları da yer yer fay tarafından kesilmiş, yükseltilmiş ve faya asılı fay taraçaları olarak kalmıştır (EK-1). Köprülü grabeninin doğusunda (Ek-1 de İstasyon 10: S10) Afyon volkanitleri İğdeli fayının doğu uzantısında ve aynı doğrultuda yüzeyleyen fay segmentleri tarafından kesilmekte ve düşey yönde ötelenmektedir. S10 nolu gözlem yerindeki istif birincil ve ikincil türde çok sayıda fay topluluğunu (Şekil 32) ve genişleme türünde bir tektonik rejimin kayıdlarını içerir. Bu istasyondan alınan kayma verilerinin kinematik analizi (Şekil 33), İğdeli fayının verev atımlı normal bir fay olduğunu ve bu alanın yaklaşık KKD-yönde genişlediğini bir kez daha doğrulamıştır.

Şekil 32. Miyosen yaşlı tüfleri kesen normal faylardan birinin yakın görünümü (yer: EK-1' de S10).

No	Strike (ºN)	Dip amount (º)	Rake (º)	Sense	Principal Stress Axes	ϕ	
1	300°	74° KD	68° KB	**N**			
2	090°	74° G	75° B	N			
3	300°	75° KD	71° KB	N			
4	090°	75° G	86° D	N			
5	060°	66° GD	56° KD	N			
6	066°	52° GD	63° KD	N	σ_1= 73º/224º σ_2=17º/050º σ_3= 02º/319º	0.205	
7	025°	73° GD	72° GB	N			
8	043°	68° KB	85° KD	N			
9	305°	68° KD	84° KB	N			
10	025°	46° GD	72° GB	N			
11	324°	70° KD	74° KB	N			
12	280°	87° KD	81° KB	N			
13	275°	82° KD	85° KB	N			

Şekil 33. İğdeli fayından alınan kayma verileri ve bu verilerin kinematik analizi. Büyük oklar yerel genişleme yönünü gösterir. (yer: EK-1' de S10).

Faylanma sonucu oluşmuş morfotektonik yapılar ve mikrodeprem etkinliği (EK-2) İğdeli fayının diri olduğunu gösterir. Wells ve Coppersmith'in kuramsal formülüne göre İğdeli fayından kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü Mw = 6.33 dür.

5.4. Köprülü Grabeni ve Köprülü Fay Zonu

Köprülü grabeni güneyde Balmahmut ile kuzeyde Bayramgazi arasında yüzeyler ve güneydeki Sinanpaşa grabeni ile kuzeydeki Altıntaş grabenini birbirine bağlar (EK-1). Yaklaşık 5 km genişlikte ve 8.5 km uzunlukta olan orta kesiminde Akarçay Imağı ve onun taşkın ovasını içeren Köprülü grabeni yine aynı adlı fay zonu tarafından denetlenir ve biçimlenir. Köprülü fay zonu yaklaşık KKD-gidişli, birbirine paralel─yarı paralel, sık aralıklı (0.3─2 km), uzunlukları 0.6─5 km arasında değişen, batıya ve doğuya graben içine doğru dikçe eğimli çok sayıda normal fay segmentinden oluşur. Aynı zamanda güneyde İğdeli, kuzeyde Olucak ve doğuda Fethibey ile Demirçevre fay zonlarıyla kesişen Köprülü fay zonu içinde, özellikle diğer fay zonlarıyla kesişme bölgesinde, çok sayıda sıcak su çıkışı yoğunlaşmıştır (EK-1). Fay zonu, uzanımı boyunca geç Paleozoyik yaşlı metamorfitleri (mermer, mika-kuvars sişist, kuvarsit) ve Miyosen−Orta Pliyosen yaşlı Afyon volkanitlerini keser, egemen olarak düşey yönde 450 m kadar öteler ve onları Kuvaterner yaşlı graben dolgusu ile tektonik olarak karşı─karşıya getirir. Ayrıca, Pliyo─Kuvaterner yaşlı graben dolgusu da yer yer fay segmentleri tarafından kesilmiş, yükseltilmiş ve faylara asılı taraçalar olarak değişik yüksekliklerde kalmıştır (EK-1).

Faylanma sonucu oluşmuş çeşitli morfotektonik yapılar (örneğin: fay denetimli akarsular, fay taraçaları, sıcak su çıkışları ve güncel traverten oluşumları, vb.) ile küçük deprem etkinliği (EK-2) Köprülü fay zonunu oluşturan birçok fay segmentinin diri olduğunu gösterir. Ancak fay segmentlerinin hiçbiri tek başına yıkıcı deprem üretme boyutuna sahip değildir. Bununla birlikte fay segmentlerinin sık aralıklı oluşu dikkate alındığında tüm fay zonunun oluşturabileceği en büyük depremin büyüklüğü Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülüne göre Mw = 6.0 dır.

5.5. Altıntaş Grabeni

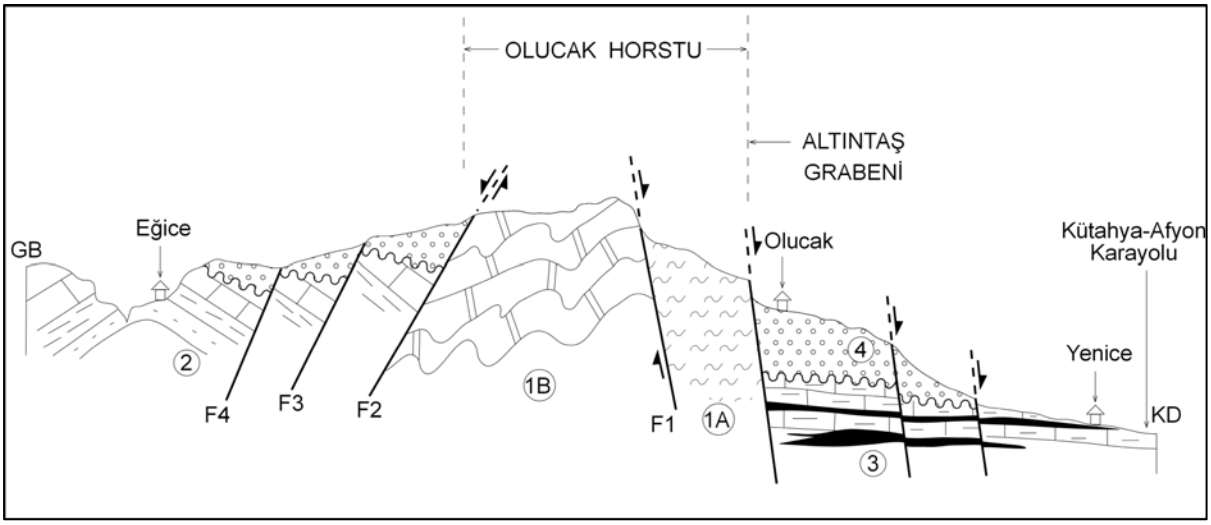
Altıntaş grabeni yaklaşık olarak doğuda İhsaniye, batıda Aslanapa ve güneyde Altıntaş ilçeleri arasında yer alan yaklaşık 5─19 km genişlikte, 67 km uzunlukta ve K50°−70°B gidişli etkin bir çöküntü alanıdır. Kuzey kenarı boyunca Sadıkkırı, Erenler fay zonları ve İhsaniye fayı; güney kenarı boyunca ise Aslanapa ve Olucak normal fay zonlarıyla sınırlanır

ve denetlenir. Altıntaş grabeninin en güneydoğu ucu (Anıtkaya kesimi) dışında diğer bütün kesimleri inceleme alanımız dışında kalır (EK-1). Bu nedenle grabenin yalnızca inceleme alanımız içinde kalan güneydoğu ucu ve onu güneyden sınırlayıp denetleyen Olucak fay zonu (EK-1 ve EK-1 de B-B' jeoloji enine kesiti) aşağıda anlatılmıştır.

5.5.1. Olucak Fay zonu

Olucak fay zonu doğuda Ardıç köyü, batıda ise Beşkarış köyleri arasında yüzeyler ve Altıntaş grabeninin güneydoğu kenarını sınırlayıp denetler (EK-1 ve Şekil 34). Yaklaşık 4.5 km genişlikte, 20 km uzunlukta ve BKB-gidişli normal bir deformasyon zonu olan Olucak fay zonu birbirine paralel, sık aralıklı (0.5─2 km), uzunluğu 16─20 km arasında değişen dört fay segmentinden oluşur. Kuzeye doğru dikçe eğimli (75°−80°) olan fay segmentleri, uzanımları boyunca kuzeye bakan basamak türü faylanma biçimi sunar, geç Paleozoyik yaşlı metamorfitleri keser, onları egemen olarak düşey yönde 300 m kadar öteler ve Pliyo─Kuvaterner yaşlı graben dolgusunu oluşturan akarsu─göl istifiyle tektonik olarak karşı-karşıya getirir (Şekil 35). Olucak fay zonunu oluşturan fay segmentlerinn en etkin ve en uzun (20 km) olanı Olucak fayıdır. Olucak fayı kuzeye doğru içbükey ve dikçe eğimli normal bir faydır. Morfotektonik yapılar ve küçük deprem etkinliği (EK-2) Olucak fayının diri olduğunu gösterir. Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülüne göre Olucak fayından kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü Mw = 6.56 dır.

Şekil 34. Kuzeyden güneye doğru Olucak fayının genel görünümü (ön planda Olucak köyü).



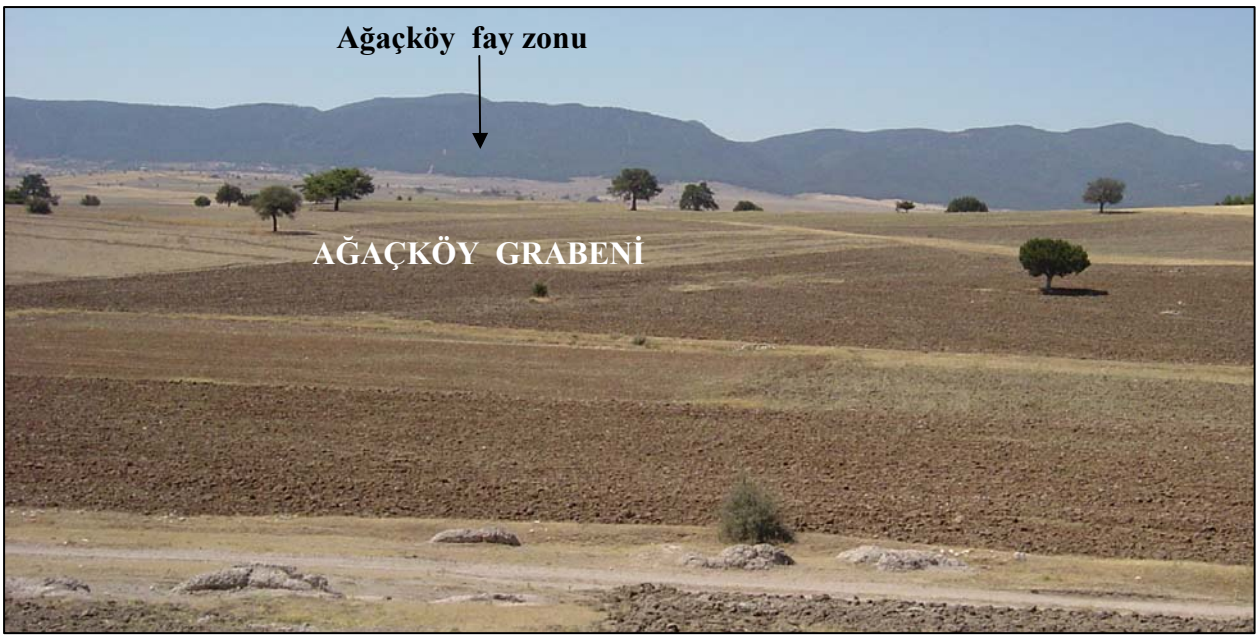
Şekil 35. Olucak horstu ve fay zonu boyunca basamak türü faylanma ve değişik tür kaya birimlerinin ilşkisini gösteren ölçeksiz enine jeoloji kesiti. 1A: geç Paleozoyik yaşlı şistler, 1B: geç Paleozoyik yaşlımermer, 2: Miyosen─Orta Pliyosen yaşlı göl─akarsu ürünü sedimanter istif, 3: Orta Pliyosen yaşlı gölsel sedimanter istif ve 4: Pliyo─Kuvaterner yaşlı graben dolgusu.

5.6. Ağaçköy Grabeni

Kuzeybatıda Kızıltaş tepe ile güneydoğuda Başkimse yerleşkesi arasında yüzeyleyen, yaklaşık 0.6-8.7 km genişlikte, 36 km uzunlukta, BKB-gidişli, batıya doğru daralıp sonlanan, doğuya doğru ise genişleyen ve yaklaşık K−G-gidişli fay segmentleri ile sınırlanan yaklaşık huni biçimli etkin bir çöküntüdür (EK-1). Ağaçköy grabeni kuzey kenarı boyunca Yeşilköy, güney kenarı boyunca ise başlıca Ağaçköy fay zonu ve Kızıldağ fayı ile sınırlanıp denetlenir (EK-1 de A-A' jeoloji enine kesiti). Yukarıda açıklanmış olduğu gibi, Ağaçköy grabeni de, birbirinden açılı uyumsuzluk ile ayrılan iki ayrı graben dolgusu içerir ve duraksamalı bir gelişim tarihçesine sahiptir (Koçyiğit ve diğ. 1999; Koçyiğit ve diğ. 2000). Ağaçköy grabenini sınırlayıp denetleyen ve yıkıcı deprem üretme potansiyeline sahip fay zonları ve faylar aşağıda açıklanmıştır.

