

TÜRKİYE ULUSAL JEODEZİ VE JEOFİZİK BİRLİĞİ (TUJJB)

TURKISH NATIONAL UNION OF GEODESY AND GEOPHYSICS (TNUGG)



**TUJJB Ulusal Deprem Programı** 

National Earthquake Program of TNUGG

## ANKARA ÇEVRESİNDEKİ AKTİF FAYLARIN JEOLOJİK VE JEOFİZİK YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ

## PROJE NO: TUJJB-UDP-01-10

GÜROL SEYİTOĞLU BERKAN ECEVİTOĞLU KORHAN ESAT BÜLENT KAYPAK BAHADIR AKTUĞ VEYSEL IŞIK GÜLSEV UYAR ALDAŞ

> KASIM 2013 ANKARA

## ÖNSÖZ

Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği (TUJJB)'nin desteği ile tamamlanan bu projede calışma grubumuzca 1996 yılından beri Ankara çevresinde çalışılan aktif fay zonlarında seçilen anahtar lokasyonlarda ayrıntılı jeolojik ve jeofizik çalışmalar gerçekleştirilmiş bu fayların varlığı ve türleri sismik yansıma hatları ile kanıtlanmıştır. Problemin boyutuna göre sığ (150-200m) ve derin (1000m) sismik yansıma kesitleri elde edilerek bunlar yorumlanmıştır. Bölgedeki sismik aktivite değerlendirilerek yeni odak mekanizması çözümleri elde edilmiştir. Ankara'yı çevreleyen ana yapıların (Kuzey Anadolu Fay Zonu, Eskişehir Fay Zonu, Kırıkkale-Erbaa Fay Zonu ve Tuzgölü Fay Zonu) arasında kalan bölgenin güncel deformasyon özellikleri ortaya konulmuştur. Bu bölgede dikkati çeken yapılar birbirlerine yaklaşık paralel uzanan doğu kenarları bindirme faylı, batı kenarları normal faylı Eldivan-Elmadağ ve Abdüsselam Kıstırılmış Tektonik Kamalarıdır. Beypazarı-Çayırhan monoklinali de açı farkı ile bu yapıların batısında bulunur. Saptanan bu yapılar dikkate alınarak GPS verileri kullanılarak yapılan blok modelleme calısmasında yukarıda sayılan tektonik hatlar üzerindeki kayma hızları belirlenmiştir. Bölgenin deprem tehlikesinin sağlıklı bir şekilde belirlenebilmesi için deprem üreten ya da üretme potansiyeli bulunan diri fayların tanımlanması ve aralarındaki ilişkilerin ortaya çıkarılması sağlanmıştır.

Aktif tektonik araştırmalarında bu tür çok disiplinli bir çalışma Türkiyede bildiğimiz kadarı ile ilk defa yapılmıştır. Projenin sonuçları uluslararası hakemli dergilerde yayın olarak çıkmaya başlamıştır. İlk olarak Bala depremlerine ilişkin yapılan makale baskı aşamasına gelmiştir. Ilıca Fayı hakkındaki çalışmamız yayına gönderilmiştir. Şu anda Abdüsselam Kıstırılmış Tektonik Kaması ve genel bölgesel değerlendirme makaleleri yayına hazırlanmaktadır.

Yapılan bu çalışma ile Ankara çevresindeki aktif fayların konumu belirlendiğinden ileride bölgede yapılması muhtemel paleosismoloji çalışmaları için temel oluşturma potansiyeli bulunmaktadır. Bu nedenle elde edilen sonuçların Türkiye diri fay haritası ile karşılaştırılması yapılarak tartışma bölümünde sunulmuştur.

# İÇİNDEKİLER

| ÖNSÖZ   | 1   |
|---|-----|
| TABLO VE ŞEKİL LİSTELERİ  | 3   |
| ÖZET  | 10  |
| ABSTRACT  | 10  |
| 1. GİRİŞ  | 11  |
| 1.1. Türkiye'nin neotektonik çerçevesi içinde KB İç Anadolu'nun konumu  | 11  |
| 2. BALA BÖLGESİ   | 14  |
| 2.1. Bala bölgesindeki aktif faylar   | 15  |
| 2.2. Bala civarının depremselliği   | 30  |
| 2.3. Bala bölgesinde kinematik analiz   | 36  |
| 2.4. Bala bölgesi için tartışma ve sonuçlar   | 37  |
| 3. ABDÜSSELAM KISTIRILMIŞ TEKTONİK KAMASI   | 40  |
| 4. ANKARA KUZEYİNDE MÜRTED VE ÇUBUK OVASI ARASINDA KALAN<br>KESİMİN DEPREMSELLİĞİ VE MELİKŞAH CİVARININ AKTİF TEKTONİĞİ | 70  |
| 5. ILICA FAY SETİ: JEOLOJİK GÖZLEMLER VE DEPREMSELLİK   | 82  |
| 5.1. Çalışma Yöntemi  | 82  |
| 5.2. Ilıca Fay Seti'nin alt bölümleri   | 84  |
| 5.3. Ilıca Fay Seti'nin depremselliği   | 104 |
| 5.4. Ilıca Fay Seti üzerinde sismik yansıma çalışmaları   | 108 |
| 6. AKARLAR FAYI VE ELDİVAN-ELMADAĞ KISTIRILMIŞ TEKTONİK KAMASI  | 113 |
| 7. TUTGA VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ  | 117 |
| 8. TARTIŞMA   | 125 |
| 9. SONUÇLAR   | 137 |
| 10. REFERANSLAR   | 138 |

## TABLO VE ŞEKİL LİSTELERİ

| Tablo 2.1: AnkNET projesi kapsamu      | nda üretilmiş odak mekanizması çözümlerinin              |     |
|--|--|-----|
| parametreleri. 1 no'lu çözüm K         | OCAEFE ve ATAMAN (1982)'dan alınmıştır.                  | 33  |
| Tablo 2.2: Fay kinematik verisi.       |  | 36  |
| Tablo 5.1: Boğaziçi Üniversitesi Kar   | ndilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nün     |     |
| 1900-2009 yılları arasında bölg        | gede meydana gelmiş büyüklüğü 3'ün üzerinde olan         |     |
| depremlere ait katalog verisi.         |  | 105 |
| Tablo 5.2: Odak mekanizması çözün      | nleri.   | 106 |
| Şekil 2.1: Ankara ve yakın çevresini   | etkileyen başlıca neotektonik yapılar (ESAT vd.,         |     |
| 2013). Kırmızı çerçeve Bala bö         | ölgesini göstermektedir. Mor noktalar 1900 yılından      |     |
| günümüze bölgedeki depremle            | ri göstermektedir. (NAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu,        |     |
| EAFZ: Doğu Anadolu Fay Zor             | u, KEFZ: Kırıkkale-Erbaa Fay Zonu, TFZ: Tuz Gölü         |     |
| Fay Zonu, EFZ: Eskişehir Fay           | Zonu, FBFZ: Fethiye Burdur Fay Zonu, EPCW:               |     |
| Eldivan-Elmadağ Kıstırılmış T          | ektonik Kaması).   | 14  |
| Şekil 2.2: İnceleme alanının arazi gö  | zlemleri, ASTER uydu görüntüsü, EROL (1954) ve           |     |
| AKÇAY vd. (2008)'nden yaran            | rlanılarak hazırlanmış jeoloji haritası. Beyaz daireler  |     |
| fay düzlemlerinin alt yarıküre e       | eşit alan stereografik izdüşümlerini gösterir (ESAT vd., |     |
| 2013).                                 |  | 16  |
| Şekil 2.3: Fay yüzeylerinin fotoğrafla | arı. Fotoğrafların konumları için Şekil 2.2'ye bakınız   |     |
| (ESAT vd., 2013).                      |  | 17  |
| Şekil 2.4: Karakeçili Neojen-Kuvater   | rner havzasının içyapısını gösteren jeolojik kesit       |     |
| (ESAT vd., 2013). Alt kırmızı          | sedimanter birimin yaşı Erken Miyosen (MN 4)             |     |
| (SARAÇ, 2003), üst kırmızı se          | dimanter birimin ise Geç Miyosen-Erken Pliyosen          |     |
| (MN 9-15)'dir (YALÇINLAR,              | 1983).   | 18  |
| Şekil 2.5: a) Kırmızı çizgiler Neojen  | -Kuvaterner birimler içerisinde Karakeçili Fayı'na ait   |     |
| güncel fay sarplıklarını gösteri       | r. Sarı hat Karakeçili Fayı üzerinde yapılan sismik      |     |
| yansıma kesitinin konumudur.           | b) Normal fay sarplıklarının düşen bloktan görünümü.     |     |
| Normal fay segmentlerinin yan          | al olarak atımlarının sıfırlandığına ve genel olarak en  |     |
| büyük atımın normal fayların c         | orta bölümüne karşılık geldiğine dikkat ediniz. Bu       |     |
| durum normal fayların morfote          | ektonik gelişimine uygundur. c) Güncel fay sarplığının   |     |
| görüntüsü ve yanal olarak atım         | ın azalması (ESAT vd., 2013).                            | 18  |
| Şekil 2.6: P-Gun solda doldurulmada    | ın önce ve sağda atışa hazır hali.                       | 19  |
| Şekil 2.7: P-Gun atışları için çukurla | rın hazırlanması.  | 20  |
| Şekil 2.8: P-Gun atış sırasında.       |  | 20  |
| Şekil 2.9: Geometrics marka 48 kana    | ll sismik sistem.  | 21  |
| Şekil 2.10: Sistem ayarları ve veri ak | tarimi Laptop PC ile kontrol edilmektedir.               | 21  |
| Şekil 2.11: Karakeçili Fayi üzerinde   | yer alan Çatalçeşme sısmık yansıma kesiti (ESAT vd.,     |     |
| 2013). a) Yorumsuz b) Yorum            | anmış c) Sısmık kesitin üst kesiminin detayı.            | 23  |
| Şekil 2.12: a) Inceleme alanının AST   | ER uydu görüntüsü. b) Sıyah çızgiler fayları, oklar ise  |     |
| derelerdeki yer değiştirme yön         | lerini göstermektedir. Turuncu kesikli çizgiler          |     |
| derelerdeki dönüşleri vurguları        | nak ıçın çızılmıştır c) Afşar mezarlık duvarının         |     |
| konumu ve yerleşim alanının k          | uzeyinde dere yatağındaki sistematik yerdeğiştirmeler    | 25  |
| ile Afet evlerinin konumu aras         | ındakı 111şkı (ESAT vd., 2013).                          | 25  |
| Şekil 2.13: Atşar kasabasının mezarl   | ık duvarında depremle meydana gelmiş kırıklar ve bu      | 0   |
| kırıkların konumlarının yorum          | lanmasıyla belirlenmiş ana tay konumu. Belirlenen ana    | 26  |

|             | fay konumu Şekil 7b'de gösterilen, Afşar'ın KB'sında derelerin ötelenmesine   |    |
|-------------|---|----|
|             | dayanılarak çizilen fay parçalarının konumlarıyla uyumludur (ESAT, 2011).   |    |
| Şekil       | 2.14: a) Afşar kasabasında deprem sırasında bir evin duvarında oluşan makaslama   |    |
| ,           | kırıkları b) Asfaltta görülen K25°B doğrultulu kırık.   | 27 |
| Sekil       | 2.15: Üc Ağıl sismik yansıma hattının sarı çizgi ile gösterilmis konumu.  | 28 |
| ,<br>Sekil  | 2.16: Afsar Favı üzerindeki Üc Ağıl sismik vansıma kesiti (ESAT vd., 2013).   | 29 |
| Sekil       | 2.17: Bölgede 16 Ocak 1918 ve 3 Kasım 2009 tarihleri arasında görülen deprem  |    |
| · · · · · · | etkinliği Kırmızı cerceve calışma alanını göstermektedir. Elipsler deprem   |    |
|             | kümelenmelerini gösterir. Deprem verisi Boğazici Üniversitesi Kandilli Rasathanesi  |    |
|             | ve Denrem Arastırma Enstitüsü kataloolarından alınmıştır  | 30 |
| Sekil       | 2 18. AnkNFT istasyonları   | 31 |
| Şekil       | 2.10. Zamana göre 2005 ana depreminden sonraki (a) ve 2007 ana depreminden  | 51 |
| ŞUKII       | sonraki (h) denrem savılarını gösteren sütun grafikler  | 32 |
| Sekil       | 2 20: a) 30 Temmuz 2005 ve 31 Ağustos 2005 tarihleri arasındaki denrem etkinliği  | 52 |
| ŞCKII       | Odak mekanizması cözümleri için Cizelge 1'e bakınız. Denrem dismerkezlerinin  |    |
|             | konumları Boğaziai Üniyarşitaşi Kandilli Başathanaşi ya Danram Araştırma  |    |
|             | Enstitüsü katalag varilari kullanılarak AnkNET projasi kanşamında vanidan   |    |
|             | balirlanmistir h) Danramlarin darinlik kasitlari. Kasit batlari isin Sakil 2.20a'ya   |    |
|             | balanır (CIVCIN vd. 2000 ESAT vd. 2012)   | 24 |
| Q_1-:1      | Dakiniz (Çivoin va., 2009, ESAI va., 2015).   | 34 |
| Şekli       | 2.21. a) 20 Aralık 2007 ve 10 Şubat 2008 tarimeri arasında Ankine i taralından  |    |
|             | kayueunniş ana deplem ve arçınarı. Odak mekanizmasi çozunnen için Çizerge i e   |    |
|             | CIVCIN and 2000, ESAT and 2012)   | 25 |
| o 1 '1      | (QIV GIN vd., 2009, ESAT vd., 2013).  | 35 |
| Şekil       | 2.22: a) Fay verilerinin kinematik analizi. Kinematik eksenlerin (Linked Bingnam)   |    |
|             | durumlari: 1) $4^{\circ}/261^{\circ}$ (genişleme ekseni), 2) $3^{\circ}/351^{\circ}$ , 3) $85^{\circ}/118^{\circ}$ (kisalma ekseni) |    |
|             | (dalim/ gidiş) b) Genişleme eksenlerinin kontur diyagrami c) Kısalma eksenlerinin   | 07 |
| 0.1.1       | kontur diyagrami.   | 31 |
| Şekil       | 2.23: a) Bala çevresi için önerilen modelin 3 boyutlu perspektif görüntüsü. Kırmızı   |    |
|             | yuvarlaklar deprem iç merkezlerini göstermektedir. Turuncu ve mavi düzlemler  |    |
|             | sırasıyla ARF ve KKF'nin yaklaşık konumunu temsil etmektedir. b) Modelin  |    |
|             | basitleştirilmiş haritası. KKF: Karakeçili Fayı, ARF: Afşar Fayı c) Doğrultu atimli   |    |
|             | fayların sonlanmasında normal faylanmaları gösteren model (KINGMA, 1958).   |    |
|             | (Şekil ESAT vd., 2013'den alınmıştır).  | 39 |
| Şekil       | 3.1: Abdüsselam yükselimi ve yakın çevresinin 3 boyutlu perspektif SRTM DEM   |    |
|             | görüntüsü. Beyaz çerçeve çalışma alanını göstermektedir. Yükseklik dört kat   |    |
|             | abartılmıştır.  | 40 |
| Şekil       | 3.2: Abdüsselam yükseliminin jeoloji haritası (ESAT, 2011).   | 41 |
| Şekil       | 3.3: Çalışma alanının görünür yakın kızılötesi (VNIR) bantlar kullanılarak  |    |
|             | hazırlanmış ASTER uydu görüntüsü. Kırmızı çizgiler birim sınırlarını  |    |
|             | göstermektedir.   | 43 |
| Şekil       | 3.4: Görüntü zenginleştirme tekniği olarak dekorelasyon germesi uygulanmış,   |    |
|             | görünür yakın kızılötesi (VNIR) bantlardan oluşan ASTER uydu görüntüsü. Siyah   |    |
|             | çizgiler birim sınırlarını göstermektedir.  | 44 |
| Şekil       | 3.5: Abdüsselam yükseliminin doğu kenarında temel ve sedimanter birim arasında  |    |
|             | gözlenen bindirme sınırı.   | 45 |
| Şekil       | 3.6: Tekkeköy yakınlarında temel ve sedimanter birim arasında gözlenen bindirme   | 46 |
|             |   |    |

sınırı.

| Şekil  | 3.7: Abdüsselam yükseliminin doğu kenarında gözlenen ters fay yüzeyi. Konum için<br>Şekil 3.2'deki 7 no'lu eşit alan alt yarı küre izdüşümüne bakınız.              | 46         |
|--------|---|------------|
| Şekil  | 3.8: Abdüsselam yükseliminin doğu kenarında temel ve sedimanter birim arasında  | 47         |
| Sabil  | gozlenen bindirme siniri.<br>3 0: Abdüsselam yükseliminin doğu kenarında temel üzerine uyumsuz olarak gelen   | 4/         |
| ŞCKII  | sedimanter birimler   | 47         |
| Şekil  | 3.10: Abdüsselam yükseliminin doğu kenarında temel üzerine uyumsuz olarak gelen   | • •        |
| ,      | Neojen sedimanter birimler.   | 48         |
| Şekil  | 3.11: Abdüsselam yükseliminin doğu kenarında, Neojen kireçtaşı biriminde gözlenen   |            |
| a 1 ·1 | antiklinal.   | 48         |
| Şekil  | 3.12: Abdüsselam yükseliminin doğu bölümünde temel ve sedimanter kayaçlar   | 40         |
| Sabil  | arasında gözlenen bindirme siniri ve sedimanter birimde gözlenen antiklinal.  | 49         |
| ŞCKII  | Neojen birimler araşındaki bindirme sınırı. Siyah keşikli çizgiler kıyrımları mayi  |            |
|        | cizgiler ise bindirme sınırlarını göstermektedir.   | 49         |
| Şekil  | 3.14: Abdüsselam yükseliminin batı kenarında temel kayaçlar ile sedimanter birimler   |            |
|        | arasındaki normal faylı sınır.  | 50         |
| Şekil  | 3.15: Abdüsselam yükseliminin batı kenarında gelişmiş normal fay yüzeyi. Ok tavan   |            |
|        | bloğun hareket yönünü gösterir. Konum için Şekil 3.2'deki 3 numaralı eşit alan alt  | <b>5</b> 1 |
| Sabil  | yankure izduşumune bakınız.<br>3 16: Abdüsselem yükseliminin batı kenerinde temel keyeçleriyle sedimenter birimler.   | 51         |
| ŞCKII  | arasındaki normal faylı sınır   | 51         |
| Sekil  | 3.17: Abdüsselam vükseliminin batı kenarında sedimanter birim icerisinde normal   | 51         |
| ,      | faya bağlı olarak oluşmuş çekme kıvrımı ve eşlenik kırıklar.  | 52         |
| Şekil  | 3.18: Abdüsselam yükseliminin batı kenarında sedimanter birim içerisinde normal   |            |
| ~      | faya bağlı olarak oluşmuş eşlenik kırıklar.   | 53         |
| Şekıl  | 3.19: Abdüsselam yükseliminin bati kenarında gözlenen doğrultu atımlı fay yüzeyi.   |            |
|        | Konum için Şekil 3.2 deki 4 ve 5 numaralı eşit alan alt yarıkure izduşumlerine  | 52         |
| Sekil  | 3 20: Sekil 3 19'da görülen doğrultu atımlı fay yüzevinin yakından görünümleri  | 55         |
| şenn   | Konum için Şekil 3.2'deki 4 numaralı esit alan alt yarıküre izdüşümüne bakınız.   | 54         |
| Şekil  | 3.21: Abdüsselam yükseliminden elde edilen jeolojik kesitler. Hatların konumları için   |            |
|        | Şekil 3.2'ye bakınız.   | 55         |
| Şekil  | 3.22: AKTK'nin güney bölümünde olasılıkla gömülü bindirmeyle ilişkili kıvrımlar   | 58         |
| Şekil  | 3.23: Mülk Köyü cıvarının uydu görüntüsü üzerine hazırlanan jeoloji haritası ve Mülk  | 50         |
| Sekil  | 3 24: Abdüsselam Vükseliminin doğu kenarında Miyosen – Pliyosen yaşlı sedimanter  | 39         |
| ŞUKII  | kavacların asimetrik antiklinal ile sonlanarak Kuvaterner birimlerle geçişi. Mülk   |            |
|        | Köyü civarı.  | 60         |
| Şekil  | 3.25: Kırmızı çizgiyle gösterilen Mülk sismik hattının ilk parçasının arazideki   |            |
|        | konumu. Kuzeybatıya bakış.  | 61         |
| Şekil  | 3.26: Mülk sismik hattının ilk parçasının güneye doğru devamı. Güneydoğuya bakış.   | 61         |
| Şekil  | 3.2/: Mülk sısmık hattının ıkıncı parçası. Kuzey batıya bakış.  | 62         |
| Şekil  | 3.20. iviuik sisinik natunin ikinci parçasına uzaktan bakiş. Arka planda asimetrik<br>antiklinal ile sonlanan Negien birimler, ön planda Mürted oyaşının Kuyaterner | 67         |
|        | antikinar ne sonianan reesjen on miner, on planda muree ovasinin kuvateriler  | 02         |

dolgusu.

| Şekil 3.29: Abdüsselam kıstırılmış tektonik kamasının batı kenarında yer alan Mülk sismik<br>yansıma kesit hattının yorumsuz hali. Hattın konumu için Şekil 3.23'e bakınız. | 63            |
|---|---------------|
| Şekil 3.30: Abdüsselam kistirilmiş tektonik kamasının batı kenarında yeralan Mülk sısmık  | $\mathcal{O}$ |
| yansıma kesil natinin yorumlanmış nalı.<br>Sekil 3.31: Abdüsselam kıştırılmış tektonik kamaşı'nın doğu kenarında tonoğrafik farklılık                                       | 03            |
| üzerinde ver alan Mülk ek-kenar sismik vansıma hattının konumu GD'va hakıs Ön   |               |
| planda B Ecevitoğlu dikce eğimli Neoien tabakalarının üzerindedir. Diğer grup   |               |
| elemanları ve arac Kuvaterner örtü üzerinde bulunmaktadır. Hattın konumu Sekil  |               |
| 3.24'de gösterilen fotoğraftaki asimetrik antiklinale dik durumdadır.   | 64            |
| Şekil 3.32: Abdüsselam kıstırılmış tektonik kaması doğu kenarında Mülk ek-kenar sığ   |               |
| sismik yansıma kesitinin yorumsuz hali.   | 65            |
| Şekil 3.33: Abdüsselam kıstırılmış tektonik kaması doğu kenarında "Mülk ek-kenar" sığ   |               |
| sismik yansıma kesitinin yorumlu hali. Hattın konumu için Şekil 3.23'e bakınız.   |               |
| Kesit hattinin orta kesiminin Neojen birimler ile Kuvaterner dolgu arasındaki   | <u> </u>      |
| topografik farkliliga karşilik geldiğine dikkat ediniz.   | 65            |
| yansıma keşiti Vorumsuz   | 66            |
| Sekil 3 35. Abdüsselam Kıştırılmış tektonik kamaşı doğuşunda yorumlanmış "Mülk ek-  | 00            |
| ova" sismik vansıma kesiti (kesitin uzunluğu 95m'dir). Kesit hattı konumu için Sekil  |               |
| 3.23'e bakınız.   | 66            |
| Şekil 3.36: Başayaş sismik yansıma hattının konumu ve arazi görünüşü.   | 67            |
| Şekil 3.37: Abdüsselam Kıstırılmış Tektonik Kaması batısında "Başayaş" sismik yansıma   |               |
| kesitinin a) yorumsuz b) yorumlanmış hali. Kesit hattı konumu için Şekil 3.36'ya  |               |
| bakınız.  | 68            |
| Şekil 3.38: a) Mürted ovasının Yenikent cıvarındaki Google Earth görüntüsü. Görüntünün  |               |
| KB kesiminde Abdusselam yukselimi yeraimaktadir. Yeşil renkli işaretler Mulk ek   |               |
| kesit Abdüsselam Kıştırılmış Tektonik Kamaşının doğu kenarına ait bindirmeler ile   |               |
| Mürted oyaşının taban topoğrafyaşının doğuya doğru eğimli olmaşı araşındaki   |               |
| tutarlılık ve Ova cayının aktif normal faya yakınlığına dikkat ediniz.  | 69            |
| Şekil 4.1: Etimesgut depremi 30.04.2010 (M:3.5) ve artçılarının dışmerkez dağılımı.   | 71            |
| Şekil 4.2: Etimesgut depremi 30.04.2010 (M:3.5) nin odak mekanizması çözümü.  | 71            |
| Şekil 4.3: 30.04.2010 Etimesgut depremi ana şok ve artçılarının dizilimi K43D   |               |
| doğrultusunu vermektedir (Üst şekilde küçük harita). Bu doğrultuya dik alınan X-  |               |
| X'kesitinde odak derinliği / fay düzlemi ilişkisi Melikşah bölgesinin incelenmesi   | 70            |
| gerektigini işaret etmektedir.<br>Salil 4.4: Cümüşyeyde Melikash araşının işaleji heritaşı. T. Naşion öneşsi tamal. N:  | 12            |
| Sekii 4.4. Guinuşyayıa-Melikşan arasının jeoloji nantası. T. Neojen öncesi temet, N.<br>Neojen yaşlı sedimanter birimler. O: Kuyaterner cökeller. Sarı renkli Meliksah-1 ve |               |
| Meliksah-2 hatları sismik çalışmaların konumlarını göstermektedir   | 73            |
| Sekil 4.5: Gümüsvayla kövü civarında KD'va bakıs. Sol tarafta metamorfik temel ve sağ   | 10            |
| tarafta düşük eğimli Neojen sedimanter birimler arasında normal fay görüntüsü.  |               |
| Fotoğraf konumu için Şekil 4.4'e bakınız.   | 74            |
| Şekil 4.6a: Melikşah-İkipınar yükseliminde Neojen kırmızı renkli konglomera ve çamurtaşı  |               |
| ardışımı.   | 75            |
| Şekil 4.6b: Neojen yaşlı istifte laminalı açık kahverenkli kumtaşları.  | 75            |