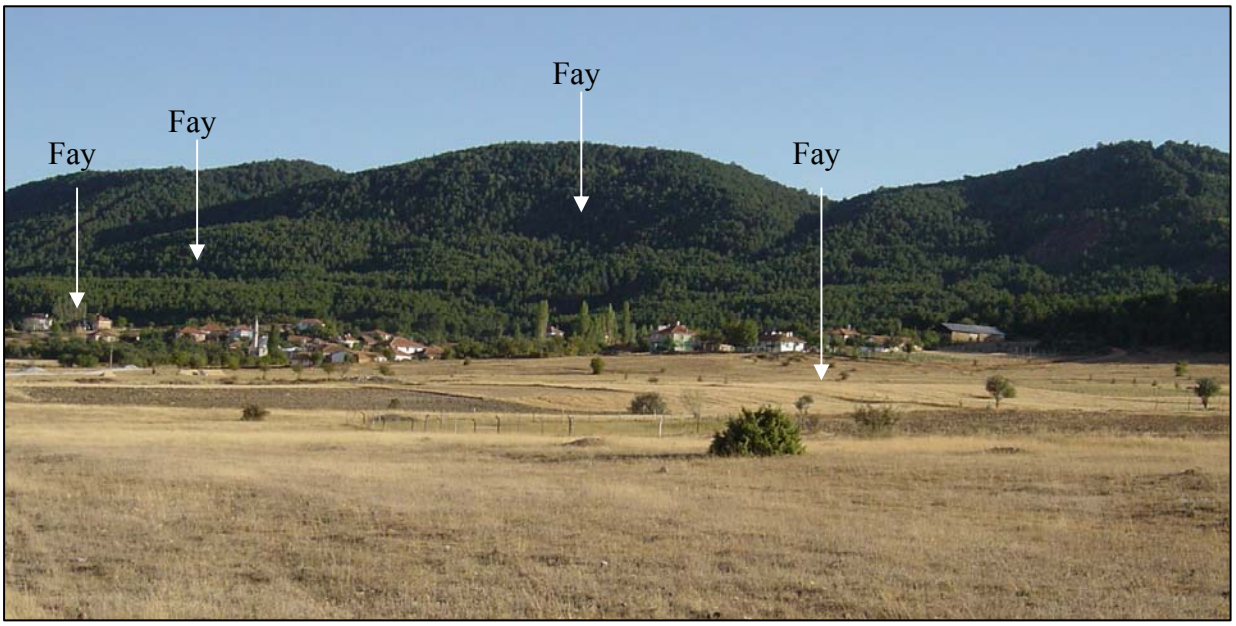
5.6.1. Ağaçköy Fay Zonu

Ağaçköy fay zonu doğuda Eğice─Başkimse köyleri ile batıda Uğurluca yerleşkesi yakın batısı arasında yüzeyler (EK-1 ve Şekil 36). Yaklaşık 0.1─1.7 km genişlikte, 53 km uzunlukta ve BKB-gidişli olan Ağaçköy fay zonu genişleme türünde neotektonik bir yapıdır. Ağaçköy fay zonu, doğu yarısı boyunca Ağaçköy grabeninin güney kenarını sınırlar ve denetler, batı yarısı boyunca ise Muratdağı horstunun kuzey kesimini (Yüylük─Uğurluca arası) keser ve egemen olarak düşey yönde 100─300 m arasında değişen miktarlarda öteler.

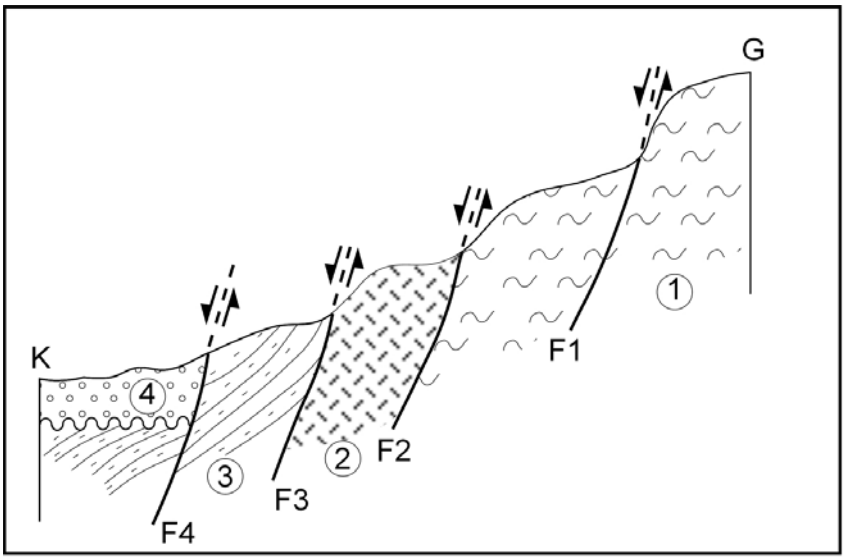


Şekil 36. Kuzeydoğudan güneybatıya doğru Ağaçköy grabeni ve grabenin güney kenarını sınırlayıp denetleyen Ağaçköy fay zonunun genel görünümü.

Ağaçköy fay zonu birbirine paralel─yarı paralel, sık aralıklı (0.2─2.4 km), uzunlukları 1.5─21 km arasında değişen, kuzeye dikçe eğimli çok sayıda verev atımlı normal fay segmentinden oluşur ve kuzeye bakan basamak türü faylanma biçimi sunar (EK-1, EK-1 de A-A' jeoloji enine kesiti, Şekil 37 ve 38). Ağaçköy fay zonunu oluşturan fay segmentleri boyunca, grabenin oluşumundan günümüze değin birikmiş olan toplam düşey atım miktarı 225-300 m dolayındadır. Ağaçköy fay zonu çok sayıda fay segmentinden oluşmakla birlikte, yıkıcı deprem potansiyeline sahip olan başlıca faylar doğudan batıya doğru Aslıhanlar fayı, Yüylük fayı ve Karatepe fayıdır (EK-1).



Şekil 37. Kuzeyden güneye doğru basamak türü faylanmayı ve Ağaçköy fay zonunu oluşturan fay segmentlerinin genel görünümü (ön planda Ağaçköy).



Şekil 38. Ağaçköy yakın doğusunda basamak türü faylanmayı ve faylanma nedeniyle karşı karşıya gelmiş değişik yaşlı kaya birimlerini gösteren ölçeksiz jeoloji enine kesiti. 1: Jura-alt Kretase yaşlı metamorfitler, 2: Miyosen yaşlı volkanitler, 3: Miyosen─Orta Pliyosen yaşlı göl-akarsu ürünü sedimanter istif, ve 4: Pliyo─Kuvaterner yaşlı graben dolgusu.

5.6.1.1. Aslıhanlar fayı

Doğuda Başkimse köyünün batısından başlayan fay, önce D─B yönünde daha sonra da BKB-yönünde devam ederek önce Selkisaray'ın güneyinden geçer ve Küçükaslıhanlar'ın yakın doğusunda iki alt kola ayrılır. Kuzey alt kol (Şekil 39) Küçükaslıhanlar ve Büyükaslıhanlar'ın yakın kuzeyinden ve daha batıda Ağaçköy'ün içinden (Şekil 37) geçerek kuzey batıya yön değiştirir ve en batıda kısa fakat çok sayıda kola ayrılarak, Yalova yöresinden geçen D─B-gidişli bir fayda sona erer. Güney alt kol ise, önce küçükaslıhanlar'ın içinden, daha sonra Ağaçköy'ün güneyinden geçer ve BKB-yönde Yüylük köyü yakın doğusuna değin devam eder ve orada sona erer (EK-1). Sırayla 12 km ve 22 km uzunlukta olan güney ve kuzey alt kollar ile kuzey kolun üçüncü dereceden daha kısa kolları hep birlikte kuzeye bakan basamak türü faylanma biçimi sunar, değşik yaşlı kaya birimlerini keser, onları egemen olarak düşey yönde öteler ve hem kendi aralarında hem de Pliyo─Kuvaterner yaşlı graben dolgusu ile tektonik olarak karşı─karşıya getirir (Şekil 38). Aslıhanlar fayının kuzey kolu en etkin ve en uzun fay olup Ağaçköy fay zonunun ana fayını temsil eder. Ana fayın diğer ikinci ve üçüncü dereceden kolları ise sintetik normal fay özelliğindedir.

Basamak türü yer biçimi, değişik yaşlı kaya birimlerinin yatay ve düşey yönlerde tektonik olarak yan─yana gelişi, fayların izine paralel dizilmiş su kaynakları (Şekil 40), Z-biçiminde bükülmüş ve yer yer ötelenmiş dere yatakları ve ezilmiş-makaslanmış kayalar gibi morfotektonik yapılar, bir taraftan Aslıhanlar fayı ve kollarının varlığını, onların daha az

miktarda sağ-yanal doğrultu atım bileşeni olan verev atımlı normal faylar olduğunu, diğer taraftan da jeolojik olarak diri olduklarını belgeler. Ayrıca, bu yöredeki küçük deprem etkinliği (EK-2) de fayların (özellikle ana fayın) diri olduğunu doğrulamaktadır.

Şekil 39. Kuzeyden güneye doğru Aslıhanlar fayı güney kolunun genel görünümü.

Aslıhanlar fayının 12 km uzunluktaki güney kolundan ve 22 km uzunluktaki kuzeye 65º–70º ile eğimli güney kolundan, Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülüne göre, kaynaklanacak en büyük depremlerin büyüklükleri sırayla Mw = 6.37 ve Mw = 6.6 dır. Aslıhanlar fayı, sismik boşluk olma özelliğini sürdürmektedir.

Şekil 40. Kuzeyden güneye doğru Aslıhanlar fayının güney ve kuzey kollarının genel görünümü (yer: Ağaçköy' ün yakın doğu–güneydoğusu.

5.6.1.2. Yüylük fayı

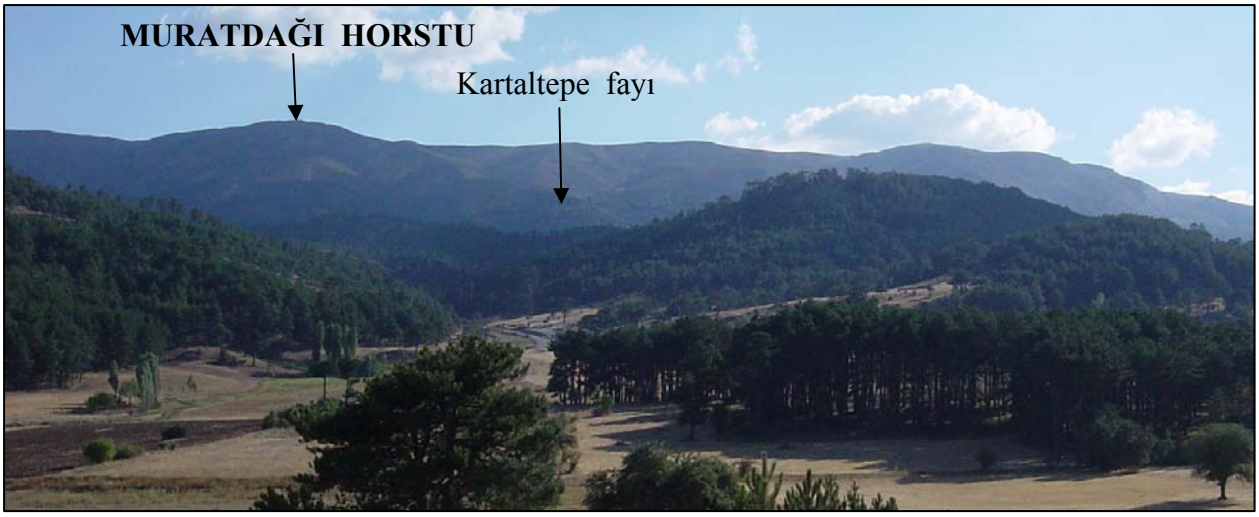
Yüylük fayı doğuda Akyar tepe kuzeyi ile batıda Dipalan yöresi arasında yüzeyler ve Yüylük köyü çevresinde faya bağlı olarak gelişmiş olan yaklaşık 1 km genişlikte ve 2 km uzunluktaki çok genç bir grabenin (Yüylük grabeni) güney kenarını sınırlar ve denetler (EK-1). Yüylük fayı yaklaşık 14 km uzunluğunda, BKB-gidişli ve kuzeye dikçe (70º─75º) eğimli olup, yarı doğrusal bir ize sahiptir. Uzanımı boyunca Muratdağı horstunun doğu kesimini oluşturan geç Paleozoyik yaşlı metamorfitleri keser ve onları düşey yönde 100 m kadar öteler. Faya bağlı genç (Kuvaterner) graben oluşumu, fay denetimli dereler fayın jeolojik olarak diri olduğunu gösterir. Bu durum aynı zamanda küçük deprem etkinliği (EK-2) tarafından da doğrulanır.

Wells ve Copersmith'in (1994) kuramsal formülüne göre, Yüylük fayından kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü Mw = 6.4 dür.

5.6.1.3. Kartaltepe Fayı

Doğuda Dipalan yöresinden başlayan Kartaltepe fayı BKB-yönde ve Muratdağı horstunun kuzey yamacında (Şekil 41) Soğanlı ağılına kadar devam eder; burada önce batıya daha sonra da BGB-yönüne döner ve Uğurluca köyünün batısında Uğurluca fayı ile kesişerek sona erer (EK-1). Kuzeybatı yarısı daha önce haritalanıp "Sığırkuyruğu Fayı" olarak rapor edilen (Bingöl 1977) fay (Kartaltepe fayı) 26 km uzunlukta olup, uzanımı boyunca değişik kaya birimlerini (Jura─Alt Kretase yaşlı düşük dereceli metamorfitler, Maastrihtiyen yaşlı ofiyolitik karışık ve alt─Orta Miyosen yaşlı volkanitler ile Miyosen─Orta Pliyosen yaşlı akarsu─göl ortam ürünü kalın sedimanter ve volkanosedimanter istifler) keser, egemen olarak düşey yönde 100─300 m arasında değişen miktarlarda öteler ve birbirleriyle tektonik olarak Karşı─karşıya getirir.

Yoğun ve etkin heyelanlar, fazla okside olmamış fay aynaları, fay denetimli dereler ve küçük deprem etkinliği, kuzeye dikçe eğimli (60º ─75º) Kartaltepe fayının diri olduğunu gösterir. Kartaltepe fayının batı yarısını oluşturan ve "Sığırkuyruğu Fayı" olarak tanıtılan kesiminin diri olduğu daha önce Bingöl (1977) tarafından da rapor edilmiştir. Wells ve Coppersmit'in (1994) kuramsal formülüne göre, Kartaltepe fayından kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü Mw = 6.7 olup, fay sismik boşluk olma özelliğini korumaktadır.



Şekil 41. Kuzeyden güneye doğru Muratdağı Horstu ve onun kuzey yamacını kesen Kartaltepe fayının genel görünümü.