| Şekil   | 4.7a: Melikşah-İkipınar yükselimi batı kenarında normal fay sarplığı ve faydan uzağa eğimli Neoien birimlerin tabakaları Konum için Sekil 4 4'e bakınız | 76         |
|---------|---|------------|
| Sekil   | 4 7b. Meliksah-İkipınar yükseliminin batı kenarını oluşturan normal faya ait  |            |
| 3       | ondulasyonlar. Hareket yönünün fayın doğrultusuna dik olduğunu göstermektedir.  | 76         |
| Sekil   | 4.8. Meliksah-İkininar yükselimi doğu kenarında ters faylanma yüzeyi. Ondulasyon  |            |
| şenn    | hareketin doğrultuya dik geliştiğini ve ölcek işaretinin hemen üştünde bulunan  |            |
|         | narcaşının yarattığı sanlanma izi tayan bloğun yukarı hareket ettiğini göstermektedir   | 77         |
| Sekil   | 4 9. Meliksah-İkininar yükseliminin doğu kenarında kırmızı renkli konglomera-   | ,,         |
| Şenn    | camurtası ardısımının kışa meşafe içinde 45 dereceye kadar eğim kazanması   | 78         |
| Sekil   | 4 10: Gümüsvayla-Meliksah köyleri araşında enine jeolojik keşit. Konum için Sekil   | 70         |
| ŞCKII   | $A \Lambda^2$ e bakınız   | 78         |
| Sabil   | 1.1: Melikeeh 1 siemik vensume kesiti (vorumeuz ve vorumlu) Konum icin Sekil  | 70         |
| ŞCKII   | 4.11. Menkşan-1 sisinik yansına kesiti (yorumsuz ve yorumu). Konum için şekir   | 70         |
| Salvil  | 4.4 C Uakilliz.<br>4.12: Malikaah 2 sigmik yangina kasiti (yarumaya ya yarumlu) Kanum jain Sakil  | 19         |
| Şekii   | 4.12. Menkşan-2 sisinik yansına kesin (yorumsuz ve yorumu). Konum için şekir  | 00         |
| Calril  | 4.4 C Dakiniz.  | 80         |
| Şekii   | 4.15. Alikata kuzey dogusu, kuzeyi ve Kuzeyoalisinda aktii taylatiii ve kistiitiiniş  | 01         |
| Q -1-:1 | tektonik kamalarin konumunu gösleren birleştirilmiş enine kesit.  | 81         |
| Şekii   | 5.1. a) Ankara çevresindeki ana neotektonik yapılar b) Bolgenin jeoloji naritasi  | 02         |
| 0.1.1   | (MTA, 2002  den duzentenmiştir).  | 83         |
| Şekil   | 5.2: Inceleme alani. Ilica Fay Setini oluşturan faylar beyaz çerçeveyle gösterilmiş   |            |
|         | alanlarda incelenmiştir a) Yenimenmetli, b) llicaozu, c) Inler-Demirozu, d)   |            |
|         | Mangaldağı, e) Bumsuz, Kozanlı, Gözlek, ve Pazarozu. Jeolojik harita ile  | <b>0</b> 4 |
| a 1.1   | karşılaştırma için Şekil 5.1'e bakınız.   | 84         |
| Şekil   | 5.3: Yenimehmetli Fayina ait sağ yanal doğrultu atim gösteren yüzey.  | 85         |
| Şekil   | 5.4: Yenimehmetli Fayının bulunduğu alan. Yer için Şekil 5.2'ye bakınız.  | 86         |
| Şekıl   | 5.5: Yenimehmetli Fayının uydu görüntüsü. Konum için Şekil 5.4b'ye bakınız.   | 87         |
| Şekil   | 5.6: Yenimehmetli Fayında gözlenen kırıkların yorumlanmış hali. Konum için Şekil  |            |
|         | 4b'ye, fotoğraf için Şekil 3'e ve detay için metine bakınız.  | 88         |
| Şekil   | 5.7: Kireçtaşı üzerinde görülen kırıkları gösteren uydu görüntüsü. Konum için Şekil   |            |
|         | 5.4c'ye bakınız.  | 89         |
| Şekil   | 5.8: Kireçtaşı üzerinde görülen kırıkların yorumlanmış hali. Konum için Şekil   |            |
|         | 5.4c'ye, detay için metine bakınız.   | 90         |
| Şekil   | 5.9: a) Ilıcaözü Fayını gösteren uydu görüntüsü b) Aynı bölgenin topoğrafik verisi.   |            |
|         | Fay kırmızı çizgi ile gösterilmiştir. Konum için Şekil 5.2'ye bakınız.  | 91         |
| Şekil   | 5.10: Demirözü deresinde gözlenen 14 km'lik yerdeğiştirme.  | 92         |
| Şekil   | 5.11: İnler-Demirözü Fayına ait segmentler. Konum için Şekil 5.2'ye, sarı çerçeveli   |            |
|         | alanlar için Şekil 5.12'ye bakınız.   | 94         |
| Şekil   | 5.12: İnler-Demirözü Fayına ait segmentlerde görülen dere ötelenmeleri. Konum için  |            |
|         | Şekil 5.11'e bakınız. Kataklastik zonun konumu yıldız ile gösterilmiştir.   | 95         |
| Şekil   | 5.13: İnler-Demirözü Fay hattına ait bir segmentte gözlenen dikleşmiş tabakalar.  |            |
|         | Fayın konumu kırmızı çizgi ile gösterilmiştir.  | 96         |
| Şekil   | 5.14: İnler-Demirözü Fayında gözlenen yaklaşık 20 m genişliğindeki kataklastik zon.   | 97         |
| Şekil   | 5.15: Kataklastik zonda gözlenen makaslama kırıkları. Kalem, yaklaşık K10B gidişli  |            |
| -       | daralma ekseninin durumunu göstermektedir.  | 97         |
| Şekil   | 5.16: Mangaldağı Fayı. Konum için Şekil 5.2'ye bakınız.   | 99         |
| Şekil   | 5.17: Mangaldağı Fayının uydu görüntüsü. Yaklaşık 1.4 km'lik atım gözlenmektedir.   | 100        |
|         |   |            |

|                    | Konum için Şekil 5.16b'ye bakınız. I, II ve III derelerdeki atımların konumlarını  |     |
|--------------------|--|-----|
|                    | göstermektedir. Ayrıntı için Şekil 5.18'e bakınız.   |     |
| Şekil              | 5.18: Mangaldağı Fayı üzerindeki sağ yanal dere ötelenmelerinin detay görüntüsü  | 101 |
| Şekil              | 5.19: Mangaldağı Fayı çevresinde gözlenen kırıkların yorumlanmış hali. Konum için  |     |
|                    | Şekil 5.16b'ye, detay bilgi için metine bakınız.   | 102 |
| Şekil              | 5.20: Bumsuz, Kozanlı, Gözlek ve Pazarözü faylarının SRTM görüntüsü. Faylar  |     |
|                    | kırmızı çizgi ile gösterilmiştir. Konum için Şekil 5.2'ye bakınız.   | 103 |
| Şekil              | 5.21: Çalışma alanı ve yakın çevresinde 1900-2009 yılları arasındaki deprem etkinliği  |     |
|                    | (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü katalog  |     |
|                    | verisine göre). Odak mekanizması çözümleri için Tablo 5.2'ye bakınız.  | 104 |
| Şekil              | 5.22: a) 07.02.2004 (M4.1) ve b) 08.02.2004 (M4.5) depremlerinin proje kapsamında  |     |
| ,                  | üretilmiş odak mekanizması çözümleri.  | 107 |
| Şekil              | 5.23: İnler-Demirözü Fayı üzerinde sismik yansıma kesit hatlarının konumu. Seçilen   |     |
| ,                  | ver kataklastik zonun gözlendiği Demirözü ve Mollaresul köyleri arasında vadi icinde   |     |
|                    | ver almaktadır.  | 108 |
| Şekil              | 5.24: İnler-Demirözü Fayında balyoz kullanılarak yapılan sismik yansıma çalışması.   | 109 |
| ,<br>Sekil         | 5.25: Demirözü-1 sismik vansıma kesiti (Yorumsuz ve vorumlu). Hattın GB ucu  |     |
| ,                  | kataklastik zon üzerinden gecmektedir. Konum icin Sekil 5.23'e bakınız.  | 110 |
| Sekil              | 5.26: 48 Kanal / 25 Atısa ait 'Walk-Away' Arazi Düzeni ve CDP Cizelgesi (Derenin   |     |
| · <b>j</b> -       | altını görüntülemek için özel serim)   | 111 |
| Sekil              | 5.27: Demirözü-2 sismik vansıma kesiti. Konum için Sekil 5.23'e bakınız.   | 112 |
| ,<br>Sekil         | 6.1: Eldivan-Elmadağ Kıştırılmış Tektonik Kamaşının (EPCW), Kuzev Anadolu Fav  |     |
| · <b>j</b> -       | Zonu (NAFZ) ile Kırıkkale-Erbaa Fay Zonu (KEFZ) arasındaki konumu  |     |
|                    | (SEYITOĞLU vd., 2009'dan alınmıştır).  | 113 |
| Sekil              | 6 2. Akarlar cevresinin jeoloji haritası (SEYITOĞLU vd 2009'dan alınmıştır)  |     |
| <i>ş</i> • · · · · | Akarlar sismik vansıma keşit hattının konumu kırmızı cizgi ile gösterilmiştir.   | 114 |
| Sekil              | 6 3. Sismik hattın gectiği alanda fayın iki tarafındaki konglomeratik birimlerde   |     |
| <i>ş</i> • · · · · | gözlenen renk değişimi   | 115 |
| Sekil              | 6 4. Akarlar sismik vansıma keşitinin a) vorumsuz b) vorumlanmış hali Keşit hattı  | 110 |
| şenn               | konumu icin Sekil 6 2've bakınız   | 116 |
| Sekil              | 7 1. Taralı renkli alan KAFZ KEFZ ve EFZ arasında bulunan KB Orta Anadolu  | 110 |
| çenn               | Sikisma Bölgesi'ni gösterir Kırmızı cizgiler aktif favları mayi cizgiler kıvrım  |     |
|                    | eksenlerini gösterir. Bu alan icerisinde odak mekanizması cözümü olan depremlerin  |     |
|                    | konumları şarı karelerle gösterilmiş ve numaralandırılmıştır. Odak mekanizmaşı   |     |
|                    | cözümlerindeki siyah oklar daralma (P) ekseninin beyaz oklar genisleme (T)   |     |
|                    | ekseninin vatav izdüsümlerini gösterir   | 117 |
| Sekil              | 7.22: TUTGA verilerinden elde edilmis ana vamulma eksenleri. Ücgenlerin  | 11/ |
| ŞUKII              | maksimum vanulma eksen değerlerine göre (EPS1) %95 güven aralığında olan   |     |
|                    | ücgenler turuncu %00 olanlar vesille gösterilmistir  | 110 |
| Sabil              | 7 2b: TUTGA verilerinden elde edilmis and vamulma eksenleri. Ücgenlerin minimum  | 117 |
| ŞCKII              | vamulma eksen değerlerine göre (EDS2) %05 güven aralığında olan ücgenler   |     |
|                    | turungu %00 olonlor vasilla göstarilmistir   | 120 |
| انراح              | 7.2 TUTGA verilerinden elde edilmis ana vamulma aksanlari. Üaganlarin har  | 120 |
| ŞƏKII              | ikisinin da an az %05 güvan aralığında almasına göra %05 güvan aralığında alar   |     |
|                    | ücgenler turungu %00 olanlar vegille gösterilmistir  | 101 |
| Saleit             | uygonioi turunou, 7077 olallar yeşine gösterilliliştil.<br>7.3: TUTGA varilarindan vararlanılarak haşanlanmış hlak madal şınırlarındalı. | 121 |
| ŞCKII              | 7.5. TO TOA verneringen yaramanarak nesapianiniş biok model sinmamüdaki  |     |