5.6.2. Yeşilyurt Fay Zonu

Yeşilyurt fay zonu batıda Göklerbel yerleşkesi ile doğuda Kadımezarı tepe (Başkimse köyü kuzeyi) yüzeyler. Uzanımı boyunca gidişi BKB-, D-B- ve DKD-yönlerinde değişen Yeşilyurt fay zonu yaklaşık 01─5.2 km genişlikte ve toplam 66 km uzunlukta olup BGB-yönde akan Muratdağı çayını ve DGD-yönde akan Oysu dereyi denetler. Genişleme türünde diri bir neotektonik yapı olan Yeşilyurt fay zonu, doğu yarısı boyunca, ağaçköy grabeninin kuzey kenarını sınırlar ve denetler (EK-1). Yeşilyurt fay zonu birbirine paralel─yarı paralel, çoğun sık aralıklı (0.1─5.2 km), uzunlukları 0.7 ile 20 km arasında değişen, doğu yarısı boyunca genellikle kısa ve süreksiz, buna karşın batı yarısı boyunca daha sürekli ve uzun, çoğun güneye dikçe eğimli verev atımlı normal fay segmentlerinden oluşur. Yeşilyurt fay zonu, uzanımı boyunca, Jura─Alt kretase yaşlı düşük dereceli şist, kuvarsit ve dolomitik kireçtaşlarını, Maastrihtiyen yaşlı ofiyolitli karışığın çeşitli bloklarını (özellikle peridotit, serpantinit, spilt, radyolarit bloklarını), erken─Orta Miyosen yaşlı volkanitleri (özellikle trakiandezitik tüf, Riyolitik andezit, bazaltik andezit, çört, aglomera ve cam tüf), volkanitlerle yanal ve düşey geçişli ve alt seviyelerinde kömür içeren göl─akarsu sedimanter istifi keser, toplam olarak 60─200 m arasında değişen miktarda ve egemen olarak düşey yönde öteler; gerek bu birimleri kendi aralarında ve gerekse Pliyo─Kuvaterner yaşlı graben dolgusu ile tektonik olarak karşı─karşıya getirir. Yeşilyurt fay zonunu oluşturan ve yıkıcı deprem üretme potansiyeline sahip önemli faylar arasında, batıdan doğuya doğru, Uğurluca, Çukuröreni, Belova ve Hamurköy fayları sayılabilir (EK-1).

5.6.2.1. Uğurluca, Çukurören ve Muratdağı Fayları

Doğuda Çukurören ile batıda Göklerbel yerlşeşkeleri arasında ve Uğurluca köyünün yakın kuzeyinde yüzeyleyen Uğurluca fayı, uzanımı boyunca Muratdağı çayını ve onun yan kolları ile Çukurören grabeninin güney kenarını denetler (EK-1). Batıda incleme alanımız dışında kısa bir mesafe boyunca devam eden fay, doğuda yaklaşık D─B- gidişli Çukurören fayı ile kesişir ve sona erer. Toplam 20 km uzunluğunda ve kuzeye doğru dikçe eğimli (78º) olan Uğurluca fayı büyük kesimi boyunca BGB-gidişli olmakla birlikte, doğu kesimi boyunca ve kısa bir mesafe de D─B yönde gidiş gösterir. Pliyo─Kuvaterner yaşlı akarsu tortulları fay tarafından kesilmiş, yükseltilmiş, parçalanmış ve değişik kotlarda faya asılı taraça tortulları olarak kalmıştır.

Çukurören fayı yaklaşık 5 km uzunluğunda, D─B-gidişli, güneye dikçe eğimli normal bir fay olup, yaklaşık 0.2 km genişlikte ve 3.5 km uzunluğundaki Pliyo─Kuvaterner yaşlı Çukurören grabenini kuzey kenarı boyunca sınırlar ve denetler (EK-1).

Muratdağı fayı batıda Erdoğmuş beldesi (inceleme alanımız dışı) ile doğuda Muratdağı Hamamları yakın doğusu arasında yüzeyler (EK-1). Uzanımı boyunca kuzeye doğru içbükey ve yarı doğrusal bir faylanma izi sunan Muratdağı fayı 23 km uzunluğunda , D─B-gidişli, kuzeye doğru 50º─70º ile eğimli verev atımlı normal bir faydır.Uzanımı boyunca değişik yaş ve türdeki kaya birimlerini kesip kuzey ve düşey yönde yer yer 100 m kadar öteleyen Muratdağı fayı morfotektonik yapılara (fay denetimli dereler, fay boyunca sıcak su çıkışları, vb.) ve sismik verilere göre diridir. Nitekim, Muratdağı fayının ve Uğurluca fayının batı yarıları Ms = 7.0 büyüklüğündeki 1970 Gediz depremi ile etkin hale gelmiştir (Grabert 1971; Ambraseys ve Tchalenko 1972).

Fay denetimli akarsu yatakları, Pliyo─Kuvaterner yaşlı fay taraçaları ve küçük deprem etkinliği (EK-2) Uğurluca ve Çukurören faylarının diri olduğunu gösterir. Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülüne göre, Çukurören, Uğurluca ve Muratdağı faylarından kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü sırayla Mw = 5.9, Mw = 6.56 ve Mw = 6.6 dır.

5.6.2.2. Belova Fayı

Belova fayı batıda Soğanlı ağılı ile doğuda Yeşilyurt köyü arasında yüzeyler (EK-1). En batıda Soğanlı ağılı yakınından başlayıp D─B-yönünde Belova yakın batısına kadar bu uzanımını koruyan fay, bu kesimde kısa bir mesafe boyunca kuzeye doğru döner ve daha

sonra Belova yakın güneyinden geçerek yine D─B-yönünde Kızıltaş tepeye değin devam eder. Kızıltaş tepe yakın kuzeyinde önce iki kola ayrılaır ve daha sonra DGD-yönüne döner ve birbirine paralel ve yakın aralıklı (0.2─1 km) iki ana alt kol halinde Yeşilyurt köyünün yakın doğusuna kadar devam eder ve orada sona erer. Uzanımı boyunca Oysu dereyi ve onun alt kollarını denetleyen Belova fayının güney kolu, bu çalışmada, Kızıldağ fay segmenti, kuzey kolu ise Oysu fay segmenti olarak adlanıp haritalanmıştır. Kızıldağ fay segmenti, Muratdağı horstunun Kızıldağ kesimini ve aynı zamanda batıya doğru daralıp sonlanan Ağaçköy grabeninin güney kenarını, Oysu fay segmenti ise aynı grabenin kuzey kenarını sınırlar ve denetler (EK-1). Yaklaşık 12 km uzuluğundaki Kızıldağ fay segmenti Jura─Alt Kretase yaşlı düşük dereceli metamorfitleri (başlıca yeşilşist, kalkşist, kuvarsit ve dolomitik rekristalize kireçtaşı) ve göl─akarsu ürünü Miyosen yaşlı sedimanter istifi keser, düşey yönde 70 m kadar öteler, gerek bu birimleri kendi aralarında, gerekse onları Pliyo─Kuvaterner yaşlı graben dolgusu ile tektonik olarak karşı─karşıya getirir. Kızıldağ segmentinin kuzeye dikçe bakan fay sarplığı (Şekil 42), bu sarplığı enine kat eden ve graben içine akan dereler tarafından, fay üzerindeki harekete doğal bir tepkime olarak, derince kazılmıştır. Yaklaşık 11 km uzunluğunda ve güneye dikçe eğimli olan Oysu fay segmenti ise, ereken─Orta Miyosen yaşlı ve derin bir göl ortamı ürünü olan fliş özelliğindeki kıvrımlı sedimanter istifi kesip düşey yönde öteler ve Pliyo─Kuvaterner yaşlı graben dolgusu ile karşı-karşıya getirir.

Fay denetimli dereler ve küçük deprem etkinliği Belova fayı ve onun iki alt kolunu oluşturan Kızıldağ ve Oysu fay segmentlerinin diri olduğunu gösterir. Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülüne göre, alt kollarıyla birlikte yaklaşık 26-27 km uzunluğa sahip olan Belova fayından kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü Mw = 6.7 dir.

Şekil 42. Doğudan batıya doğru Ağaçköy grabenin kuzey kenarını sınırlayan Kızıldağ fayının genel görünümü (ön planda Yeşilyurt köyü).

5.6.2.3. Hamurköy Fayı

Doğuda Tavşan tepe yakın doğusu ile batıda Zafertepeçalköy arasında yüzeyleyen Hamurköy fayı (EK-1) yaklaşık 14 km uzunluğunda, D─B-gidişli, güneye dikçe eğimli (75º─80º) verev atımlı normal bir faydır. Güneye doğru içbükey ve yarı doğrusal bir ize sahip olan Hamurköy fayı, uzanımı boyunca erken─Orta Miyosen yaşlı volkanitleri, aynı yaşlı Miyosen karbonatlarını ve geç Paleozoyik yaşlı mermerleri keser, düşey yönde 30─70 m arasında değişen miktarlarda öteler ve onları gerek kendi aralarında gerekse Pliyo─Kuvaterner yaşlı kırmızı çakıltaşlarıyla (Ağaçköy grabeni dolgusunun en alt ve iri taneli kenar fasiyesi) tektonik olarak yan yana getirir. Hamurköy fayı, kendisine paralel ve yakın aralıklı, daha kısa ve sintetik türdeki diğer normal fay segmentleriyle birlikte, Ağaçköy grabeninin kuzeydoğu kenarını sınırlar, denetler ve güneye bakan basamak türü faylanma biçimi sunar. Grabenin bu kesiminde, Hamurköy ana fayı ve diğer sintetik fay segmentleri boyunca birikmiş oan toplam düşey atım miktarı yaklaşık 150 m dolayındadır.

Hamurköy fayı jeolojik olarak diri olmakla birlikte sismik olarak diri olup olmadığı belirsizdir. Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülüne göre, Hamurköy fayından kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü Mw = 6.4 dür.

5.7. Sivaslı─Banaz Grabeni

Yaklaşık olarak güneyde Çivril ilçesi yakın kuzeyi ile kuzeyde Dumlupınar ilçesi arasında yüzeyleyen Sivaslı─Banaz grabeninin kuzey yarısı inceleme alanımızın güneybatı ucunda ve içinde yer alır (EK-1). Sivaslı─Banaz grabeni 5─12 km genişlikte, 60 km uzunlukta ve genel olarak KKD-gidişli etkin bir çöküntü alaınıdır (graben). Güney kesimi, yalnızca doğu kenarı boyunca diri faylarla sınırlı olup bir yarım graben özelliği taşırken, grabenin orta ve kuzey─kuzeydoğu kesimi hem batı hem de doğu kenarı boyunca diri faylarla sınırlı olup tam fakat bakışımsız (asimetrik) graben özelliğindedir (EK-1). Sivaslı─Banaz grabeni, en güney ucunda (inceleme alanımız dışında) KD-gidişli Çivril ve KB-gidişli Dinar grabenleri ve onların kenar faylarıyla kesişip, faylar üzerindeki hareketin yavaşlayıp kilitlenmesi nedeniyle yüksek gerilim enerjisinin biriktiği bir kavşak noktası oluşturur; buna karşın, grabenin kuzey─kuzeydoğu ucu, BKB-gidişli Sinanpaşa ve Ağaçköy grabenlerinin güney kenar faylarıyla kesişir ve böylece, Sivaslı─Banaz grabeni, yaklaşık 65 km güneyde ve uzakta yer alan Çivril─Dinar grabenleri ile kuzeyde yer alan Sinanpaşa─Ağaçköy grabenleri arasında yapısal bir bağlantı oluşturur ve fazla enerjiyi transfer eder. Sivaslı─Banaz grabeni içinde Sivaslı ve Banaz ilçeleri ile belde ve köy

boyutunda çok sayıda yerleşim alanı yer alır. Ayrıca, grabenin 20 km batısında toplam nüfusu 300.000 civarında olan önemli bir sanayi ve turizm kentimiz olan Uşak yer alır.

Uzanımı boyunca Banaz Çayı ve yan kolları tarafından akaçlanan (direne edilen) Sıvaslı─Banaz grabeni özellikle doğu kenarı boyunca çok sayıda ve önemli boyutta diri fay tarafından sınırlanır ve denetlenir. Doğuya ve batıya eğimli ve değişik boyuttaki fayların tümü bu çalışmada Sıvaslı─Banaz fay zonu olarak adlanmıştır.

5.7.1. Sivaslı─Banaz Fay Zonu

Sivaslı─Banaz fay zonu da, aynı adlı garaben gibi, güneyde ve inceleme alanımız dışında yer alan ve yukarıda sözü edilen üç ayrı graben ve onların kenar faylarının kesişim yeri (kavşağı) olan Işıklı Beldesi ile kuzey─kuzeydoğudaki Dumlupınar ilçesi arasında yüzeyleyen diri bir neotektonik yapıdır. Güneyde Işıklı beldesi yakın kuzey─kuzeybatısından başlayan fay zonu Sivaslı ilçesine değin K30ºB yönünde devam eder ve Sivaslı ilçesi yakınlarında doğuya 25º─30º lik bir dönüş yaparak K─G- yönünde daha kuzeyde yer alan Susuz köyüne değin devam eder; burada yeniden doğuya doğru gittikçe artan bir dönüş yapar ve K20º─70º arasında değişen yönlerde Dumlupınar ilçesi yakın batısına değin devam eder ve orada sona erer (EK-1). Sivaslı─Banaz fay zonu yaklaşık 3─9 km genişlikte, 60 km uzunlukta, KKB-, K─G-, ve KKD- gidişli diri bir fay zonu olup birbirine paralel─yarı paralel, genelde sık aralıklı (0.5─4 km), uzunlukları 2.5─44 km arasında değişen çok sayıda normal fay segmentinden oluşur. Banaz fay zonunu oluşturan tüm fay segmentleri boyunca, grabenin gelişim süresince birikmiş olan toplam düşey atım miktarı 200─600 m arasında değişir. Banaz fay zonunu oluşturan önemli fay segmentleri arasında güneyden kuzeye doğru, Burgazdağ fayı, Sivaslı fayı, Banaz fayı, Kızılcaören fayı, Alaba fayı ve Bahadır fayları sayılabilir. Bunlardan Burgazdağ ve Sıvaslı fayları dışındakiler inceleme alanımız içinde (EK-1) kalmakta olup, yıkıcı deprem üretme potansiyeline sahip bu faylar aşağıda açıklanmıştır. İnceleme alanımız dışında kalan faylar ise açıklanmamıştır.