|         | kayma hız değerleri. Yeşil değerler %99, turuncu değerler %95 güven aralığında.       |     |
|---------|---|-----|
|         | Siyah olanlar ise istatistiksel olarak anlamsız değerler.                             | 123 |
| Şekil   | 7.4: TUTGA verilerinden yararlanılarak hesaplanmış GPS hız vektörleri.                | 124 |
| Şekil   | 8.1a: Bala bölgesinin diri fay haritası (EMRE vd., 2011a).                            | 126 |
| Şekil   | 8.1b: Bala civarında haritalanan aktif fayların karşılaştırılması. Konum ve fay türü  |     |
|         | farklılıklarına dikkat ediniz. Kırmızı, siyah ve mor hatlar EMRE vd. (2011a) ya, mavi |     |
|         | hatlar için bu proje Bölüm 2 ve ESAT vd. (2014)'e bakınız.                            | 127 |
| Şekil   | 8.1c: Bala civarında haritalanan fayların karşılaştırılması. Konum ve fay türü        |     |
|         | farklılıklarına dikkat ediniz. Siyah hatlar KOÇYİĞİT (2009) ve TAN vd. (2010)'a       |     |
|         | aittir. Mavi hatlar için bu proje Bölüm 2 ve ESAT vd. (2014)'e bakınız.               | 128 |
| Şekil   | 8.2a: Mürted ovası ve Ankara kuzeyinde 1900-2013 tarihleri arasındaki sismik          |     |
|         | aktivite (Kandilli Deprem Araştırma Enstitüsü verisi). MTA diri fay haritasında bu    |     |
|         | alandaki depremselliği açıklayan herhangi bir aktif fay tanımlanmamıştır (EMRE vd.,   |     |
|         | 2011b; EMRE vd., 2011c).  | 129 |
| Şekil   | 8.2b: Abdüsselam Kıstırılmış Tektonik Kaması ve Melikşah-Ikipınar Yükselimini         |     |
|         | sınırlayan aktif faylar (ayrıntılı bilgi için Bölüm 3 ve 4'e bakınız).                | 130 |
| Şekil   | 8.2c: Abdüsselem Kıstırılmış Tektonik Kamasının GB uzanımı. (ESAT 2011)'den           |     |
|         | alınmıştır.   | 131 |
| Şekil   | 8.3a: MTA diri fay haritası Ankara ve İlgin paftalarının bir bölümü (EMRE vd.,        |     |
| ~       | 2011c; EMRE vd., 2011d). Bölgenin depremselliği için Bölüm 5'e bakınız.               | 132 |
| Şekıl   | 8.3b: Proje kapsamında çalışılan Ilica Fay Seti'nin (mavi hatlar) MTA dırı fay        |     |
| a 1 · 1 | haritasi ile karşılaştırılmasi (İlica Fay Seti ayrıntısı için Bölüm 5'e bakınız).     | 133 |
| Şekıl   | 8.4a: MTA dırı fay haritasına ait Çankırı, Ankara ve Kırşehir paftaları (EMRE vd.,    |     |
|         | 2011a;c,e) ve 1900-2013 tarihleri arasındaki sısmik aktivite (veri Kandilli           |     |
|         | deprem Araştırma Enstitüsü). Odak mekanızması çözüm detayları için                    | 105 |
| 0.1.1   | SEYITOGLU vd., (2009)'a bakınız.  | 135 |
| Şekil   | 8.4b: Akarlar Fayl ve Eldivan-Elmadağ Kıstırılmış Tektonik Kamasının konumu.          |     |
|         | Mor hatlar EMIRE vd., (2011a,c,e)'ye kirmizi hatlar SEY11OGLU vd., (2009)'a           | 100 |
|         | aittir.   | 136 |

## ÖZET

Kuzeybati Orta Anadolu'da Ankara'yı çevreleyen ana tektonik yapıların (Kuzey Anadolu Fay Zonu, Eskişehir Fay Zonu, Eldivan-Elmadağ Tektonik Kaması, Kırıkkale-Erbaa Fay Zonu ve Tuzgölü Fay Zonu) Ankara çevresinde bölgeyi nasıl etkiledikleri ve birbirleri ile olan ilişkileri önemli bir jeolojik problemdir. Ön çalışmalardan ve uydu görüntülerinden yararlanarak, tamamlanan bu proje çerçevesinde bölgede belirlenen anahtar lokasyonlarda detaylı arazi gözlemleri yapılarak yapısal veriler derlenmiş, örtülü alanlarda sismik yansıma çalışması yapılarak deprem üreten ya da üretme potansiyeli bulunan faylar belirlenmiş ve haritalanmıştır. Buna göre ana tektonik yapılar dışında Ankara'nın batısında yer alan Abdüsselam Kıstırılmış Tektonik Kaması, Bala depremleriyle ilişkili Afşar ve Karakeçili Fayları, Melikşah (Çubuk) bölgesi fayları, Ilıca Fayı (Haymana) ve Akarlar fayı üzerinde çalışılmıştır. GPS (TUTGA) verileri kullanılarak bölgede gerçekleştirilen yamulma analizi günümüzde Ankara ve yakın çevresinin KB-GD doğrultulu bir sıkışma etkisinde olduğunu göstermektedir. Jeolojik ve jeofizik yöntemlerin birlikte kullanıldığı bu projede Ankara çevresindeki aktif faylar anahtar alanlarda ayrıntıları ile tanımlanarak Ankara'nın deprem tehlikesinin daha net belirlenmesine yönelik veri tabanına katkı yapılmıştır.

### ABSTRACT

Interaction of the main tectonic elements (North Anatolian Fault Zone, Eskişehir Fault Zone, Eldivan-Elmadağ Pinched Crustal Wedge, Kırıkkale-Erbaa Fault Zone and Tuzgölü Fault Zone) in the NW central Anatolia and their effects in the Ankara region are important geological problems. In order to solve these problems, data obtained from the preliminary studies, satellite images and structural analysis of the fault surfaces together with seismic reflection data were used to determine and mapping the active faults in the region. Besides the main tectonic structures in the area, Abdüsselam Pinched Crustal Wedge in the west of Ankara, Afşar and Karakeçili Faults related to the Bala earthquakes, the faults in the Melikşah (Çubuk) region, Ilica Fault (Haymana) and Akarlar Fault were studied. The results of the strain analysis obtained from the GPS (TUTGA) data show that Ankara and its surrounding region is under the influence of a NW-SE compressional tectonic regime. In this multidisciplinary project, the active faults around Ankara have been determined in key areas and consequently a contribution to data base of the seismic hazard evaluation of Ankara has been provided.

Anahtar Kelimeler: Neotektonik, depremsellik, Ankara, sismik yansıma, aktif fay

Keywords: Neotectonics, seismicity, Ankara, seismic reflection, active faults

## 1. GİRİŞ

## 1.1. Türkiye'nin neotektonik çerçevesi içinde KB İç Anadolu'nun konumu

Doğu Akdenizde levha sınırlarına dayanarak bölgenin tektonik çerçevesi MCKENZIE (1972) tarafından ortaya konulduktan sonra Türkiye'nin neotektonik alanları belirlenmiş ve Doğu Anadolu sıkışma bölgesi, Orta Anadolu Ova Bölgesi ve Batı Anadolu Genişleme Bölgesi olarak isimlendirilmiştir (ŞENGÖR, 1980; ŞENGÖR vd., 1985).

Türkiye'de neotektonik dönemi başlatan olay GD Anadolu'da Avrasya ile Arap Levhasının Bitlis Kenedi boyunca çarpışması (DEWEY vd., 1986) olarak kabul edilmekte olup, bunu izleyen evrede Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) oluşarak Anadolu levhasının batıya hareket ettiği ve bu hareketin Yunan Makaslama zonu tarafından engellenmesi ile Ege'de (Yunanistan anakarası, Ege Denizi ve Batı Anadolu) K-G yönlü genişleme rejiminin Geç Miyosen'de başladığı öne sürülmüştür (ŞENGÖR, 1980, ŞENGÖR vd., 1985). Tektonik kaçma modeli olarak geniş kabul gören ve meydana gelen tektonik olayların (GD Anadolu'daki çarpışma KAFZ ve DAFZ oluşumu, Ege'deki genişleme tektoniğinin başlaması) zamanlamasına dikkat çekilen bu modelde neden-sonuç ilişkisinin varlığı önemlidir.

Ege'deki K-G genişlemeli tektoniğin başlangıç yaşının En Geç Oligosen-Erken Miyosen olarak saptanması kaçma tektoniği modelinde bu neden-sonuç ilişkisinin kurulamayacağını göstermiştir (SEYİTOĞLU ve SCOTT, 1991; 1996).

Batı Anadolu Genişleme Bölgesi ile Orta Anadolu Ova Bölgesi arasındaki geçişin nasıl değerlendirildiği de tartışılan diğer konulardan birisidir. ŞENGÖR vd. (1985) iki bölge arasındaki geçiş zonunu Antalya batısında K-G bir hat olarak tanımlarken, BARKA ve REILINGER (1997) iki bölge arasındaki ayrımı, açık ucu batıya doğru yan yatmış V şeklinde Eskişehir Fay Zonu (EFZ) ve Fethiye-Burdur Fay Zonu (FBFZ) ile oluşturmaktadır. Bu makalede Batı Anadolu K-G yönde genişlerken Orta Anadolu'nun K-G sıkışma altında olduğu düşünülmektedir.

Daha önceki araştırmacıların (ŞENGÖR vd., 1985) Batı ve Orta Anadolu arasında bir geçiş zonu önermelerinin nedeni, BORAY ve ŞAROĞLU (1985) tarafından Afyon-Akşehir Grabeni'nin batı kenarında tanımlanan Sultandağ Ters Fayı'dır. Sultandağ Ters Fayı ile birlikte Tuzgölü Fayı'nın ters bileşeni (ŞAROĞLU vd., 1987) araştırmacılara Orta Anadolu'nun sıkışmakta olduğu yönünde bilgi sağlamıştır (ŞENGÖR vd., 1985; BARKA ve REILINGER, 1997).

15.12.2000 Sultandağ (TAYMAZ ve TAN, 2001; ÖZER vd., 2007) ve 03.02.2002 Çay (BAŞOKUR vd., 2002; EMRE vd., 2003; YÜRÜR vd., 2003; ULUSAY vd., 2004; AKYÜZ vd., 2006) depremlerine ait odak mekanizması çözümlerinin normal faylanma vermesi Afyon-Akşehir grabenini sınırlayan fayın bir ters fay olduğu görüşünü (BORAY vd., 1985) geçersiz kılmaktadır.

Bu yeni veri, geçiş zonundan bahsetmeyen (KOÇYİĞİT, 1984) ve Batı Anadolu genişlemeli yapılarının doğuya doğru Orta Anadolu'da Akşehir ve Tuzgölü Faylarında olduğu gibi devam ettiğini öngören (KOÇYİĞİT, 1984; Şek. 4) araştırmacıların neotektonik bölgeler hakkındaki algılarını pekiştirerek KOÇYİĞİT ve ÖZACAR (2003)'ın Batı Anadolu genişleme bölgesinin sınırlarını Eskişehir Fay Zonu ve Tuzgölü Fayı'na kadar doğuya ilerletmesine neden olmuştur.