5.7.1.1. Banaz Fayı

Banaz fayı güneyde Sivaslı ilçesi (inceleme alanımız güneyi ve dışı) ile kuzeyde Dumlupınar ilçesi yakın batısı arasında yüzeyler (EK-1). Yaklaşık 44 km uzunlukta, KKD-gidişli ve batı─kuzeybatıya dikçe eğimli (60º─75º) verev atımlı nornmal bir fay olan Banaz fayı, Sivaslı─Banaz grabeninin doğu kenarını sınırlayıp denetler ve aynı zamanda Sivaslı─Banaz fay zonunun da ana fayıdır. Banaz fayı uzanımı boyunca Miyosen─Orta Pliyosen yaşlı akarsu─göl ürünü ve kıvrımlı sedimanter istifi keser, egemen olarak düşey yönde 200 m ye kadar öteler ve Pliyo─Kuvaterner yaşlı graben dolgusu (çoğun kırmızı

çakıltaşı ve çamurtaşı) ile karşı─karşıya getirir. Banaz çayı ve çaya doğudan karışan çok sayıda yan dere Banaz fayı tarafından denetlenir. Fayın doğudaki taban bloğunu oluşturan dağlık alandan doğup batıya graben içine doğru akan dereler ve güney─güneybatıya doğru akan ve Banaz fayının aşağı düşen tavan bloğu üzerine kurulmuş olan Banaz çayının kendisi, Banaz fayı üzerindeki düşey harekete bir tepkime olarak yataklarını derine kazmıştır. Ayrıca, fayın tavan bloğu üzerinde etkin ve çatlak sırtı türde traverten oluşumu ve sıcak su gelimi (örneğin: Burak Kaplıcası gibi) günümüzde etkin olarak sürmektedir (Şekil 43 ve 44). Etkin travertenler üzerinde gelişmiş olan çatlak sırtının ortalama gidişi K45ºD olup, bu alandaki yerel genişlemenin de yaklaşık KB─GD yönlerinde sürdüğünü göstermektedir (Şekil 44).

Yukarıda açaıklanan morfotektonik yapılar ve küçük deprem etkinliği, Banaz fayının diri olduğunu doğrulamaktadır. Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülüne göre, günümüzde sismik boşluk özelliğini koruyan Banaz fayından kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü Mw = 6.98 dir (yaklaşık Mw = 7.0).

Şekil 43. Kuzeydoğudan güneybatıya doğru Burak kaplıcası ve sıcak su kaynaklarının genel görünümü.

Şekil 44. K 45º D- gidişli çatlk sırtı travertenin genel görünümü (siyah oklar yerel genişleme yönünü gösterir) (yer: Burak kaplıcaları).

5.7.1.2. Alaba Fayı

Alaba fayı kuzeydoğuda Halaçlar köyü ile güneybatıda Banaz ilçesi yakın kuzeyi arasında yüzeyler (EK-1). Yaklaşık 16 km uzunluğunda, K20º─55º D-gidişli ve kuzeybatıya dikçe eğimli olan fay grabenin içinde yer alır Sıvaslı─Banaz grabeninin kuzey kesimini iki bloğa böler. Uzanımı boyunca Alaba fayı, Miyosen─Orta Pliyosen yaşlı akarsu─göl ortamında depolanmış kalın ve kıvrımlı sedimanter istifi keser, düşey yönde 20─30 m kadar öteler ve Pliyo─Kuvaterner yaşlı graben dolgusu ile karşı─karşıya getirir (EK-1).

Fay denetimli dereler ve tektonik olarak yaşlı birimlerin Kuvaterner yaşlı birimlerle karşı─karşıya gelmesi fayın jeolojik olarak diri olduğunu gösterir. Ancak bu gözlemi doğrulayacak sismik veri elde edilememiştir. Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülüne göre, Alaba fayından kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü Mw = 6.47 dir.

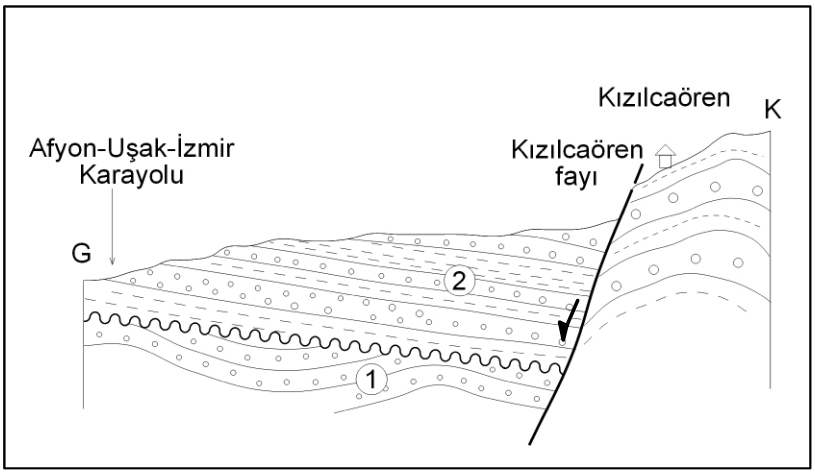
5.7.1.3. Kızılcaören Fayı

Yaklaşık olarak Kızılcaören, Kuşdemir ve Eski Banaz yerleşkeleri boyunca yüzeyleyen, 16 km uzunluğunda, K30ºD-gidişli ve güneydoğuya graben içine doğru dikçe eğimli (75º─80º) normal fay özelliğine ship Kızılcaören fayı, Sıvaslı─Banaz grabeninin kuzeybatı kenarını sınırlar ve denetler (EK-1 ve Şekil 45). Uzanımı boyunca Miyosen─Orta Pliyosen yaşlı akarsu─göl ortamında depolanmış kalın ve kıvrımlı sedimanter bir istifi keser,

düşey yönde 100 m kadar öteler ve Pliyo–Kuvaterner yaşlı graben dolgusu ile karşı–karşıya getirir (EK-1 ve Şekil 46).

Kızılcaören fayı jeolojik olarak diri olmakla birlikte, bu gözlemi doğrulayan sismik veri bulunamamıştır. Wells ve Coppersmit'in (1994) kuramsal formülüne göre, Kızılcaören fayından kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü Mw = 6.47 dir.

Şekil 45. Güneyden kuzeye doğru Kızılcaören fayının genel görünümü (ön planda Kızılcaören köyü).



Şekil 46. Kızılcaören fayını ve fay tarafından kesilip karşı karşıya getirilmiş değişik kaya birimlerini gösteren ölçeksiz jeoloji enine kesiti. 1: Miyosen–Orta Pliyosen yaşlı akarsu–göl ürünü sedimanter istif ve 2: Pliyo–Kuvaterner yaşlı kırmızı çakıltaşları.

5.7.1.4 Bahadır Fayı

Doğuda Dumlupınar ilçesi yakın kuzeyi ile batıda Küçükoturak köyü arasında yüzeyleyen Bahadır fayı, yaklaşık 24 km uzunlukta, K75ºD-gidişli, güneye graben içine doğru dikçe eğimli (70º) verev atımlı normal bir faydır (EK-1). Kuzey ucu, yaklaşık KKD-gidişli normal bir fay segmenti ile Ağaçköy fay zonuna bağlanan Bahadır fayı, uzanımı boyunca

Miyosen─Orta Pliyosen yaşlı akarsu─göl ortamında depolanmış kalın ve kıvrımlı sedimanter bir istifi keser ve düşey yönde yaklaşık 30─70 m kadar öteler.

Hamamderesi ve Banaz Çayı'nın çok sayıdaki yan kolarını denetleyip öteleyen Bahadır fayı jeolojik olarak diridir. Ancak, bu gözlemi doğrulayan sismik veri bulunamamıştır. Wells ve Coppersmit'in (1994) kuramsal formülüne göre, Bahadır fayından kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü Mw = 6.68 dir.

Sivaslı─Banaz garbeni ve onun kenar fayları dışında, inceleme alanımızın en batı kesimini karakterize eden diğer bazı yapılar da gözlenmiş, haritalanmış ve adlanmıştır. Bunlar arasında Çamsu grabeni ile onun kenar fayları sayılabilir (EK-1). Bu yapılar da aşağıda kısaca açıklanmıştır.

5.8. Çamsu grabeni

Muratdağı horstunun kuzey kesimi gibi, onun güney kesimi de yakalşık BKB-gidişli bazı neotektonik yapılar tarafından parçalanıp alt horst ve garabenlere bölünmüştür. Bunlardan en önemlisi Çamsu grabeni ve onun henmen güneyinde yer alan Kapıdağı alt horstudur (EK-1). Çamsu grabeni yaklaşık 1─4.5 km genişlikte, 12 km uzunlukta ve yaklaşık BKB-gidişli etkin bir çöküntü olup duraksamalı gelişim tarihçesine sahiptir. Graben başlıca Gürlek Çayı ve onun çok sayıdaki yan kolları tarafından akaçlanır. Çamsu grabeni hemen hemen tüm kenarları boyunca normal fay segmentleri tarafınndan sınırlanır ve denetlenir. Bu faylar aşağıda açıklanmıştır.

5.8.1. Gürlek Fayı

En batıda inceleme alanımızın yaklaşık 1 km kadar dışından başlayıp doğuya doğru D─B-yönünde devam ederek önce Baltalı güneyinden ve daha sonra Yeşilyurt yerleşkesinden geçer ve en doğuda Kızılcaören fayı ile kesişir ve sona erer (EK-1). Uzanımı boyunca D─B-, BKB- ve KB- gibi değişik gidişler izleyen fay, Çamsu grabeninin güney kenarını snırlar, hem grabeni hem de Gürlek Çayı'nı denetler. Uzanımı boyunca akarsu─göl ortamında depolanmış Miyosen─Orta Pliyosen yaşlı kalın sedimanter bir istifi keser, 40─50 m kadar düşey yönde öteler ve Pliyo─Kuvaterner yaşlı graben dolgusu ile tektonik olarak karşı─karşıya getirir (EK-1). Yaklaşık 22 km uzunluğunda, kuzeye doğru 50º─60º de eğimli verev atımlı normal bir fay olan Gürlek fayı kuzeye doğru dış bükey ve yarı doğrusal bir fay izi sunar.

Morfotektonik yapılar ve küçük deprem etkinliği (EK-2) Gürlek fayının diri olduğunu doğrular. Wells ve Coppersmit'in (1994) kuramsal formülüne göre, Gürlek fayından kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü Mw = 6.63 dür.

5.8.2. Avdan Fayı

Doğuda Avdan tepe ile batıda Kara tepe arasında yüzeyler ve Çamsu grabeninin kuzey kenarını sınırlayıp denetler. Yaklaşık 12 km uzunluğunda, güneye dikçe eğimli (70º─78º) verev atımlı normal bir fay olan Avdan fayı, uzanımı boyunca akarsu─göl ortamında depolanmış Miyosen─Orta Pliyosen yaşlı kalın sedimanter bir istifi keser, 20─30 m kadar düşey yönde öteler ve Pliyo─Kuvaterner yaşlı graben dolgusu ile yer yer tektonik olarak karşı─karşıya getirir (EK-1).

Gürlek Çayı'nın yan kolarını kesen ve yer yer öteleyen Avdan fayı jeolojik olarak diri olmakla birlikte, bunu doğrulayan sismik veri elde edilememiştir. Wells ve Coppersmit'in (1994) kuramsal formülüne göre, Gürlek fayından kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü Mw = 6.33 dür.

5.8.3. Derbent Fayı

Doğuda Kızılcaören ile batıda Çevreköy (inceleme alanımızın 3.5 km dışında ve batısında) yüzeyler. Doğuda Kızılcaören fayı ile kesişen Derbent fayı batı yönde devam ederek sırayla Derbent, Kızılhisar, Karlık, Güvem, Mesudiye ve Gücer (inceleme alanımız dışı) köylerinden ya da yakın çevresinden geçer ve daha batıda (Uşak ilinin 4 km kuzeydoğusu) yaklaşık KD-gidişli ve güneydoğuya eğimli Çevreköy fayı ile kesişerek sona erer. Yaklaşık 20 km uzunluğunda, D─B-gidişli ve güneye dikçe eğimli (76º) verev atımlı normal bir fay oaln Derbent fayı, uzanımı boyunca akarsu─göl ortamında depolanmış Miyosen─Orta Pliyosen yaşlı kalın sedimanter bir istifi keser ve 60 m kadar düşey yönde öteler. Derbent fayı, yine uzanımı boyunca çok sayıda dereyi keser ve denetler (EK-1).

Gerek faylanma nedeniyle oluşmuş morfotektonik yapılar ve gerekse küçük deprem etkinliği (EK-2), Derbent fayının diri olduğunu doğrular. Uşak iline en yakın diri faylardan biri olan Derebent fayından kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü, Wells ve Coppersmit'in (1994) kuramsal formülü baz alındığında Mw = 6.56 dır.

6. SONUÇLAR

Proje kapsamında gerçekleştirilen ve büyük bölümü arazide jeolojik harita alımı biçiminde sürdürülen çalışmalarla aşağıdaki sonuç ve önerilere ulaşılmıştır:

1. Akşehir─Simav fay sisteminin orta kesimini oluşturan, doğuda yaklaşık olarak Çobanlar ilçesi ile batıda Çukurören yerleşkesi arasında kalan 113 km uzunluğundaki alan ilk kez bir sismik boşluk (Çobanlar─Çukurören Sismik Boşluğu) olarak tanımlanmıştır.

2. Çobanlar─Çukurören Sismik boşluğunu içine alan yaklaşık 4200 km² büyüklüğündeki bir alanın, özellikle deprem kaynaklarını (fayları) içeren, yaklaşık 1/131500 ölçekli neotektonik haritası (EK-1) ilk kez yapılmıştır.

3. Yukarıda anılan sismik boşluk içerisinde değişik boyutta ve çoğunluğu bu proje kapsamında olmak üzere 11 graben (Akşehir─Afyon, Karamık, Şuhut, Sinanpaşa, Köprülü, Altıntaş, Ağaçköy, Yüylük, Çukurören, Çamsu ve Banaz grabenleri), 6 horst (Paşadağ, Kızıldağ, Ahırdağ, Türkmentepe, Olucak ve Muratdağı horstları) ve 2 adet de alt horst (Çavdarlı ve Kapıdağ alt horstları) belirlenmiş, adlanmış, haritalanmış ve genel özellikleriyle açıklanmıştır.