Orta – Güney İç Anadolu'da Neotektonik bölgeler hakkında değerlendirmeler böyle iken, KB İç Anadolu'daki yayınlar izlendiğinde farklı bir değerlendirmenin olduğu ortaya çıkmaktadır.

Klasik "Orta Anadolu Ova Bölgesi" tanımını (ŞENGÖR, 1980; ŞENGÖR vd., 1985) izleyen GÖRÜR vd. (1998) Orta Anadolu'da neotektonik dönemin Orta – Geç Miyosen'de kraton içi havza gelişimi ile başladığını savunmaktadır. Buna karşılık KOÇYİĞİT vd. (1995), Neotetis Okyanusunun kapanmasından sonra devam eden kıtalararası yakınlaşmanın Geç Pliyosen'e kadar devam ettiğini öne sürerek, bunu "Ankara Orojenik Fazı" olarak isimlendirmiş ve Neotektonik dönemin Geç Pliyosen'den sonra gelişen normal faylar ile temsil edildiğini belirtmiştir. Bu değerlendirmeye ait gözlemlerin yapıldığı alan Neotetis'in kuzey kolunun kalıntısı olarak değerlendirilen İzmir-Ankara Kenet zonunun yüzeylediği Ankara çevresidir.

Batı Anadolu'da sıkışmalı tektonik rejimin genişlemeli tektoniğe dönüşü En Geç Oligosen-Erken Miyosen olarak tarihlenmesine rağmen (SEYİTOĞLU ve SCOTT, 1991; 1996), bunun KB İç Anadolu'da Geç Pliyosen'e kadar devam ettiğinin öne sürülmesi (KOÇYİĞİT, 1991; 1992; KOÇYİĞİT vd., 1995) bilimsel olarak ilginç bulunmuş ve konu üzerinde ayrıntılı arazi çalışmaları yapılmıştır. Ankara yakın çevresinde Yuvaköy, Yakacık ve Edige civarında yapılan çalışmalarda Neojen birimler üzerine bindiren ofiyolitik birimler görülememiş olup, bölgedeki volkanizmanın jeokimyasındaki değişikliklerden yararlanılarak tektonik rejim değişikliğinin Erken Miyosen'i izleyen dönemde gerçekleşebileceği öne sürülmüştür (SEYİTOĞLU vd., 1997). Özellikle Yuvaköy kuzeyinde Ofiyolitik birimlerle Neojen sedimanlar arasındaki ilişki hakkındaki tartışmalar devam etmiş (ÖZSAYIN vd., 2005) ve jeofizik veriler yardımıyla bu ilişkinin normal faylı olduğu ortaya konmuştur (SEYİTOĞLU vd., 2006).

KB Anadolu'da paleotektonik dönemin Geç Pliyosen'e kadar devam etmesi görüşüne dayanak oluşturan gözlemler Çankırı havzası batısında yapılmıştır (KOÇYİĞİT vd., 1995). Bu çalışmada Neotetis okyanusunun kenet zonu (İzmir-Ankara kenet zonu)'na ait ofiyolitik birimler çift taraflı bindirmeler şeklinde haritalanmış, bindirilen birimlerin yaş verilerinden faydalanılarak kıtalararası yakınlaşmanın Geç Pliyosen'e kadar devam ettiği öne sürülmüştür.

Bu alanda yapılan başka bir çalışmada kıtalararası yakınlaşmanın son ürünü Erken Miyosen döneminde çökelen Kılçak Formasyonu olarak verilmiş, bunu izleyen dönemde ise farklı havzaları birbirinden ayıran normal fayların daha sonra yanal sıkıştırma nedeniyle çift taraflı bindirme faylarına dönüştüğü belirtilmiştir (KAYMAKÇI, 2000; KAYMAKÇI vd., 2001). Aynı bölgede yapılan iki çalışmadan birinde paleotektonik dönemin Geç Pliyosen'e kadar sürdüğü belirtilirken (KOÇYİĞİT vd., 1995) diğerinde ise Erken Miyosen sonrasında sona erdiği bildirilmektedir (KAYMAKÇI, 2000; KAYMAKÇI vd., 2001).

Bölgede araştırma grubumuz tarafından bu proje öncesinde yapılan çalışmalarda öncelikle 23 mikromemeli fosil lokalitesi ile Neojen yaşlı birimlerin stratigrafisi oluşturulmuştur (SEYİTOĞLU vd., 2009). Tektonik hareketlerin zamanlaması da bu stratigrafiden elde edilen yaş verilerine göre belirlenmiştir. Erken – Orta Miyosen döneminde çökeldiği belirlenen Kumartaş ve Hançili formasyonları içinde gözlenen çökelme ile eş yaşlı normal faylar (SAVAŞÇI ve SEYİTOĞLU, 2004) bölgede paleotektonik dönemin Erken Miyosen'den önce sona ermiş olduğunu göstermektedir. Çankırı Neojen havzasının batı kesimi ise batı kenarı normal faylı, doğu kenarı bindirmeler ile sınırlı Elmadağ-Eldivan Tektonik Kaması tarafından parçalanmıştır (SEYİTOĞLU vd., 2000; 2009). Bu kamanın yerleşim yaşı, bu yerleşimle eş yaşlı olduğu

belirlenen Değim Formasyonunun yaşına bağlı olarak Geç Pliyosen - Pleistosen olarak saptanmıştır. Eldivan-Elmadağ Tektonik Kaması neotektonik bir yapı olup, Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Kırıkkale-Erbaa Fay Zonu arasındaki KB-GD sıkışma nedeniyle meydana geldiği düşünülmektedir. Bu görüşü destekleyen en önemli veri, kamanın Kırıkkale-Erbaa Fay Zonunun güneyinde devam etmiyor olmasıdır. Ankara çevresine yerleştirilen sismometre ağı (AnkNET) ile elde edilen veriler Eldivan-Elmadağ Kıstırılmış Tektonik Kamasının aktif olduğunu, bindirme ve normal faylara bağlı küçük depremler ürettiğini göstermiştir (SEYİTOĞLU vd., 2009).

Bu proje kapsamında önce Bala civarında meydana gelen depremlerin kaynakları hakkında bilgiler ve sismik yansıma verileri sunulacak, daha sonra Eldivan-Elmadağ Kıstırılmış Tektonik kamasına paralel gelişen Abdüsselam Kıstırılmış Tektonik Kaması'na ait bilgiler ve bu kamanın her iki tarafından elde edilen sismik yansıma verileri sunulacaktır. Eskişehir Fay Zonu'nun Ankara'ya en yakın kesimi olan Ilıca Fay Seti üzerine yapılan çalışmalar ve elde edilen sismik yansıma bilgilerin verilmesinden sonra, İç Anadolu KB'sında Kuzey Anadolu Fay Zonu, Kırıkkale-Erbaa Fay Zonu ve Eskişehir Fay Zonu arasında kalan bölge hakkında GPS verilerinden elde edilen yamulma analizi sunulacak ve tüm veriler MTA tarafından yayınlanan diri fay haritası (EMRE vd., 2012) ile karşılaştırılarak tartışılacaktır.

#### 2. BALA BÖLGESİ

KD-GB doğrultulu Kırıkkale-Erbaa Fay Zonu (KEFZ) ve KB-GD doğrultulu Tuzgölü Fay Zonu (TFZ)'nun birbirlerine yaklaştığı Ankara'nın GB'sında yer alan Bala bölgesinde (Şekil 2.1) 30 Temmuz 2005 (Mw=5.3), 20 Aralık 2007 (Mw=5.4) ve 26 Aralık 2007 (Mw=5.3) tarihlerinde büyüklükleri 5'in üzerinde olan üç önemli deprem meydana gelmiştir. 30 Temmuz 2005 ana depreminden sonra bölgede günümüze kadar devam eden yoğun bir sismik hareketlilik gözlenmektedir. Aktif tektonik yapılarla çevrili olan Ankara çevresinde Orta Anadolu'nun iç deformasyonunu anlamada bu ana depremler ve artçı depremleri büyük önemdedir.



Şekil 2.1: Ankara ve yakın çevresini etkileyen başlıca neotektonik yapılar (ESAT vd., 2014). Kırmızı çerçeve Bala bölgesini göstermektedir. Mor noktalar 1900 yılından günümüze bölgedeki depremleri göstermektedir (Sismik veri: Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü). (NAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, EAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, KEFZ: Kırıkkale-Erbaa Fay Zonu, TFZ: Tuz Gölü Fay Zonu, EFZ: Eskişehir Fay Zonu, FBFZ: Fethiye Burdur Fay Zonu, EPCW: Eldivan-Elmadağ Kıstırılmış Tektonik Kaması).

### 2.1. Bala bölgesindeki aktif faylar

Bala bölgesindeki aktif faylar çeşitli raporlarda ve makalelerde yer alan haritalarda gösterilmekle birlikte (ŞAROĞLU vd., 1987; KOÇYİĞİT, 2003; ÖZSAYIN ve DİRİK, 2007; ROJAY ve KARACA, 2008; KOÇYİĞİT, 2009; TAN vd., 2010; EMRE vd., 2012) bu çalışmalarda faylara ilişkin detaylı arazi gözlemleri ve tanımlamalar bulunmamaktadır.

Karakeçili Fayı (KKF) ve Afşar Fayı (ARF) bölgeyi etkileyen farklı doğrultulara sahip faylardır (Şekil 2.2). Karakeçili Fayı, KKD doğrultulu verev atım bileşenli normal bir faydır ve Neojen-Kuvaterner Karakeçili Havzası'nı sınırlandırır (YALÇINLAR, 1983; TÜRKMEN ve ÖZKUL, 1999; SARAÇ, 2003). KKF paralel ve yarı paralel fay parçalarından oluşur. Temel kayaçlarıyla sedimanter birimler arasındaki verev atım bileşenli ve neredeyse saf eğim atım bileşenli normal fay yüzeyleri ve üzerlerindeki kayma çizikleri net bir şekilde gözlenmektedir (Şekil 2.3). KKF aynı zamanda Bala'nın da üzerinde yer aldığı topoğrafik olarak yüksek bölümlerden havza içine doğru alçalan topoğrafyayı kontrol etmektedir (Şekil 2.4). Havza içinde normal fay özelliğinde birbirini takip eder şekilde, sıkılaşmamış havza dolgusu birimlerini deforme eden fay sarplıkları da görülmektedir (Şekil 2.5). Yüzeyde gözlenen bu morfotektonik özelliklerden yola çıkılarak, fayın yeraltındaki geometrisinin en iyi gözlenebileceği düşünülen bölgede bir sismik yansıma çalışması gerçekleştirilmiştir.

*Çatalçeşme sismik yansıma hattı:* Bu hattın arazi düzeni "Walk-Away" olarak adlandırılan alıcıların sabit, atışın hareketli olduğu bir serim tekniğidir. Karakeçili Fayı üzerindeki Çatalçeşme sismik yansıma hattının özellikleri şöyle sıralanabilir. Atış sayısı 17, Alıcı sayısı 82, CDP iz sayısı 162, Örnekleme aralığı 1 ms, Kayıt süresi 4 s, Atış aralığı 50 m, Jeofon aralığı 10 m, İlk jeofon 25 m, CDP aralığı 5 m. Sismik enerji kaynağı olarak P-Gun kullanılmıştır (CANYARAN ve ECEVİTOĞLU, 2002). P-Gun, 36 adet her biri 50 g saçma içeren magnum tipi av fişeğini eşzamanlı atan bir silahtır (Şekil 2.6). P-Gun atışları, zemine fide ekiminde kullanılan bir tarım aletiyle açılan 30 cm çaplı, 40 cm derinlikli deliklerde gerçekleştirilmektedir (Şekil 2.7). P-Gun yeraltına 90 tonun üzerinde bir anlık kuvvet enjekte etmektedir. Bu kuvvet, yeraltı özelliklerine de bağlı olarak, 1000 metreden fazla nüfuz derinliği sağlamaktadır (Şekil 2.8).

Çatalçeşme sismik yansıma hattında ABD yapımı Geometrics marka sismik sistem 96 adet jeofon, 4 adet Geode modülü ve veri kabloları kullanılmıştır (Şekil 2.9). Proje kapsamında Ankara Üniversitesi Tektonik Araştırma Grubu'na alınan 48 kanallı sismik sistem ile Anadolu Üniversitesi Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü'nde bulunan sistem birleştirilmiştir. Sistem ayarları ve veri aktarımı bir Laptop PC tarafından sağlanmaktadır (Şekil 2.10). Jeofonlar P tipi olup 14 Hz'lik doğal frekansa sahiptirler. Kayıt sırasında herhangi bir süzgeç kullanılmamıştır.