4. Yine aynı sismik boşluk içinde yıkıcı deprem üretme potansiyeline sahip ve uzunlukları 5.5 km ile 44 km arasında değişen toplam 35 adet fay (çoğunluğu bu çalışma kapsamında olmak üzere) ilk kez belirlenmiş, ayrı ayrı haritalanıp adlanmış ve deprem tehlikesi açısından analiz edilmiştir.

5. Bu faylardan kaynaklanabilecek olan en büyük (peak earthquake) yıkıcı depremin büyüklüğü Mw = 5.9 ve Mw = 6.98 (yaklaşık Mw = 7.0) arasında değişir.

6. Gerek tarihsel dönemlerde olup kataloğa kayıd edilmiş tarihsel depremlerin, gerekse son yüz yıl içinde oluşmuş büyüklüğü 2 den büyük depremlerin (toplam 847 adet) kullanılarak, Çobanlar-Çukurören sismik boluğu için ilk kez yaklaşık 1/131500 ölçekli bir sismotektonik harita yapılmıştır (EK-2).

7. Proje kapsamı dışında olmakla birlikte, anılan sismik boşluk içindeki Pliyo-Kuvaterner yaşlı henüz yeterince pekişmemiş ve deprem büyütme özelliğine sahip olan zemin ile deprem tehlikesi taşımayan sert zemin yaklaşık da olsa ayrı haritalanmıştır (EK-1).

8. Çalışma alanı içindeki etkin ve yerel genişleme yönleri fayların kinematik analizleri sonucu belirlenmiştir. Buna göre inceleme alanımız genişleme türünde etkin bir neotektonik rejiminin denetiminde yaklaşık ve ortalama olarak KKD-yönde genişlemektedir.

9. Özet olarak içinde Afyon ili yanısıra ilçe, belde ve köy boyutunda çok sayıda yerleşim biriminin, sanayi kuruluşu ve turistik tesisin bulundağu Çobanlar-Çukurören sismik boşluğunun deprem tehlikesi haritasının hazırlanmasında baz olarak kullanılacak olan deprem

kaynakları (faylar) ve bu faylardan kaynaklanacak en büyük deprem büyüklükleri saptanmıştır.

7. ÖNERİLER

Gelinen bu noktada aşağıdaki çalışmaların zaman geçirilmeden yapılması, özellikle bu sismik boşluk içindeki il ve ilçe düzeyindeki birimlerin yerel yöneticilerine (Vali, Kaymakam ve Belediye Başkanlıkları) önemle duyurulur ve önerilir:

1. Mw = 6 ve daha büyük deprem üretme potansiyeline sahip aktif faylar üzerinde tarihsel depremlerin sayı ve yinelenme aralığını belirlemeye dönük paleosismoloji çalışmalarının yapılması,

2. Yine aynı faylar üzerindeki yıllık kayma hızlarını bulmaya dönük jeodezi çalışmalarının yapılması

3. Deprem tehlike haritalarının yaptırılması,

4. Ayrıntılı zemin etüdlerinin yaptırılması

5. Deprem risk analizinin yaptırılması.

8. PROJE KAPSAMINDA YAPILAN YAYINLAR

Bu proje kapsamında aşağıdaki bildiri verilmiş ve bir adet makale yayımlanmıştır;

1 Bildiri: Aktif Tetonik Araştırma Grubu 10. Toplantısı, 2-4 Kasım 2006 tarihli sempozyumda "K-G-gidişli aktif bir genişleme yapısı, Şuhut (Afyon) grabeni: Isparta Açısı'nda genişlemeli neotektonik dönemin başlama yaşı, GB Türkiye" adlı bir bildiri sunulmuştur.

2. Makale: Koçyiğit, A. & Deveci, Ş. 2007. A N-S-trending active extensional structure, the Şuhut (Afyon) graben: Commencement age of the extensional neotectonic period in Isparta Angle, SW Turkey. *Turkish Journal of Earth Science (baskıda).* Makalenin ingilizce abstractı ve Türkçe özü aşağıda sunulmuştur.

A N-S-trending active extensional structure, the Şuhut (Afyon) graben:

Commencement age of the extensional neotectonic period in Isparta Angle, SW Turkey

ALİ KOÇYİĞİT & ŞULE DEVECİ
Middle East Technical University, Department of Geological Engineering, Active Tectonics and Earthquake Research Lab., TR-06531 Ankara-Turkey

Abstract: The Şuhut graben is an about 8-11 km wide, 24 km long, N-S-trending and actively growing extensional neotectonic structure located on the southern shoulder of the major Akşehir-Afyon graben near the apex of outer Isparta Angle. The Şuhut graben developed on a pre-Upper Pliocene basement rock assemblage composed mostly of pre-Jurassic metamorphic rocks and Jurassic–Lower Cretaceous platform carbonates overlain with an angular unconformity by the Afyon strato-volcanic complex to its fluvio-lacustrine sedimentary cover of late Early-Miocene-Middle Pliocene age.

Particularly, eastern margin of the Şuhut graben is dominated by the Afyon volcanics and their well-bedded fluvio-lacustrine sedimentary cover deformed by folding. This is strongly evidenced by a series of anticlines and synclines with the NNE-SSW-trending axes developed in this sequence. The stereographic plots of poles to bedding on the lower Schmidt hemisphere net reveal that this volcano-sedimentary sequence have been deformed by a phase of compression (the latest phase of paleotectonic period) operated in an approximately WNW-ESE (N76°W) direction. This older and deformed (folded) volcano-sedimentary sequence is overlain with an angular unconformity by the nearly flat-lying modern graben infill of Plio-Quaternary age. Paleostress analyses of slip-plane data recorded in the lowermost unit of the modern graben infill and on the margin-boundary active faults indicate that the Şuhut graben continues to develop under the control of an extension operating in ENE-WSW direction since the latest Pliocene. Therefore, commencement age of the extensional neotectonic period, throughout Isparta Angle and particularly in the Şuhut area, is Latest Pliocene, even if, it has been previously reported that Isparta Angle has been experiencing a compressional neotectonic regime since Middle Miocene.

All margins of the Şuhut graben are determined and controlled by a series of oblique-slip normal fault sets and isolated faults. Major and more active ones having a capacity of creating destructive earthquakes with magnitude of Mw = 6.3 and Mw = 6.5 are the Ağzıkara, Güneytepe, Çobankaya and the Yarışlı faults. This was previously proved by the occurrence of two devastative historical earthquakes, the 1766 and 1862.11.14 seismic events with intensity of VII-X. However, the Yarışlı fault still retains its nature of seismic gap. In addition, the finer-grained modern graben infill has also a high capacity of liquefaction. Therefore, these active faults and the finer-grained alluvial sediments have to be into account in both the earthquake risk analysis and design of city planning of the Şuhut County.

Key Words: Isparta Angle, folds, compressional paleotectonic regime, Şuhut graben, oblique-slip normal fault, Paleostress analysis, extensional neotectonic regime

K-G-gidişli aktif bir genişleme yapısı, Şuhut (Afyon) grabeni: Isparta Açısı'nda genişlemeli neotektonik dönemin başlama yaşı, GB Türkiye.

Öz: Şuhut grabeni yaklaşık 8-11 km genişlikte, 24 km uzunlukta, K-G gidişli ve aktif olarak büyüyen genişleme türü bir neotektonik yapı olup, Akşehir-Afyon ana grabeninin günüy omuzunda ve dış Isparta Açısı'nın kuzey uç kesiminde yer alır. Şuhut grabeni Geç Pliyosen öncesi yaşlı bir temel kaya topluluğu üzerinde gelişmiştir. Temel kaya topluluğu başlıca Jura öncesi yaşlı metamorfik kayalar, Jura-Alt Kretase yaşlı platform karbonatları ve bunları açılı uymsuzlukla üzerleyen geç Erken Miyosen-Orta Pliyosen yaşlı ve çok evreli Afyon volkanik karmaşığı ve onunla altta geçişli fakat üste doğru ona örtü oluşturan akarsu-göl ortamında çökelmiş sedimanter bir istiften oluşur.

Şuhut grabeninin özellikle doğu kenarı, Afyon volkanitleri ve onun kıvrımlanarak deformasyon geçirmiş olan akarsu-göl ortamı ürünü sedimanter örtüsü tarafından biçimlenir. Bu istif içinde gelişmiş, KKD-GGB eksen gidişli bir seri antiklinal ve senklinal, birimin sıkışma türü bir deformasyon geçirdiğininin güçlü kanıtıdır. Katman kutuplarının Schmidt'in alt yarıküre neti üzerine stereografik izdüşümleri, anılan volkanosedimanter istifin ve onunla geçişli sedimanter örtünün, yaklaşık BKB-DGD (K76°B) yönünde etkin olmuş bir sıkışma fazı (Paleotektonik dönemin en son fazı) ile deformasyona uğradığını göstermektedir. Daha yaşlı ve kıvrımlanarak deformasyon geçirmiş olan volakano-sedimanter istif, hemen hemen yatay konumlu ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı graben dolgusu tarafından açılı uyumsuzlukla örtülür. Gerek grabenin en alt dolgusu içinde kayıd edilmiş, gerekse grabeni sınırlayan aktif kenar fayları üzerinde gelişmiş olan kayma vektörlerinin (kayma düzlemi ve kayma çizikleri) eskigerilim analizi, Şuhut grabeninin DKD-BGB yönlerinde etkin olan bir genişlemenin denetiminde, en Geç Pliyosen'den beri gelişimini sürdürmekte olduğunu gösterir.Bu nedenle, tüm Isparta Açısı ve özellikle Şuhut bölgesinde, genişleme türü neotektonik dönemin başlama yaşı en Geç Pliyosen'dir. Halbuki daha önce, Isparta Açısı'nın, Orta Miyosen'den beri sıkışma türü bir neotektonik rejimin denetiminde olduğu rapor edilmişti.

Şuhut grabeninin tüm kenarları bir seri verev atımlı normal fay seti ve tekil faylar tarafından belirlenmekte ve denetlenmektedir. Çok daha aktif ve büyüklüğü Mw = 6.3 ve Mw = 6.4 arasında değişen yıkıcı deprem üretme potansiyeline sahip ana faylar Ağzıkara, Güneytepe, Çobankaya ve Yarışlı faylarıdır. Bu durum, özellikle Ağzıkara ve Güneytepe ana faylarından kaynaklanan ve şiddetleri VII-X arasında değişen iki yıkıcı tarihsel depremle de (1766 ve 14 Kasım 1862 depremleri) kanıtlanmıştır. Bununla birlikte, Yarışlı fayı, sismik boşluk özelliğini günümüzde de korumaktadır. Ayrıca, ince taneli güncel graben dolgusu, yüksek sıvılaşma kapasitesine sahiptir. Bu nedenle, anılan ana aktif faylar ve sıvılaşma kapasitesi yüksek olan ince taneli alüvyon, gerek deprem risk analizinde, gerekse Şuhut İlçesi gelişim planlamasında dikkate alınmalıdır.

Anahtar sözcükler: Isparta Açısı, kıvrım, sıkışma türü paleotektonik rejim, Şuhut grabeni, verev-atımlı normal fay; eskigerilim analizi, genişleme türü neotektonik rejim.

9. DEĞİNİLEN BELGELER

AKAL, C. 2003. Mineralogy and Geochemistry of Melilite Leucitites, Balçıkhisar, Afyon, (Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences* **12**, 215–239.

AKAN, B. 2003. Afyon Ömer-Gecek jeotermal sisteminde re-enjeksiyon uygulamalarının rezervuar sıcaklığı üzerine etkilerinin modellenmesi [Modelling the influence of re-enjection application on reservoir temperature in Afyon Ömer-Gecek geothermal system] *Yerbilimleri* **28,** 81-97.

AKAR, S., ALTAY, M., 2002. Geological – geotechnical investigation report for the Organized Industrial District of Çay. General Directorate of Turkish Highways, Ankara, 6pp. [In Turkish].

AKSAR, D. 2006. Analysis of 15 December 2000 and 3 February 2002 Sultandağ ─ Afyon earthqaukes. MSc Thesis Boğaziçi University, İstanbul Turkey.

AKYÜZ, H. S., UÇARKUŞ, G., ŞATIR, D., KOZACI, Ö., DİKBAŞ, A. & BİRİNCİ, B. 2002. Çay depremi (3 Şubat 2002, Mw = 6.2) yüzey kırığı üzerinde Paleosismoloji çalışmaları [Paleoseismological investigations on the Çay earthquake (2002,02,03, Mw = 6.2) surface rupture]. Aktif Tektonik Araştırma Grubu 6. Toplantısı (ATAG-6), Abstract, p.96 [In Turkish].

AKYÜZ, H. S., UÇARKUŞ, G., ŞATIR, D., DİKBAŞ, A. & KOZACI, Ö. 2006. 3 Şubat 2002 Çay depreminde meydana gelen Yüzey kırığı üzerinde paleoseismolojik araştırmalar [Paleoseismological investigations on surface rupture from the 3 February 2002 Çay Earthquake]. Havettepe Univ., Yerbilimleri 27, 41-52 [In Turkish with English abstract].

ALTUNEL, E., BARKA A.A. & AKYÜZ, S. 1999. Paleoseismology of Dinar fault, SW Turkey. *Terra Nova* **11**, 297–302.

AMBRASEYS, N.N. 2001. Reassessment of earthquakes 1900-1999 in the Eastern Mediterranean and Middle East. *Geophysical Journal International* **145**, 471–485.

AMBRASEYS, N.N. & TCHALENKO, J.S. 1972. Seismotectonic aspect of the Gediz, Turkey, Earthquake of March 1972. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* **30**, 229–252.

AMBRASEYS, N.N. & FINKEL, C.F. 1995. The seismicity of Turkey and adjacent areas: A Historical Review, 1500 ─ 1800. Eren Publications, 240 p., Istanbul.

AMBRASEYS, N.N. & JACKSON, J.A. 1998. Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region. *Geophysical Journal International.* 133, 390 ─ 406.

ANJELIER, J. 1990. Inversion of field data in fault tectonics to obtain the regional stress. III. A new rapid direct inversion method by analytical meens. *Geophysical Journal International* 103, 363 – 376.

ANJELIER, J. 1994. Fault slip analysis and paleostress reconstructions. In: Hancock, P.L. (Edr), Continental Deformation. *Pergamon Press*, Oxford, 53─100.