Şekil 2.2: İnceleme alanının arazi gözlemleri, ASTER uydu görüntüsü, EROL (1954) ve AKÇAY vd. (2008)'nden yararlanılarak hazırlanmış jeoloji haritası. Beyaz daireler fay düzlemlerinin alt yarıküre eşit alan stereografik izdüşümlerini gösterir (ESAT vd., 2014).



Şekil 2.3: Fay yüzeylerinin fotoğrafları (ESAT vd., 2014). Fotoğrafların konumları için Şekil 2.2'ye bakınız.



Şekil 2.4: Karakeçili Neojen-Kuvaterner havzasının içyapısını gösteren jeolojik kesit (ESAT vd., 2014). Alt kırmızı sedimanter birimin yaşı Erken Miyosen (MN 4) (SARAÇ, 2003), üst kırmızı sedimanter birimin ise Geç Miyosen - Erken Pliyosen (MN 9-15)'dir (YALÇINLAR, 1983).



Şekil 2.5: a) Kırmızı çizgiler Neojen-Kuvaterner birimler içerisinde Karakeçili Fayı'na ait güncel fay sarplıklarını gösterir. Sarı hat Karakeçili Fayı üzerinde yapılan sismik yansıma kesitinin konumudur. b) Normal fay sarplıklarının düşen bloktan görünümü. Normal fay segmentlerinin yanal olarak atımlarının sıfırlandığına ve genel olarak en büyük atımın normal fayların orta bölümüne karşılık geldiğine dikkat ediniz. Bu durum normal fayların morfotektonik gelişimine uygundur. c) Güncel fay sarplığının görüntüsü ve yanal olarak atımın azalması (ESAT vd., 2014). Veriler W\_GeoSoft Visual\_SUNT Version 6.6.6 Yazılımı ile proses edilmiştir. Sismik Yığma Kesitlerinin elde edilmesi amacıyla aşağıdaki veri işlem sırası uygulanmıştır:

- 1) Geometri Tanımı
- 2) Aralık Geçişli Trapez Süzgeç: 1-5-90-100 Hz
- 3) Otomatik Kazanç Kontrolü (AGC), Zaman Penceresi: 500 milisaniye
- 4) Statik Düzeltme: Sismik hat boyunca var olan yükseklik farklarının giderilmesi
- 5) İlk Varışların Sağırlaştırılması
- 6) Yüzey Dalgaları ve Ses Dalgalarının Sağırlaştırılması
- 7) Atış Düzeninden CDP Düzenine Geçiş (Birinci anahtar CDP, ikinci anahtar Offset)
- 8) Hız Analizi (6 CDP noktasında, 500 ile 4000 m/s hızlar arasında) ve Yığma
- 9) Yanal Yumuşatma, Ağırlık Faktörleri: 0.25-0.5-1-0.5,0.25
- 10) Zamansal Derinlikten Metrik Derinliğe Dönüşüm
- 11) Sismik Kesit Resim Dosyalarının Oluşturması

Sismik verilerin orijinalliğini mümkün olduğunca korumak amacıyla Ters Evrişim ve Göç gibi makyaj prosesler uygulanmamıştır.



Şekil 2.6: P-Gun solda doldurulmadan önce ve sağda atışa hazır hali.



Şekil 2.7: P-Gun atışları için çukurların hazırlanması.



Şekil 2.8: P-Gun atış sırasında.



Şekil 2.9: Geometrics marka 48 kanal sismik sistem.



Şekil 2.10: Sistem ayarları ve veri aktarımı Laptop PC ile kontrol edilmektedir.

Çatalçeşme sismik yansıma hattına ait yorumsuz ve yorumlanmış sismik yansıma kesiti Şekil 2.11a ve b'de sunulmuştur. Bu kesitte sol taraftaki Karakeçili normal fayı çok belirgin olarak görülmektedir. Arazide gözlenen Kuvaterner dolgudaki sekiler yeşil oklarla işaretlenmiştir (Şekil 2.11b ve c). Yüzeye en yakın sarı ile işaretlenen sismik seviyelerin normal faylarla basamaklandığı gözlenmektedir. Sismik kesite genel olarak bakıldığında üst seviyelerdeki sedimanter birimin ana faya doğru kalınlaşarak kama geometrisi sunduğu farkedilebilir. Derindeki sismik seviyeler ile sığ kesimlerdeki sismik seviyeler arasındaki eğim farklılığı genel olarak Kuvaterner istifin normal fay kontrolünde çökeldiğini göstermektedir. Bu kesitte diğer araştırmacıların savunduğunun aksine doğrultu atımlı sisteme ait faylanma gözlenmemiş olup, bu durum arazi çalışmalarında elde edilen yapısal verilerimizi doğrulamaktadır.



Şekil 2.11: Karakeçili Fayı üzerinde yer alan Çatalçeşme sismik yansıma kesiti (ESAT vd., 2014). a) Yorumsuz b) Yorumlanmış c) Sismik kesitin üst kesiminin detayı.

Afşar Fayı (ARF) sağ yönlü doğrultu atım karakterindedir ve pek çok parçadan oluşur. Bölgedeki birimlerin büyük oranda tarlalarla örtülü olmasından dolayı ARF'ye ait fay yüzeyleri arazide gözlenememektedir. Bununla birlikte, fayın doğrultusu odak mekanizması çözümlerinden, ikincil kırıklardan hesaplanan ana fay doğrultusundan ve uydu görüntülerinden belirlenebilmiştir. KB doğrultulu fay parçalarının çoğunluğu güncel akarsu kanalları üzerinde değişen oranlarda gözlenen sağ yönlü ötelenmelere sahiptir (Şekil 2.2 ve 2.12). 2007 ana şoku ile ilişkili olarak Afşar kasabasının mezarlık duvarındaki kırıkların ana fayla ilişkili ikincil kırıklar olduğu düşünülmüştür. Bu kırıklar kullanılarak ana fayın doğrultusu K25°B olarak hesaplanmıştır. Hesap yoluyla bulunan bu doğrultu, Afşar'ın hemen kuzeyindeki derede gözlenen yerdeğiştirmeler ile uyumludur. Bu yerdeğiştirmeler dikkate alınarak kısa aralı-aşmalı fayların konumları tahmin edilmiştir. (Şekil 2.12 ve 2.13). Ayrıca yine 2007 ana depreminden sonra Afşar kasabasında evlerin duvarlarında makaslama kırıkları ve asfaltta kırıklar oluşmuştur (Şekil 2.14).

20.12.2007 (Mw=5.4) depremi artçıları KB-GD uzanımlıdır ve odak mekanizması çözümü sağ yanal doğrultu atımlı fayı işaret etmektedir (bknz: Bala civarının depremselliği bölümü). Uydu görüntüleri analizi (ESAT, 2011; ESAT vd., 2014) ve artçı depremlerin dış merkez konumlarının bölgesel kabuk modeline göre yeniden hesaplanması (ÇIVGIN, 2012) Afşar GB'sındaki vadileri işaret etmektedir. Bala civarındaki depremlerde yüzey kırığı rapor edilmemiş olup, ana kaya mostrası sınırlı olduğundan yapısal verinin toplanma olasılığı yoktur. Bu nedenle Bala depremlerine neden olan Afşar Fayı'nın görüntülenmesi amacıyla Üç Ağıl sismik hattı gerçekleştirilmiştir.

 $\ddot{U}$ ç Ağıl sismik yansıma hattı: Bu hattın arazi düzeni "Walk-Away" olarak adlandırılan alıcıların sabit, atışın hareketli olduğu bir serim tekniğidir. Afşar Fayı üzerindeki Üç Ağıl sismik yansıma hattının özellikleri şöyle sıralanabilir. Atış sayısı 21, Alıcı sayısı 96, CDP iz sayısı 196, Örnekleme aralığı 0.5 ms, Kayıt süresi 2 s, Atış aralığı 25 m, Jeofon aralığı 5 m, İlk jeofon 12.5 m, CDP aralığı 2.5 m. Sismik enerji kaynağı ve sismik sistem ve verilerin işlenmesi Çatalçeşme sismik yansıma hattındaki gibidir.

Afşar kuzeyinde belirlenen aralı-aşmalı fayların GD'ya devam ettiği düşünülerek akarsuyu vadisinin pozisyonu ve artçı depremlerin dış merkezleri dikkate alınarak belirlenen Üç Ağıl hattına (Şekil 2.15) ait sismik yansıma kesiti, yorumlu ve yorumsuz olarak Şekil 2.16a ve b'de sunulmuştur. Uydu görüntüsünden farkedileceği gibi (Şekil 2.15) akarsuyun fay hattını takip edeceği öngörülmüş ve KB-GD doğrultu öngörülen fay, KD'ya doğru bir sıçrama yapmıştır. Afşar Fayı'nın sağ yanal olduğu düşünüldüğünde burada yerel sıkışmalı bir sıçrama oluşması beklenmektedir.

Üç Ağıl sismik yansıma kesitinde derenin bulunduğu noktanın altında yanal sıkıştırmalı doğrultu atımlı fay, pozitif çiçek yapısı ile net olarak gözlenmektedir (Şekil 2.16b). Sismik kesitin orta kesiminde 500-750 m derinlikte yer alan antiklinal yapısı ile sismik kesitin sağ en üst kesiminde gözlenen kabarma ve altındaki bindirme bileşenleri yerel yanal sıkışmanın en belirgin özellikleridir. Bu alanda artçılara ait dış merkezler yoğunluk göstermekte ve fayın aktif olduğuna işaret etmektedir, fayın aktif olmasına rağmen sismik yansıma kesitinde yüzeye yakın kesimdeki yatay sismik seviyelerde belirgin kesiklik gözlenememesi malzemenin plastik davranmış olabileceği şeklinde yorumlanmıştır.



Şekil 2.12: a) İnceleme alanının ASTER uydu görüntüsü. b) Siyah çizgiler fayları, oklar ise derelerdeki yer değiştirme yönlerini göstermektedir. Turuncu kesikli çizgiler derelerdeki dönüşleri vurgulamak için çizilmiştir c) Afşar mezarlık duvarının konumu ve yerleşim alanının kuzeyinde dere yatağındaki sistematik yerdeğiştirmeler ile Afet evlerinin konumu arasındaki ilişki (ESAT vd., 2014).



Şekil 2.13: Afşar kasabasının mezarlık duvarında depremle meydana gelmiş kırıklar ve bu kırıkların konumlarının yorumlanmasıyla belirlenmiş ana fay konumu. Belirlenen ana fay konumu Şekil 7b'de gösterilen, Afşar'ın KB'sında derelerin ötelenmesine dayanılarak çizilen fay parçalarının konumlarıyla uyumludur (ESAT, 2011).



Şekil 2.14: a) Afşar kasabasında deprem sırasında bir evin duvarında oluşan makaslama kırıkları b) Asfaltta görülen K25°B doğrultulu kırık.



Şekil 2.15: Üç Ağıl sismik yansıma hattının sarı çizgi ile gösterilmiş konumu.



Şekil 2.16: Afşar Fayı üzerindeki Üç Ağıl sismik yansıma kesiti (ESAT vd., 2014).

#### 2.2. Bala civarının depremselliği

Bala bölgesinin 30 Temmuz 2005'de meydana gelen 5.3 büyüklüğündeki depreme kadar sismik olarak etkin olmayan ya da çok az etkin olan bir yer olduğu gözlenmektedir (Şekil 2.17a). Bu tarihe kadar bölgede büyükleri 4.9 ( $M_b$ , 4 Temmuz 1978) ve 4.7 ( $M_w$ , 21 Nisan 1983) olan iki depremle birlikte çok az deprem meydana gelmiştir. Nisan 1983 ve Temmuz 2005 tarihleri arasında ise bölge deprem etkinliği açısından oldukça sessizdir.



Şekil 2.17: Bölgede 16 Ocak 1918 ve 3 Kasım 2009 tarihleri arasında görülen deprem etkinliği. Kırmızı çerçeve çalışma alanını göstermektedir. Elipsler deprem kümelenmelerini gösterir. Deprem verisi Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü kataloglarından alınmıştır.

30 Temmuz 2005 depreminden sonra, Ankara çevresinde Anadolu levhasının içsel deformasyonunu anlamaya yönelik olarak Ankara Üniversitesi tarafından desteklenen proje kapsamında Ankara çevresinde bir deprem izleme ağı (AnkNET) Eylül 2007 tarihinde

kurulmuştur. Güralp 6TD geniş bant sismometrelerden oluşan altı adet istasyona sahip ve geçici olarak tasarlanan bu ağdan Eylül 2010 tarihine kadar üç yıl boyunca veri alınmıştır (Şekil 2.18).

#### Kargınselimağa (Kaman-Kırşehir) Deprem İstasyonu [KSLM]

Kurulum Tarihi: 31.08.2007 Koordinat: 39°25'53.30"N , 33°35'59.90"E , 1061 m



#### Özlü (Orta-Çankırı) Deprem İstasyonu [OZLU]

Kurulum Tarihi: 24.10.2008 Koordinat: 40°31'45.10"N , 33° 3'52.63"E , 1452 m



Yeniceli (Sulakyurt-Kırıkkale) Deprem İstasyonu [YENI]

#### Salihler (Güdül-Ankara) Deprem İstasyonu [SALI]

Kurulum Tarihi: 06.09.2007 Koordinat: 40° 9'0.66"N , 32°11'6.02"E , 956 m



#### Şerefligökgözü (Haymana-Ankara) Deprem İstasyonu [SERE]

Kurulum Tarihi: 02.09.2007 Koordinat: 39°18'6.73"N , 32°35'44.70"E , 1163 m



Merkez (Başak Mh.-Hüseyingazi-Ankara) Deprem İstasyonu [MRKZ]

Kurulum Tarihi: 30.08.2007 Koordinat: 40°10'59.45"N , 33°52'3.34"E , 1191 m



Koordinat: 39°56'56.79"N , 32°58'13.00"E , 1181 m

Kurulum Tarihi : 19.09.2007



Şekil 2.18: AnkNET istasyonları.

30 Temmuz 2005 tarihinde yaklaşık 6 km derinlikte ve 5.3 büyüklüğünde Bala'da meydana gelen depremle birlikte bölgede yoğun bir sismik hareketlilik gözlenmeye başlanmıştır. Bu ana depremi takip eden farklı büyüklüklerde pek çok artçı deprem kaydedilmiştir (Şekil 2.17b). Şekil 2.19a ana depremi takip eden bir aylık süre içerisindeki artçı depremleri göstermektedir. Ana depremin ve bazı önemli artçılarının AnkNET projesi kapsamında elde edilen odak mekanizması çözümü parametreleri de Tablo 2.1'de görülmektedir (ESAT vd., 2009; ÇIVGIN vd., 2009; ESAT vd., 2014).



Şekil 2.19: Zamana göre 2005 ana depreminden sonraki (a) ve 2007 ana depreminden sonraki (b) deprem sayılarını gösteren sütun grafikler.

20 Aralık 2007'de aynı bölgede bu sefer 5.4 büyüklüğünde bir deprem olmuş, 26 Aralık 2007 tarihinde ise bu ana depremi takip eden 5.3 büyüklüğünde bir artçı deprem meydana gelmiştir. 20 Aralık 2007 ana depremi sonrası oluşan depremlerin zaman histogramı Şekil 2.19b'de görülmektedir. 20 Aralık 2007 ana depreminin ve önemli artçılarının AnkNET projesi kapsamında elde edilen odak mekanizması parametreleri de Tablo 2.1'de görülmektedir.

Bölgede meydana gelen bu ana depremlerin artçı deprem dağılımlarına baktığımızda 30 Temmuz 2005 ana depreminin artçılarının büyük oranda KKF üzerinde KKD-GGB doğrultusunda dizildiği görülürken (Şekil 2.20a), 20 Aralık 2007 ana depreminin artçıları ise ARF üzerinde KB-GD doğrultusunda yer almaktadır (Şekil 2.21a).

|    |          |                |                |                 |                  |                       | Düğüm düzlemleri       |                |                  |               |       |       |       |
|----|----------|----------------|----------------|-----------------|------------------|-----------------------|------------------------|----------------|------------------|---------------|-------|-------|-------|
|    |          |                |                |                 |                  |                       |                        |                |                  | -<br>P ekseni |       | T el  | cseni |
| No | Tar ih   | Zaman<br>(UTC) | Enlem<br>K (°) | Boylam<br>D (°) | Derinlik<br>(km) | Büyüklük              | Doğrultu1<br>Doğrultu2 | Eğim1<br>Eğim2 | Kayma1<br>Kayma2 | Gidiş         | Dalım | Gidiş | Dalım |
| 1  | 04/07/78 | 22:39:16       | 39.450         | 33.190          | 23               | 4.9 (Mb)              | 303<br>186             | 66<br>44       | -129<br>-36      | 167           | 54    | 59    | 13    |
| 2  | 30/07/05 | 21:45:01       | 39.4061        | 33.1384         | 6.391            | 5.3 (Mw)              | 301<br>207             | 70<br>80       | -169<br>-21      | 162           | 22    | 255   | 7     |
| 3  | 31/07/05 | 00:14:48       | 39.4213        | 33.1497         | 10.869           | 3.2 (M <sub>D</sub> ) | 343<br>180             | 61<br>30       | -98<br>-75       | 223           | 73    | 79    | 16    |
| 4  | 31/07/05 | 00:45:14       | 39.4141        | 33.1392         | 6.463            | 3.9 (Mw)              | 129<br>278             | 48<br>47       | -68<br>-113      | 112           | 74    | 204   | 0     |
| 5  | 31/07/05 | 01:09:21       | 39.4358        | 33.1515         | 5.149            | 3.3 (M <sub>D</sub> ) | 57<br>217              | 56<br>34       | -79<br>-107      | 1             | 75    | 139   | 11    |
| 6  | 31/07/05 | 15:18:19       | 39.4370        | 33.0570         | 17.6             | 4.5 (Mw)              | 212<br>304             | 79<br>78       | -12<br>-168      | 168           | 16    | 258   | 0     |
| 7  | 31/07/05 | 15:23:25       | 39.4240        | 33.0530         | 12.2             | 4.1 (Mw)              | 296<br>205             | 87<br>73       | -163<br>-4       | 162           | 14    | 70    | 9     |
| 8  | 31/07/05 | 23:41:35       | 39.3897        | 33.1146         | 8.258            | 4.6 (Mw)              | 285<br>177             | 66<br>55       | -141<br>-30      | 145           | 44    | 49    | 7     |
| 9  | 01/08/05 | 00:45:07       | 39.4062        | 33.0885         | 12.182           | 4.4 (Mw)              | 96<br>2                | 85<br>46       | -136<br>-6       | 329           | 33    | 221   | 26    |
| 10 | 06/08/05 | 09:09:27       | 39.352         | 33.103          | 6.8              | 4.2 (Mw)              | 282<br>187             | 82<br>64       | -154<br>-9       | 148           | 24    | 52    | 12    |
| 11 | 20/12/07 | 07:36:49       | 39.4123        | 33.0807         | 3.799            | 3.6 (Mw)              | 138<br>47              | 87<br>67       | -157<br>-4       | 5             | 18    | 270   | 13    |
| 12 | 20/12/07 | 09:48:28       | 39.4107        | 33.0942         | 3.963            | 5.4 (Mw)              | 113<br>22              | 85<br>79       | -169<br>-5       | 338           | 11    | 247   | 4     |
| 13 | 21/12/07 | 21:44:49       | 39.3997        | 33.1271         | 5.42             | 3.0 (Mw)              | 177<br>280             | 70<br>59       | -33<br>-156      | 135           | 37    | 230   | 7     |
| 14 | 26/12/07 | 23:47:09       | 39.4135        | 33.0803         | 4.516            | 5.3 (Mw)              | 154<br>54              | 65<br>70       | -158<br>-27      | 13            | 33    | 105   | 3     |
| 15 | 27/12/07 | 07:47:01       | 39.4550        | 33.0470         | 5.073            | 4.3 (Mw)              | 157<br>248             | 81<br>88       | 178<br>9         | 22            | 5     | 113   | 8     |
| 16 | 27/12/07 | 13:47:58       | 39.4398        | 33.0640         | 5.064            | 4.4 (Mw)              | 25<br>174              | 44<br>50       | -67<br>-111      | 21            | 74    | 279   | 3     |
| 17 | 27/12/07 | 17:56:12       | 39.4039        | 33.1035         | 6.042            | 3.7 (Mw)              | 24<br>143              | 48<br>62       | -40<br>-130      | 2             | 54    | 261   | 8     |
| 18 | 11/01/08 | 16:07:49       | 39.4406        | 33.0454         | 7.583            | 3.5 (Mw)              | 145<br>46              | 70<br>66       | -154<br>-22      | 6             | 32    | 275   | 3     |

Tablo 2.1: AnkNET projesi kapsamında üretilmiş odak mekanizması çözümlerinin parametreleri. 1 no'lu çözüm KOCAEFE ve ATAMAN (1982)'dan alınmıştır.

2005 ana depreminin artçıları ilk 35 km'lik derinlikte dağılır. Deprem odakları ilk 10 km'lik derinlikte yoğunluk gösterir (Şekil 2.20b). Bununla birlikte, KD'ya doğru depremlerin çoğunlukla 10 km derinliğin altında olduğu görülmektedir (Şekil 2.20b, A-A' ve D-D' kesitleri). Buna göre KKF'ye dik olan D-D' kesitindeki dağılıma dayanarak KKF'nin listrik bir fay geometrisine sahip olduğu söylenebilir (Şekil 2.20b).



Şekil 2.20: a) 30 Temmuz 2005 ve 31 Ağustos 2005 tarihleri arasındaki deprem etkinliği. Odak mekanizması çözümleri için Tablo 2.1'e bakınız. Deprem dışmerkezlerinin konumları Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü katalog verileri kullanılarak AnkNET projesi kapsamında yeniden belirlenmiştir b) Depremlerin derinlik kesitleri. Kesit hatları için Şekil 2.20a'ya bakınız (ÇIVGIN vd., 2009, ESAT vd., 2014).


Şekil 2.21: a) 20 Aralık 2007 ve 10 Şubat 2008 tarihleri arasında AnkNET tarafından kaydedilmiş ana deprem ve artçıları. Odak mekanizması çözümleri için Tablo 2.1'e bakınız. b) Depremlerin derinlik kesitleri. Kesit hatları için Şekil 2.21a'ya bakınız (ÇIVGIN vd., 2009, ESAT vd., 2014).

Öte yandan, 2007 ana depreminin neredeyse bütün artçıları 10 km derinliğin üzerinde yer alır (Şekil 2.21b). ARF'ye dik olan derinlik kesitleri, deprem odaklarının yaklaşık 4 km genişliğe sahip bir zon içinde yer aldığını göstermektedir (Şekil 2.21b, F-F', G-G' ve H-H' kesitleri). Bu dağılım doğrultu atımlı ARF ile uyumludur.

## 2.3. Bala bölgesinde kinematik analiz

Odak mekanizması çözümleri ve saha gözlemlerinden elde edilmiş fay kinematik verilerinin (Tablo 2.2) analizi, kısalma ekseninin neredeyse düşey ve genişleme ekseninin ise neredeyse yatay olduğunu göstermektedir (Şekil 2.22). Buna göre genişleme ekseni bölgede K81°D doğrultusunda bir genişlemeyi işaret etmektedir. Ayrıca, kısalma (P) ve uzama (T) eksenlerinin kontur diyagramlarının tekdüze doğrultuları, fayların (KKF ve ARF) kinematik olarak uyumlu olduklarını gösterir (Analiz için FaultKin yazılımı kullanılmıştır. Yöntemle ilgili bilgi için MARRETT ve ALLMENDINGER (1990) ile ROWLAND vd. (2007)'ne bakılabilir).

|    | Fay düzlemi |      | Çizgisellik |       |        |  |
|----|-------------|------|-------------|-------|--------|--|
| No | Doğrultu    | Eğim | Gidiş       | Dalım | Türü   |  |
|    | (°)         | (°)  | (°)         | (°)   | Turu   |  |
| 1  | 303         | 66   | 96          | 45    | Normal |  |
| 2  | 301         | 70   | 117         | 10    | Normal | Odak mekanizması çözümü verileri<br>(Yerler için Şekil 2.20, 2.21 ve<br>Tablo 2.1'e bakınız) |
| 3  | 343         | 61   | 89          | 60    | Normal |  |
| 4  | 278         | 47   | 40          | 42    | Normal |  |
| 5  | 57          | 56   | 128         | 54    | Normal |  |
| 6  | 304         | 78   | 122         | 12    | Normal |  |
| 7  | 296         | 87   | 115         | 17    | Normal |  |
| 8  | 285         | 66   | 87          | 35    | Normal |  |
| 9  | 96          | 85   | 271         | 44    | Normal |  |
| 10 | 282         | 82   | 98          | 26    | Normal |  |
| 11 | 138         | 87   | 317         | 23    | Normal |  |
| 12 | 113         | 85   | 292         | 11    | Normal |  |
| 13 | 280         | 59   | 87          | 20    | Normal |  |
| 14 | 154         | 65   | 324         | 20    | Normal |  |
| 15 | 157         | 81   | 157         | 2     | Ters   |  |
| 16 | 174         | 50   | 295         | 46    | Normal |  |
| 17 | 143         | 62   | 294         | 43    | Normal |  |
| 18 | 145         | 70   | 316         | 24    | Normal |  |
|    | 48          | 43   | 142         | 43    | Normal | Arazi verileri<br>(Yerler için Şekil 2.2'ye bakınız)   |
|    | 71          | 24   | 115         | 17    | Normal |  |
|    | 52          | 33   | 127         | 32    | Normal |  |
|    | 56          | 56   | 157         | 56    | Normal |  |
|    | 337         | 55   | 83          | 54    | Normal |  |

Tablo 2.2: Fay kinematik verisi.