ATALAY, İ. 1975a. Akşehir, Eber, ve Karamık gölleri havzalarının Kuvaterner depoları ve jeomorfolojisi [Geomorphology and Quaternary deposits of Akşehir, Eber, and Karamık lacustrine basins]. Proceeding of the 50th Anniversary of the Turkish Republic, Earth Science Congress, MTA publication, 365-385 [In Turkish].

ATALAY, İ. 1975b. Tektonik hareketlerin Sultandağı jeomorfolojisine olan etkileri [The effects of tectonic movements on the geomorphology of Sultandağı]. *Geological Society of Turkey Bulletin* **18,** 21─26 [In Turkish with English abstract].

ATİLLA, A.Ö. 2003. Afyon ovası soğuk su akifer sisteminde kirlenme modeli [Pollution model of the Afyon plain cold water aquifer system]. *Hacettepe Üniv. Yerbilimleri* **28**, 49─63 [In Turkish with English abstract].

AYDAR, E., BAYHAN, H. & ZİMİTOĞLU, O. 1996. Investigation of volcanological and petrological evolution of Afyon stratovolcano. *Earth Sciences* **18**, 87–107.

BARKA, A.A., REILINGER, R.E., ŞAROĞLU, F. & ŞENGÖR, A.M.C. 1995. Isparta Angle: Its importance in the noetectonics of the Eastern Mediterranean Region. *In:* PİŞKİN, D., ERGÜN, M., SAVAŞÇIN, M.Y. & TARCAN, G. (eds.), International Earth Science Colloquium on the Aegean Region, Proceedings 3–18.

BAŞ, H. 1986. Domaniç ─ Tavşanlı ─ Kütahya ─ Gediz yöresinin Tersiyer jeolojisi [Tertiary Geology of the Domaniç ─ Tavşanlı ─ Kütahya ─ Gediz area]. *Bulletin of Chamber of Geological Engineers* **27**, 11–18 [In Turkish with English abstract].

BAŞOKUR, A. T., GÖKTEN, E., SEYİTOĞLU, G., VAROL, B., ULUGERGERLİ, U. E., IŞIK, V., CANDANSAYAR, E. & TOKGÖZ, E. 2002. Jeolojik ve jeofizik çalışmalar ışığında 03.02.2002 Çay (Afyon) depreminin mekanizması, hasarın nedenleri ve bölgenin deprem etkinliği [Mechanism of the 2002.02.03 Çay (Afyon) earthquake, causes of damage and seismicity of region under the light of geological and geophysical studies] Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Araştırma Raporu, 56 s. [In Turkish].

BİNGÖL, E. 1977. Muratdağı jeolojisi ve ana kayaç birimlerinin petrolojisi [Geology and main rock unit petrology of Muratdağı]. *Geological Society of Turkey Bulletin* **20,** 13 ─ 66.

BORAY, A., ŞAROĞLU, F. & EMRE, Ö. 1985. Isparta Büklümünün kuzey kesiminde D–B daralma için bazı veriler [Evidence for E–W shortening in the north of the Isparta Angle]. *Bulletin of Chamber of Geological Engineers* **23**, 9 ─ 20 [In Turkish with English abstract].

ÇEVİKBAŞ, A., ERCAN, T. & METİN, Ş. 1988. Geology and regional distribution of Neogene volcanics between Afyon and Şuhut. *Journal of Pure and Applied Sciences* **21**, 479 – 499.

ÇUHADAR, G. 1977. Akarçay Havzası Hidrolojik Etüt Raporu [Akarçay Basin Hydrological Investigation Report]. General Directorate of State Hydrolic Works (DSİ). 64 s. [In Turkish].

DAD 2007. Records of earthquakes in period of 1900 ─ 2007 in Turkey. Department of Earthquake Research, General Directorate of Disaster Affairs, Ankara ─ Turkey.

DEMİRKOL, R., SİPAHİ, H. & ÇİÇEK, S. 1977. Sultandağının stratigrafisi ve jeolojik evrimi. [Stratigraphy and geological evolution of the Sultandağı]. Mineral Research and Exploration Directorate (MTA) Report, No. 6305 [In Turkish].

DEMİRTAŞ, R., IRAVUL, Y., & YAMAN M. 2002. 3 Şubat 2002 Eber ve Çay depremleri ön raporu [Preliminary report of 2002.02.03 Eber and Çay earthquakes]. Jeoloji Mühendisliği Haber Bülteni, 2002/1 ─ 2, 58 ─ 63.

DİRİK, D. 2002. Akarçay (Afyon) havzasının tektoniği ve Çay-Afyon (03.02.2002) depreminin önemi [Tectonics of Akarçay (Afyon) basin and significance of the Çay ─ Afyon (2002.02.03) earthquake] Aktif Tektonik Araştırma Grubu 6. Toplantısı (ATAG-6), Abstract, 32 ─ 33 [In Turkish].

DOĞDU, M.Ş. & BAYARI, C.S. 2002a. Akarçay Havzası'nda (Afyon) jeotermal kökenli kirlenme: 1.Akarçay Nehri'nde su ve sediman kirliliği [Pollution of geothermal origin in the Akarçay basin (Afyon, Turkey): 1. water and sediment pollution in the Akarçay River]. *Hacettepe Üniv. Yerbilimleri* **25**, 21 ─ 23 [In Turkish with English abstract].

DOĞDU, M.Ş. & BAYARI, C.S. 2002b. Akarçay Havzası'nda (Afyon) jeotermal kökenli kirlenme: 2. yeraltısuyu kirliliği [Pollution of geothermal origin in the Akarçay basin (Afyon, Turkey): 2. groundwater pollution]. *Hacettepe Üniv. Yerbilimleri* **25**, 35 ─ 49 [In Turkish with English abstract].

EMRE, Ö., DUMAN, T. Y., DOĞAN, A., ÖZALP, S., TOKAY, F. & KUŞÇU, İ. 2003. Surface faulting associated with the Sultandağı earthquake (Mw = 6.5) of 3 February 2002, southwestern Turkey. *Seismological Research Letters,* **74,** 382-392.

ERCAN, T., DİNÇEL, A., METİN, S., TÜRKECAN, A. & GÜNAY, E. 1978. Uşak yöresindeki Neojen havzaların jeolojisi [Geology of Nogene basins in Uşak area]. *Bulletin of the Geological Society of Türkey* **21**, 97 ─ 106 [In Turkish with English abstract].

ERGİN, K., GÜÇLÜ, U. & UZ, Z. 1967. Türkiye ve civarının Deprem Kataloğu (Milattan sonra 11. yıldan 1964 sonuna kadar) [An earthquake Catalog for Turkey and its Environs. (11 BC to the end of 1964)]. İstanbul Technical University, Faculty of Mines, Department of Geophysical Engineering publication [In Turkish].

ERİŞEN, B. 1972. Afyon-Heybeli (Kızılkilise) jeotermal araştırma sahasının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları [Geology and geothermal energy potentials of the Afyon-Heybeli geothermal investigation area]. Mineral Research and Exploration Directorate (MTA) Report No. 5490, 73 p. [In Turkish].

EYİDOĞAN,H., GÜÇLÜ, U. & DEĞİRMENCİ, E. 1991. Türkiye Büyük Depremleri Makrosismik Rehberi (1900-1988) [Macroseismic Guide for Tukish large earthquakes (1900-1988)]. ITU, Faculty of Mining, Department of Geophysical Engineering Publications, 198 p. [In Turkish].

EYIDOĞAN, H. & JACKSON, J. 1985. A seismological study of normal faulting in Demirci, Alaşehir and Gediz Earthquakes of 1969-70 in western Turkey: implication for the nature and geometry of deformation in the continental crust. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* **81**, 569 ─ 607.

GRABERT, H. 1971. 28 Mart 1970 tarihinda Batı Anadolu'da meydana gelen depremin nedenini teşkil eden iki önemli arıza elamanının kesişmesi [Crossing of two faults causing the March 28, 1970 Earthquake occurred in West Anatolia]. Mineral Research and Exploration Directorate (MTA) *Bulletin* **77**, 22 ─ 29

GÜNAY, E., AKDENİZ, N., ŞAROĞLU, F. & ÇAĞLAYAN, A., 1986. Muratdağı-Gediz dolaylarının jeolojisi [Geology of Murat mountain-Gediz area]. Mineral Research and Exploration Directorate (MTA) Report, no. 8046 [In Turkish].

GÜNDOĞDU, M.N. 1984. Bigadiç gölsel Neojen Baseninin Jeolojisi [Geology of Bigadiç lacustrine basin of Neogene age]. Hacettepe Üniv., Yerbilimleri 11, 91-104 [In Turkish with English abstaract].

GÜRSOY, H., PİPER, J. D. E., TATAR, O. & MESCİ, L., 1998. Palaeomagnetic study of the Karaman and Karapınar volcanic complexes, central Turkey: noetectonic rotation in the south-central sector of the Anatolian Block. *Tectonophysics* **299,** 191 ─ 211.

HAFELİ, CH. J. 1966. Hisaralan (Batı Anadolu) ılıcaları Bölgesinde yapılan jeolojik ve hidolojik etüdler [Geological and hydrological investigations in Hisaralan (West

Anatolia) thermal springs areas]. Mineral Research and Exploration Directorate (MTA) *Bulletin* **67**, 110 ─ 117.

HARVARD, 2002. Harvard University Seismological Center, USA. Internet site: http://www.seismology.harvard.edu.

IŞIK, V., SEYİTOĞLU, G. & ÇEMEN, İ. 2003. Ductile-brittle transition along the Alaşehir detachment fault and its structural relationship with the Simav detachment fault, Menderes massif, western Turkey. *Tectonophysics* **374**, 1 ─ 18.

KALAFAT, D., ÖZ, G. 2001. 15 Aralık 2000 Sultandağı-Bolvadin (Afyon) depremi [2000.12.15 Sultandağı-Bolvadin (Afyon) earthquake] Türkiye 14. Jeofizik Kurultayı ve sergisi, Genişletilmiş sunu özetleri kitabı, 26 ─ 31, MTA Kültür Merkezi, 8-11 Ekim 2001, Ankara [In Turkish].

KALAFAT, D., KARA, M., ÖZ, G., KEKOVALI, K., GÜNEŞ, Y., ÖZEL, N., ÖĞÜTÇÜ, Z., KILIÇ, K., PÜSKÜLCÜ, S., HORASAN, G., GÜNGÖR, A., YILMAZER, M., KÖSEOĞLU, A., GÖRGÜN, E., KILIÇER, F. B., GÜMÜŞ, H., ÖLMEZ, Y., ÇOMOĞLU, M., BERBEROĞLU, A., DENİZ, P., KAFADAR, N. & SUVARIKLI, M. 2002. 3 Şubat 2002 Sultandağı (Afyon) depremi raporu [2002.02.03 Sultandağı (Afyon) earthquake report] Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, 51s.

KAYA, T. 1993. First Record of Moropus Elatuıs (Chalicotheriidae-Perisssodacytyla) in Turkey (Seyitömer-Kütahya). *Doğa Türk Yerbilimleri Dergisi (Turkish Journal of Earth Sciences)* **2,** 189 ─ 194.

KELLER, J. 1974. Quaternary maar volcanism near Karapınar in Central Anatolia, *Bulletin of Volcanology* **38**, 378-396.

KELLER J. & VILLARI, L. 1972. Rhyolitic ignimbrites in the region of Afyon (Central Anatolia). *Bulletin of Volcanology* **36**, 342 ─ 358.

KOÇYİĞİT, A. 1976. Karaman ─ Ermenek (Konya) bölgesinde ofiyolitli melanj ve diğer oluşuklar [The ophiolitic melange and other formations in the Karaman ─ Ermenek (Konya) region]. *Bulletin of the Geological Society of Turkey* **19**, 103 ─ 116 [In Turkish with English abstract]

KOÇYİĞİT, A.1977. Karaman-Ermenek (Konya) arasındaki bölgenin tektoniği [Tectonics of the region between Karaman ─ Ermenek (Konya)]. *Bulletin of the Geological Society of Turkey* **20**, 1 ─ 8 [In Turkish with English abstract].

KOÇYİĞİT, A.1978. Sarıkaya ─ Üçbaş (Karaman) Yöresinin Jeolojisi [Geology of the Sarıkaya ─ Üçbaş (Karaman)]. *Bulletin of the Geological Society of Turkey* **21**, 77 ─ 86 [In Turkish with English abstract].

KOÇYİĞİT, A.1984. Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim [A new intracontinental tectonic regime in southwest Turkey and its close vicinity]. *Bulletin of the Geological Society of Türkey* **27**, 1 – 16 [In Turkish with English abstract].

KOÇYİĞİT, A. 2005. Denzili Graben-Horst System and the eastern limit of the West Anatolian continental extension: basin fill, structure, deformational mode, throw amount and episodic evolutionary history, SW Turkey. *Geodinamica Acta* **18**, 167 – 208.

KOÇYİĞİT, A., YUSUFOGLU H. & BOZKURT E. 1999. Evidence from the Gediz graben for episodic two-stage extension in western Turkey. *Journal of the Geological Society, London* **156**, 605 – 616.

KOÇYİĞİT A., ÜNAY, E. & SARAÇ, G. 2000. Episodic graben formation and extensional neotectonic regime in west Central Anatolia and the Isparta Angle: a key study in the Akşehir ─ Afyon graben, Turkey. Geological Society, Londo*n,* Special Publication **173**, 405 ─ 421.

KOÇYİGİT, A. & ÖZACAR, A. 2003. Extensional Neotectonic Regime through the NE Edge of the Outer Isparta Angle, SW Turkey: New field and seismic Data. *Turkish Journal of Earth Sciences* **12**, 67 – 90.

KOÇYİGİT, A. & DEVECİ, Ş. 2005. Akşehir-Simav fay sistemi: güneybatı Türkiye'de neotektonik rejimin başlama yaşı ve depremsellik [Akşehir-Simav fault system: initiation age of the neotectonic regime and seismicity in the southwestern Turkey. Deprem Sempozyumu Kocaeli 2005. Özler kitabı s.26 [In Turkish].

KOÇYİGİT, A. & DEVECİ, Ş. 2007. A N–S-trending active extensional structure, the Şuhut (Afyon) graben: Commencement age of the extensional neotectonic period in the Isparta Angle, SW Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences,* **16** (in press).

KOERİ. 2007. Records of earthquakes in period of 1900-2007 in Turkey. Kandilli Observatory Laboratuary and Earthquake Research Institude, Istanbul ─ Turkey

OLANCA, K. 1999. Karapınar–Konya Yöresi Kuvaterner Volkanizması: Jeokimyasal Yorum [Quaternary Volcanism of Karapınar ─ Konya Region: Geochemical Evoluation]. Hacettepe Univ. Yerbilimleri, 21, 115 ─ 124 [In Turkish with English abstract].

ÖĞDÜM, F., BİRCAN, A., KOZAN, A. T. & BOZBAY, E. 1989. Sultandağlarının tektonik jeomorfolojisi [Tectonic geomorphology of the Sultan mountains, SW Anatolia]. *Jeomorfoloji Dergisi* **17,** 21 ─ 34 [In Turkish with English abstract].

ÖĞDÜM, F., KOZAN, T., BİRCAN, A., BOZBAY, E. & TÜFEKÇİ, K. 1991. Sultandağları ile çevresindeki havzaların jeomorfolojisi ve genç tektoniği [Geomorphology and neotectonics of Sultandağları and adjacent basins] Mineral Research and Exploration Directorate (MTA) Report, no. 9123 [In Turkish].

ÖZDEN, S., KAVAK, K. Ş., KOÇBULUT, F., ÖVER, S. & TEMİZ, H. 2002. 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) depremleri [2002.02.03 Çay (Afyon) earthquakes]. *Geological Bulletin of Turkey* **45,** 49 ─ 56**.**

ÖZER, N., ALTINOK, Y., UTKUCU, M., YALÇINKAYA, E., ALPTEKİN, Ö., PINAR, A., KANLI, A. İ. & ŞAHİN, Ş. 2002a. 3 Şubat 2002 Afyon (Çay ─ Eber) depremi gözlem ve değerlendirmeleri [Observation and evaluations of 2002.02.03 Afyon (Çay ─ Eber) earthqauke]. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi *Yerbilimleri Dergisi* **15,** 11 ─ 24 [In Turkish with English abstract].

ÖZER, N., ALTINOK, Y., KOLÇAK, D. 2002b. İs Afyon (Çay-Eber) earthquake (February 2002) triggered by Sultandağı-Akşehir eathquake (December 2000), Turkey? Ninth International Symposium on Natural Hazard and Human-made Hazard, 2002, Antalya, Abstract book, s 79.

ÖZTÜRK, S. & BAYRAK, Y. 2002. 3 Şubat 2002 Afyon-Sultandağı Depremi ve Artçı Sarsıntılarının İstatiksel Olarak Değerlendirilmesi [Statistical evaluation of the 2002.02.03 Sultandağı-Çay (Afyon) earthquake and its after shocks] Aktif Tektonik Araştırma Grubu 6. Toplantısı (ATAG-6), Abstract, 42 ─ 46 [In Turkish].

SARAÇ, G., 2003. Türkiye omurgalı fosil yatakları [Mammalian fossils localities in Turkey]. Mineral Research and Exploration Directorate (MTA). Report no. 10609, 208 pp. [In Turkish, unpublished].

SEYİTOGLU, G., 1997. The Simav Graben: An Example of Young E-W Trending Structures in the Late Cenozoic Extensional System of Western Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences* **6**, 135 ─ 141.

SOYSAL, H., SİPAHİOĞLU S., KOLÇAK, D. & ALTINOK, Y. 1981. Türkiye ve çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu (M.Ö. 2100 ─ M.S. 1900) [Historical Earthquakes Catalog of Turkey and its environment. 2100 B.C. to 1900 A.D.]. TUBITAK Project no. TBAG – 314, 87 pp. [In Turkish, unpublished].

ŞAROĞLU, F., BORAY, A. & EMRE, Ö. 1987. Türkiye' nin aktif fayları [Active faults of Turkey] Mineral Research and Exploration Directorate (MTA) Report, no. 8643, 394 pp. [In Turkish].

ŞENER, M. & GEVREK, A.İ. 1986. Simav ─ Emet ─ Tavşanlı Yörelerinin Hidrotermal Alterasyon Zonları [Hydrothermal Alteration Zones of Simav ─ Emet ─ Tavşanlı Regions]. Geological Engineering 28, 43-49 [In Turkish with English abstract].

TAPIRDAMAZ, M. C., TARANCIOĞLU, A., ÖZALAYBEY, S., ERGİN, M., SELVİ, O., YÖRÜK, A., BİÇMEN, F. & AKTAR, M. 2002. Sultandağı (Afyon) depremi (03 Şubat 2002, Mw = 6.2) artçı deprem çalışması [After shocks study of 2002.02.03, Mw = 6.2 Sultandağı (Afyon) earthquake]. Aktif Tektonik Araştırma Grubu 6. Toplantısı (ATAG-6), Abstract, 34 ─ 41 [In Turkish]..

TAYMAZ, T. & TAN O. 2001. Source parameters of June 6, 2000 Orta-Çankırı (Mw = 6.0) and December 15, 2000 Sultandağ ─ Akşehir (Mw = 6.0) earthquakes obtained from inversion of teleseismic P- and SH body-waveforms. *Symposia on Seismotectonics of the Northwestern Anatolia ─ Aegean and Recent Turkish Earthquakes, İstanbul.* Extended Abstract, p. 96 ─ 107.

TAYMAZ, T., TAN O., ÖZALAYBEY, S. & KARABULUT, H. 2002. Source characteristics of February 3, 2001 Çay-Sultandağ Earthquake (Mw = 6.5) sequence in SW Turkey: a synthesis of seismological observations of body-waveforms, strong motions, and aftershock seismicity survey data. *1st International Symposium of Istanbul Technical University, the Faculty of Mines on Earth Sciences and Engineering, Istanbul-Turkey,* Abstracts, p.60.

TEZCAN, S. S., İPEK, M., AYDAN, Ö., AKGÜZEL, U. & ÖZBEK, M. 2002. Sultandağı (Afyon) depremi inceleme raporu [Investigation report of 2002 Sultandağı (Afyon) earthquake], Dünya İnşaat Dergisi, Mart 2002, 79 ─ 86.

TOKAY, M. & DOYURAN, V. 1979a. Gediz ve Dolayının Sismotektonik Özellikleri [Seismotectonic features of Gediz and its surroundings]. *Bulletin of the Geological Society of Turkey* **22**, 209 ─ 210. [In Turkish with English abastract].

TOKAY, M.& DOYURAN,V. 1979b. Eski Gediz kentinde Mikro-Bölgelendirme Çalışmaları [Microzone studies in the old Gediz town]. *Bulletin of the Geological Society of Turkey* **22**, 211 ─ 214 [In Turkish with English abastract].

TÜRKER, A. E., KEÇELİ, D. A., KAYA, M. A. & KAMACI, Z., 1991. Uşak ─ Banaz jeotermal alanının jeoelektrik yöntemlerle araştırılması [The exploration of Uşak ─ Banaz geothermal area by geoelectrical methods]. *Jeofizik* **5,** 59 ─ 74 [In Turkish with English abstract].

ULUSAY, R., KASAPOĞLU, E., DİRİK, K. & GÖKÇEOĞLU, C. 2002. 3 Şubat 2002 Sultandağı (Afyon) depremi ve saha inceleme raporu [2002.02.03 Sultandağı (Afyon) earthquake and field study report]. Hacettepe Üniv. Mühendislik Fak., Jeoloji Müh. Bölümü, Ankara, 44 s.

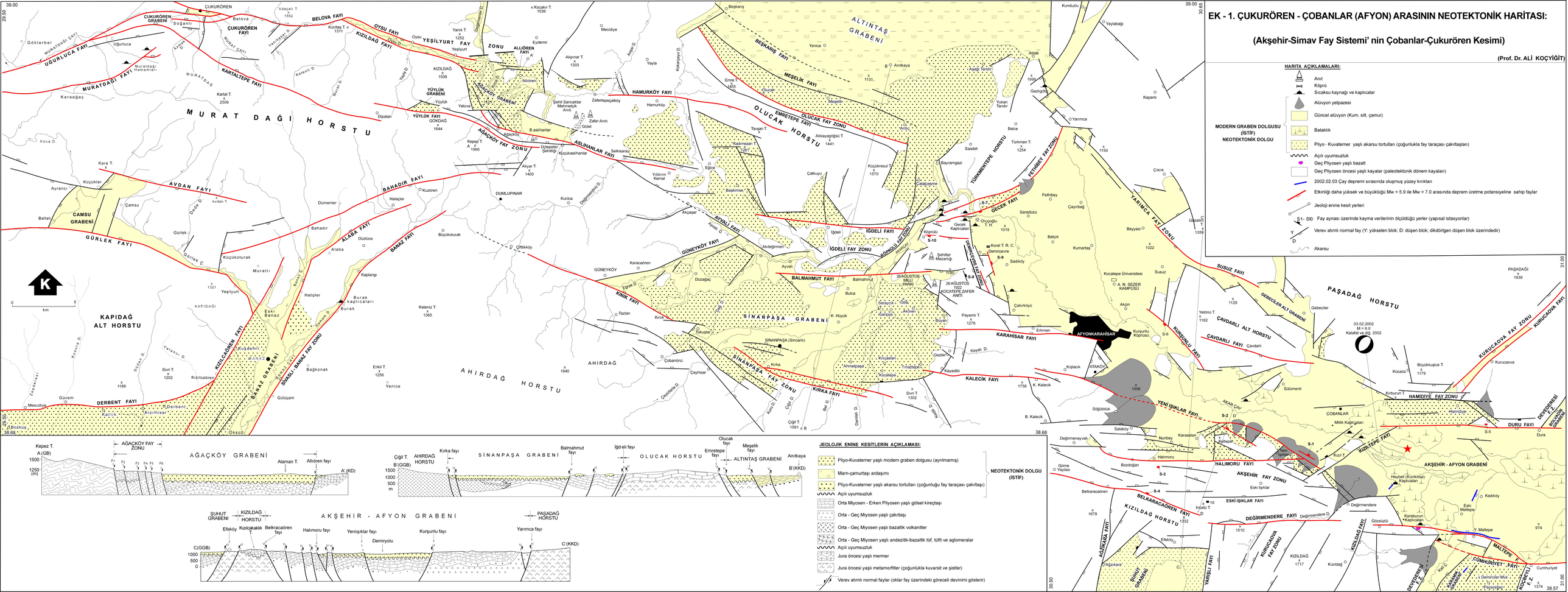
ULUSAY, R.,AYDAN, Ö., ERKEN, A., TUNCAY, E., KUMSAR, H. & KAYA, Z. 2004. An overview of geotechnical aspects of the Çay ─ Eber (Turkey) earthquake. *Engineering Geology* **73**, 51 ─ 70.

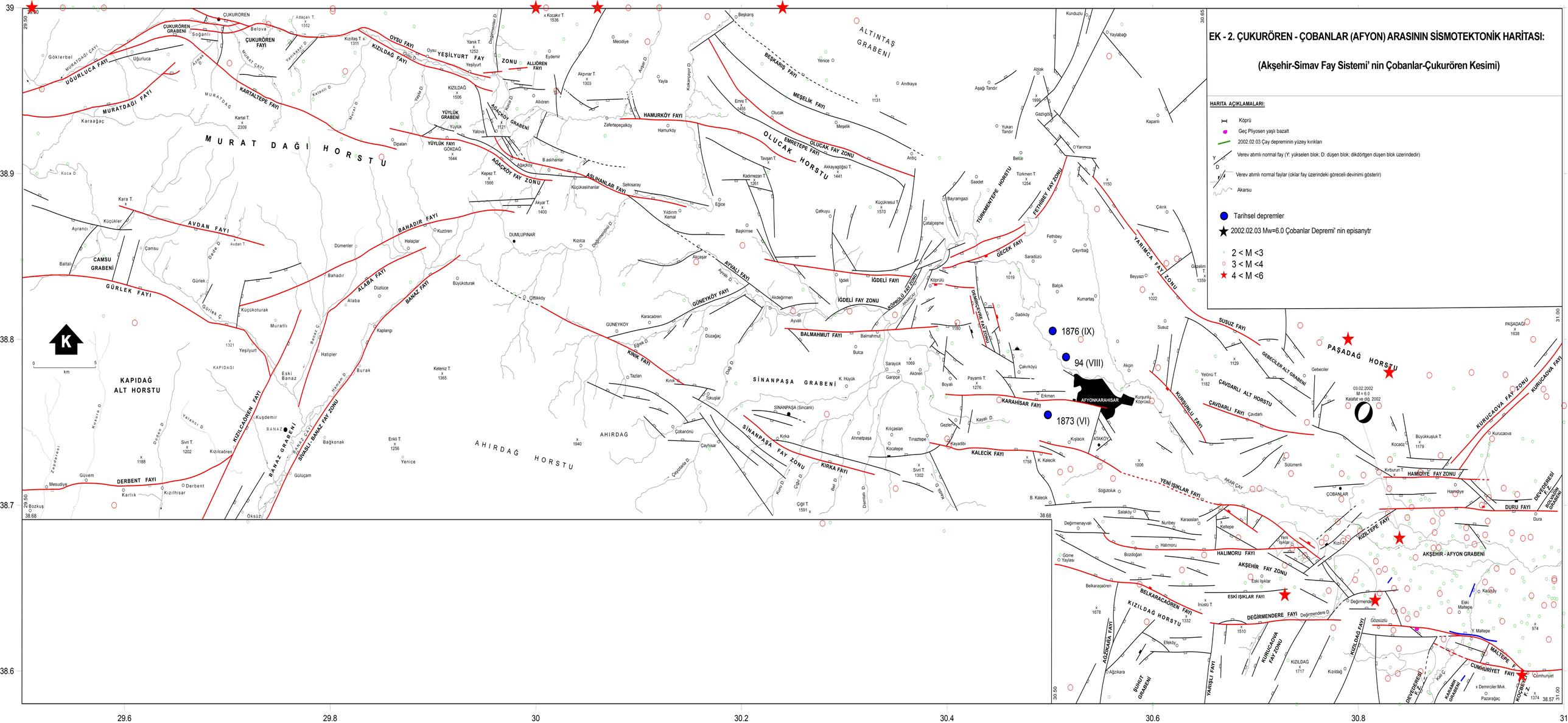
WELLS, D.L. & COPPERSMITH, S. R. 1994. New Empirical Relationships among magnitude Rupture length, Rupture width, Rupture Area and surface Displacement. *Bulletin of Seismological Society of America* **84**, 974 ─ 1002.

YALÇIN, H., SEMELİN, B. & GÜNDOĞDU, M.N. 1985. Emet Gölsel Neojen Baseninin Jeolojik İncelemesi (Hisarcık Güneyi) [Geological investigation of Emet lacustrine basin of Neogene age (south of Hisarcık)]. Hecettepe Üniv., *Yerbilimleri* **12**, 39 ─ 52 [In Turkish with English abastract].

YÜRÜR, T., KÖSE, O., DEMİRBAĞ, H., ÖZKAYMAK, Ç. & SELÇUK, L. 2003. Could the coseismic fractures of a lake ice reflect the earthquake mechanism? (Afyon earthquakes of 2 March 2002, Central Anatolia, Turkey). *Geodynamica Acta* **16,** 83 ─ 87.

ZESCHKE, G. 1954. Simav Grabeni ve Taşları [Simav graben and rocks]. *Bulletin of the Geological Society of Turkey* **V**, 181-189 [In German with Turkish abstract].


EK - 1. ÇUKURÖREN - ÇOBANLAR (AFYON) ARASININ NEOTEKTONİK HARİTASI:
(Akşehir-Simav Fay Sistemi' nin Çobanlar-Çukurören Kesimi)
(Prof. Dr. ALİ KOÇYİĞİT)
HARITA AÇIKLAMALARI:
Anıt
Köprü
Sıcaksu kaynağı ve kaplıcalar
MODERN GRABEN DOLGUSU (İSTİF) NEOTEKTONİK DOLGU
Alüvyon yelpazesi
Güncel alüvyon (Kum, silt, çamur)
Bataklık
Pliyo - Kuvaterner yaşlı akarsu tortulları (çoğunlukla fay taraçası çakıltaşları)
Açılı uyumsuzluk
Geç Pliyosen yaşlı bazalt
Geç Pliyosen öncesi yaşlı kayalar (paleotektonik dönem kayaları)
2002.02.03 Çay depremi sırasında oluşmuş yüzey kırıkları
Etkinliği daha yüksek ve büyüklüğü Mw = 5.9 ile Mw = 7.0 arasında deprem üretme potansiyeline sahip faylar
Jeoloji enine kesit yerleri
S1- S10 Fay aynası üzerinde kayma verilerinin ölçüldüğü yerler (yapısal istasyonlar)
Verev atımlı normal fay (Y: yükselen blok; D: düşen blok; dikdörtgen düşen blok üzerindedir)
Akarsu
MURAT DAĞI HORSTU
KAPIDAĞ ALT HORSTU
AHIRDAĞ HORSTU
ALTINTAŞ GRABENİ
OLUCAK HORSTU
SİNANPAŞA GRABENİ
PAŞADAĞ HORSTU
AFYONKARAHİSAR
AĞAÇKÖY GRABENİ
AKŞEHİR - AFYON GRABENİ
JEOLOJİK ENİNE KESİTLERİN AÇIKLAMASI:
Pliyo-Kuvaterner yaşlı modern graben dolgusu (ayrılmamış)
Marn-çamurtaşı ardaşımı
Pliyo-Kuvaterner yaşlı akarsu tortulları (çoğunluğu fay taraçası çakıltaşı)
Açılı uyumsuzluk
NEOTEKTONİK DOLGU (İSTİF)
Orta Miyosen - Erken Pliyosen yaşlı gölsel kireçtaşı
Orta - Geç Miyosen yaşlı çakıltaşı
Orta - Geç Miyosen yaşlı bazaltik volkanitler
Orta - Geç Miyosen yaşlı andezitik-bazaltik tüf, tüfit ve aglomeralar
Açılı uyumsuzluk
Jura öncesi yaşlı mermer
Jura öncesi yaşlı metamorfitler (çoğunlukla kuvarsit ve şistler)
Verev atımlı normal faylar (oklar fay üzerindeki göreceli devinimi gösterir)


EK - 2. ÇUKURÖREN - ÇOBANLAR (AFYON) ARASININ SİSMOTEKTONİK HARİTASI:
(Akşehir-Simav Fay Sistemi' nin Çobanlar-Çukurören Kesimi)
HARITA AÇIKLAMALARI:
Köprü
Geç Pliyosen yaşlı bazalt
2002.02.03 Çay depreminin yüzey kırıkları
Verev atımlı normal fay (Y: yükselen blok; D: düşen blok; dikdörtgen düşen blok üzerindedir)
Verev atımlı normal faylar (oklar fay üzerindeki göreceli devinimi gösterir)
Akarsu
Tarihsel depremler
2002.02.03 Mw=6.0 Çobanlar Depremi' nin episanytr
2 < M <3
3 < M <4
4 < M <6
MURAT DAĞI HORSTU
KAPIDAĞ ALT HORSTU
AHIRDAĞ HORSTU
OLUCAK HORSTU
ALTINTAŞ GRABENİ
SİNANPAŞA GRABENİ
CAMSU GRABENİ
BANAZ GRABENİ
AKŞEHİR - AFYON GRABENİ
PAŞADAĞ HORSTU
ÇAVDARLI ALT HORSTU
KIZILDAĞ HORSTU
BUHUT GRABENİ
ÇUKURÖREN FAYI
ÇUKURÖREN GRABENİ
UĞURLUCA FAYI
MURATDAĞI FAYI
KARTALTEPE FAYI
OYSU FAYI
KIZILDAĞ FAYI
YEŞİLYURT FAY ZONU
ALLİÖREN FAYI
HAMURKÖY FAYI
BEŞKARIŞ FAYI
MEŞELİK FAYI
OLUCAK FAY ZONU
EMRETEPE FAYI
AĞAÇKÖY GRABENİ
AĞAÇKÖY FAY ZONU
YÜYLÜK FAYI
YÜYLÜK GRABENİ
ASLIHANLAR FAYI
AVDAN FAYI
GÜRLEK FAYI
BAHADIR FAYI
ALABA FAYI
BANAZ FAYI
GÜNEYKÖY FAYI
KINIK FAYI
AYVALI FAYI
İĞDELİ FAYI
İĞDELİ FAY ZONU
KÖBERLİ FAY ZONU
BALMAHMUT FAYI
KARAHİSAR FAYI
KALECİK FAYI
SİNANPAŞA FAY ZONU
KIRKA FAYI
KIZILCAÖREN FAYI
SİVASLI - BANAZ FAY ZONU
DERBENT FAYI
TÜRKMENTEPE HORSTU
FETHİBEY FAY ZONU
GEÇEK FAYI
YARIMCA FAYI ZONU
SUSUZ FAYI
KUŞSUNLU FAYI
ÇAVDARLI FAYI
GEBECİLER ALT GRABENİ
KURUCAOVA FAY ZONU
HAMİDİYE FAY ZONU
DURU FAYI
KÜÇÜLTEPE FAYI
HALİMORU FAYI
AKŞEHİR FAY ZONU
ESKİ IŞIKLAR FAYI
DEĞİRMENDERE FAYI
BELKARACAÖREN FAYI
AĞZIKARA FAYI
YARIŞLI FAYI
KIZILDAĞ FAYI
MALİTEPE FAYI
CUMHURİYET FAYI
KÖÇBEĞİLİ FAYI
1876 (IX)
94 (VIII)
1873 (VI)
03.02.2002 M=6.0 Kalafat ve 06.02.2002
AFYONKARAHİSAR
ÇOBANLAR
ATAKÖY
ÇUKURÖREN
Belova
Soğanlı
Göklerbel
Uğurluca
Karaağaç
Kartal T. 2309
Kızıltaş T. 1311
Adaçalı T. 1552
Yanık T. 1252
Yeşilyurt
Kızıldağ 1506
Yüyük
Yalova
Gökdağ 1644
Dipalan
Kepez T. 1566
Ağaçköy
Kocakır T. 1536
Beşkanş
Mecidiye
Akpınar T. 1303
Eydemir
Yayla
Aldüren
Emre T. 1455
Oluçak
Meşelik
Zafertepecalköy
Hamurköy
Tavşan T.
Kadimezan T. 1261
Akkayagöğüsü T. 1441
Ardıç
Yenice
Antıkaya
Aşağı Tandır
Yukarı Tandır
Gazlıgöl
Kapanlı
Kunduzlu
Yaylabağı
Belce
Türkmen T. 1254
Saadet
Bayramgazi
Çatalçeşme
Çıknık
Yarımca
Fethibey
Çayırbağ
Sarıdüzü
Batçık
Kumtaş
Beyyazı
Güzelim T. 1359
Susuz
Akçın
Sadıköy
Çakırköy
Erkmen
Payamlı T. 1276
Boyalı
Garipçe
Akören
Saraycık 1069
K. Hüyük
Bulca
Balmahmut
Ayvalı
Akdeğirmen
Karacaören
Düzağaç
Çobanönü
Çaybaşı
Tokuşlar
Tazlan
Kınık
Eğrek
Güneyköy
Çiftlikköy
Kuzören
Halaçlar
Dumlupınar
Kızılca
Değirmenönü
Akçaşar
Selkisaray
Küçükaslıhanlar
B.aslıhanlar
Eğlence
Yıldırım Kemal
Başkimse
Çatkuyu
Küçükresul T. 1570
Köprülü
Ayvalı
Ayvalı
Kuzören
Büyükoturak
Küçükoturak
Muratlı
Yeşilyurt 1321
Kaplangı
Hatipler
Burak
Alaba
Düzlüce
Bahadır
Dümenler
Halaçlar
Kara T.
Küçükler
Ayrancı
Çamsu
Baltalı
Gürlek
Gürlek Ç.
Avdan T.
Keteniz T. 1365
Eski Banaz
Kuşdemir
Bağkonak
Erikli T. 1256
Yenice
Gülücam
Oksüzler
Karlık
Kızılhisar
Derbent
Güvem
Mesudiye
Bozkuş
Sivri T. 1202
Kızılcaören
Yalancı D.
Kuşura D.
Düzlen D.
Zeydanlı
Zeydanlı D.
Kocaören
Kocaören D.
Kuşdemir D.
Banaz D.
Banaz Ç.
Hatipler D.
Eğrek D.
Çaybaşı D.
Çobanönü D.
Çağıl D.
Kurudere D.
Kurudere
Çağıl T. 1591
Kırka
Kurudere D.
Bel D.
Düzmüllü D.
Kaşıklı D.
Kaşıklı
Kaşıklı T. 1374
Kayadibi
Kayalı D.
Gezler
Kılıçaslan
Tınaztepe
Ahmetpaşa
Sinanpaşa (Sincanlı)
Kalecik
K. Kalecik
B. Kalecik
Kışlacık
Sivri T. 1302
Sülümenli
Kırburun T.
Kocaöz
Büyükkuşluk T. 1179
Kurucaova
Hamidiye
Değirmenyaylı
Salaköy
Nuribey
Karaaslan
Kızıltepe
Halimoru
Bozdoğan
Göme Yaylası
Belkaracaören
Eski Işıklar
Değirmendere
Kızıldağ
Gözsüzlü
Eski Maltepe
Maltepe
Cumhuriyet
Demirciler Mvk.
Pazarağaç
Kavak Çay
Akar Çay
Yeni Işıklar
Söğütoluk
Yelönü T. 1182
Gebeciler
Çavdarlı
Çavdarlı
Kuşsunlu
Kurşunlu Köprüsü
Kurşunlu
Çavdarlı
Kurucaova
Kurucaova Fay Zonu
Hamidiye Fay Zonu
Devegeçidi F.Z.
Boğazlığın Boğazı
Duru Fayı
Halimoru Fayı
Akşehir Fay Zonu
Eski Işıklar Fayı
Değirmendere Fayı
Belkaracaören Fayı
Kızıldağ Horstu
Ağzıkara Fayı
Buhut Grabeni
Yarışlı Fayı
Kurucaova Fay Zonu
Kızıldağ
Kızıldağ Fayı
Maltepe F.
Cumhuriyet Fayı
Köçbeğili F.Z.
Devegeçidi F.Z.
Kavak Çay
Kavak Grabeni
Çukurören Fayı
Çukurören Grabeni
Uğurluca Fayı
Muratdağı Fayı
Kartaltepe Fayı
Oysu Fayı
Kızıldağ Fayı
Yeşilyurt Fay Zonu
Allıören Fayı
Hamurköy Fayı
Beşkarış Fayı
Meşelik Fayı
Oluçak Fay Zonu
Emretepe Fayı
Ağaçköy Graben
Ağaçköy Fay Zonu
Yüyük Fayı
Yüyük Graben
Aslıhanlar Fayı
Avdan Fayı
Gürlek Fayı
Bahadır Fayı
Alaba Fayı
Banaz Fayı
Güneyköy Fayı
Kınık Fayı
Ayvalı Fayı
İğdeli Fayı
İğdeli Fay Zonu
Köberlü Fay Zonu
Balmahmut Fayı
Karahisar Fayı
Kalecik Fayı
Sinanpaşa Fay Zonu
Kırka Fayı
Kızılcaören Fayı
Sivaslı - Banaz Fay Zonu
Derbent Fayı
Türkmentepe Horstu
Fethibey Fay Zonu
Geçek Fayı
Yarımca Fayı Zonu
Susuz Fayı
Kuşsunlu Fayı
Çavdarlı Fayı
Gebeciler Alt Grabeni
Kurucaova Fay Zonu
Hamidiye Fay Zonu
Duru Fayı
Küçültepe Fayı
Halimoru Fayı
Akşehir Fay Zonu
Eski Işıklar Fayı
Değirmendere Fayı
Belkaracaören Fayı
Kızıldağ Horstu
Ağzıkara Fayı
Buhut Grabeni
Yarışlı Fayı
Kurucaova Fay Zonu
Kızıldağ
Kızıldağ Fayı
Maltepe F.
Cumhuriyet Fayı
Köçbeğili F.Z.
Devegeçidi F.Z.
Kavak Grabeni
Çukurören Grabeni
Murat Dağı Horstu
Kapıdağ Alt Horstu
Ahırdağ Horstu
Altıntaş Grabeni
Sinanpaşa Grabeni
Camsu Grabeni
Banaz Grabeni
Akşehir - Afyon Grabeni
Paşadağ Horstu
Çavdarlı Alt Horstu
Kızıldağ Horstu
Buhut Grabeni
K
0
5
km
29.50
30.00
30.65
31.00
38.9
38.8
38.7
38.6
38.68
38.57
29.6
29.8
30
30.2
30.4
30.6
30.8
31