Şekil 2.22: a) Fay verilerinin kinematik analizi. Kinematik eksenlerin (Linked Bingham) durumları: 1) 4°/261° (genişleme ekseni), 2) 3°/351°, 3) 85°/118° (kısalma ekseni) (dalım/ gidiş) b) Genişleme eksenlerinin kontur diyagramı c) Kısalma eksenlerinin kontur diyagramı.

## 2.4. Bala bölgesi için tartışma ve sonuçlar

30 Temmuz 2005 ana depreminden günümüze KKD-GGB ve KB-GD doğrultusunda neredeyse doğrusal iki deprem kümelenmesi kayıt edilmiştir. 2005 ana depreminin artçı depremleri KKD-GGB doğrultusundayken (Şekil 2.17b ve Şekil 2.20a), 2007 ana depreminin artçıları KB-GD doğrultusuna sahiptir (Şekil 2.17c ve Şekil 2.20a). Bu kümelenmeleri değerlendiren araştırıcılar bölgede sağ ve sol yönlü eşlenik fayların etkin olduğu yönünde değerlendirmelerde bulunmuşlardır (DİRİK vd., 2008; KALAFAT vd., 2008; ÇUBUK ve TAYMAZ, 2009; KOÇYİĞİT, 2009). Diğer taraftan, KASAPOĞLU vd. (2005), 2005 ana depreminin ardından

gerçekleştirdikleri arazi çalışmaları sonucunda bu depremin küçük bir sol yönlü doğrultu atım bileşenine de sahip normal faylarla ilişkili olduğunu belirtmektedir.

Jeolojik gözlemlerin yanında depremlerin yeniden belirlenmiş lokasyonları, odak mekanizması çözümleri ve sismik yansıma çalışmalarının da kullanılmasıyla farklı bir yoruma gitmek mümkündür. Buna göre 2005 ve 2007 ana depremlerinin her ikisi de sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay olan ARF üzerinde meydana gelmiştir. 2005 ana depreminin artçı dağılımı ve odak mekanizması çözümlerinin bazıları KKD doğrultulu KKF ile ilişkili normal faylanmayı işaret etmektedir. Böylelikle 2005 ana depreminin KKF üzerindeki deprem etkinliğini tetiklediği söylenebilir.

Sonuç olarak eldeki veriler değerlendirildiğinde, kuzeybatı ucunun ARF ile temsil edildiği düşünülen Tuz Gölü Fay Zonu'nun, KKF'nin verev normal fay parçalarıyla genişlemeli sistem içerisinde sonlandığı, KINGMA (1958)'nın önerdiğine benzer bir model olarak öne sürülebilir (Şekil 2.23).



Şekil 2.23: a) Bala çevresi için önerilen modelin 3 boyutlu perspektif görüntüsü. Kırmızı yuvarlaklar deprem iç merkezlerini göstermektedir. Turuncu ve mavi düzlemler sırasıyla ARF ve KKF'nin yaklaşık konumunu temsil etmektedir. b) Modelin basitleştirilmiş haritası. KKF: Karakeçili Fayı, ARF: Afşar Fayı c) Doğrultu atımlı fayların sonlanmasında normal faylanmaları gösteren model (KINGMA, 1958). (Şekil ESAT vd., 2014'den alınmıştır).

## 3. ABDÜSSELAM KISTIRILMIŞ TEKTONİK KAMASI

Ankara çevresinin depremselliğine yeni bir yaklaşım sunan SEYİTOĞLU vd. (2009) çalışmasında Kuzey Anadolu Fayı ile Kırıkkale-Erbaa Fayı arasında KB-GD yönlü sıkışma sonucunda ortaya çıkan Eldivan-Elmadağ Kıstırılmış Tektonik Kaması tanımlanmıştır. Bu yapının batısında buna paralel uzanan Abdüsselam yükselimi, benzer özellikler sunmakta ve aktif olduğuna dair veriler bulundurmaktadır.

Abdüsselam yükselimi Ankara şehir merkezinin hemen batısında Yenikent ile Ayaş arasında yer alan ve yaklaşık KD-GB doğrultusunda uzanan bir yapıdır (Şekil 3.1). En yüksek noktası 1610 m'dir. Yükselimin özellikle doğu bölümü KUTLUAY (2007) tarafından çalışılmıştır. Yapıyı KD-GB doğrultulu büyük bir antiklinal olarak tanımlayan (Abdüsselam antiklinali) bu çalışmaya göre, inceleme alanında temel birimler (Galatya Volkanik Karmaşığı'na ait volkanikvolkanoklastik kayaçlar ile ofiyolitik melanja ait bloklar) ve örtü birimler (Geç Miyosen–Erken Pliyosen yaşlı Pazar formasyonu, Geç Pliyosen–Pleyistosen yaşlı Etimesgut formasyonu ve Kuvaterner alüvyon çökelleri) bulunmaktadır.



Şekil 3.1: Abdüsselam yükselimi ve yakın çevresinin 3 boyutlu perspektif SRTM DEM görüntüsü. Beyaz çerçeve çalışma alanını göstermektedir. Yükseklik dört kat abartılmıştır.

Bölgenin jeoloji haritası Şekil 3.2'de görülmektedir. Bölgedeki jeolojik birimler temel kayaçlar, Orta Miyosen-Pliyosen sedimanter kayaçlar ve Kuvaterner-alüvyon birimler olarak üç grup altında haritalanmıştır. Jeoloji haritası hazırlanırken arazi çalışmalarının yanı sıra, görünür yakın kızılötesi bantları kullanılan ve dekorelasyon germesi uygulanmış ASTER uydu görüntüsü de birimleri ayırt etmede destekleyici ve yardımcı bir araç olarak kullanılmıştır (Şekil 3.3 ve 3.4).



Şekil 3.2: Abdüsselam yükseliminin jeoloji haritası (ESAT, 2011).

Bölgedeki temel kayaçlar ağırlıklı olarak volkanikler, volkanoklastikler, kireçtaşları ve metamorfik kayaçlardan oluşur. DÖNMEZ vd. (2009) Abdüsselamdağ volkanitleri olarak isimlendirdikleri volkanik-volkanoklastik kayaçların yaşını Orta Eosen olarak belirtirler.

Orta Miyosen-Pliyosen sedimanter kayaçlar kireçtaşı, marn, kumtaşı, kiltaşı ve tüf ardalanmasından oluşur. Kömürlü seviyeler de içerir. Temel kayaçları bütünüyle çevreleyen bu birimin yaşı yükselimin doğu ve batı bölümlerinden elde edilmiş fosil verileriyle belirlenmektedir. Eski Başayaş köyünün kuzeyinde SARAÇ (1994)'ın memeli fosillerine dayanarak elde etmiş olduğu yaş Geç Miyosen'dir. BRELIE (1957) Bücük köyü civarındaki kömürlü seviyelerde bulunan polen ve sporlardan Geç Miyosen yaşını önermektedir. NEBERT (1957) Bücük köyü civarında yaptığı çalışmada kömürlü seviyenin üzerine en az 700 m kalınlığa sahip sedimanların gelmesine dayanarak bu istifin en üst kesimlerinde Alt Pliyosen birimlerinin olma ihtimalinin yüksek olduğunu dolayısıyla birimin yaşının Geç Miyosen-Erken Pliyosen olması gerektiğini önermektedir. Bununla birlikte, BENDA (1971) Bücük köyündeki linyit oluşumlarından elde edilen sporomorf topluluğunu Yeni Eskihisar olduğunu belirtmiş olup, bu topluluğun yaş aralığı 14-11 My'dır (BENDA vd. 1974, BENDA ve MEULENKAMP, 1990). Bu Bücük kömürlerini içeren istifin Orta Miyosen yaşında olduğunu göstermektedir.

Abdüsselam yükseliminin KD'sunda Çalta lokalitesindeki veriler Pliyosen yaşını kanıtlamakta ve bu tabakaların deforme olduğu gözlenmektedir (REUMER, 1998 ve ŞEN, 1998).



Şekil 3.3: Çalışma alanının görünür yakın kızılötesi (VNIR) bantlar kullanılarak hazırlanmış ASTER uydu görüntüsü. Kırmızı çizgiler birim sınırlarını göstermektedir.



Şekil 3.4: Görüntü zenginleştirme tekniği olarak dekorelasyon germesi uygulanmış, görünür yakın kızılötesi (VNIR) bantlardan oluşan ASTER uydu görüntüsü. Siyah çizgiler birim sınırlarını göstermektedir.

Bölgedeki en genç birimler olan Kuvaterner-alüvyon birimler ise Orta Miyosen-Pliyosen sedimanter kayaçları örter şekilde az pekişmiş-pekişmemiş kırıntılılardan meydana gelir.

Abdüsselam yükseliminin doğu ve batı bölümleri farklı yapısal özellikler göstermektedir. Doğu bölümde temel kayaçlar ile Orta Miyosen-Pliyosen sedimanter kayaçlar arasındaki sınır bindirme-ters faylı ya da uyumsuz olarak gözlenir (Şekil 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 ve 3.10). Bu bölümde sedimanter kayaçlar kıvrımlanarak deforme olmuştur (Şekil 3.11 ve 3.12). Sedimanter kayaçların kendi içinde de ters faylar gözlenir (Şekil 3.13). Kıvrım eksenleri yaklaşık KD-GB gidişlidir (Şekil 3.2).



Şekil 3.5: Abdüsselam yükseliminin doğu kenarında temel ve sedimanter birim arasında gözlenen bindirme sınırı.



Şekil 3.6: Tekkeköy yakınlarında temel ve sedimanter birim arasında gözlenen bindirme sınırı.



Şekil 3.7: Abdüsselam yükseliminin doğu kenarında gözlenen ters fay yüzeyi. Konum için Şekil 3.2'deki 7 no'lu eşit alan alt yarı küre izdüşümüne bakınız.



Şekil 3.8: Abdüsselam yükseliminin doğu kenarında temel ve sedimanter birim arasında gözlenen bindirme sınırı.



Şekil 3.9: Abdüsselam yükseliminin doğu kenarında temel üzerine uyumsuz olarak gelen sedimanter birimler.



Şekil 3.10: Abdüsselam yükseliminin doğu kenarında temel üzerine uyumsuz olarak gelen Neojen sedimanter birimler.



Şekil 3.11: Abdüsselam yükseliminin doğu kenarında, Neojen kireçtaşı biriminde gözlenen antiklinal.



Şekil 3.12: Abdüsselam yükseliminin doğu bölümünde temel ve sedimanter kayaçlar arasında gözlenen bindirme sınırı ve sedimanter birimde gözlenen antiklinal.



Şekil 3.13: Neojen sedimanter birimlerin kendi içindeki bindirme/ters faylar ve temel ile Neojen birimler arasındaki bindirme sınırı. Siyah kesikli çizgiler kıvrımları, mavi çizgiler ise bindirme sınırlarını göstermektedir.

Yükselimin batı bölümünde ise sedimanter birimlerin tabakalarında batıya doğru hafif eğimlenmeler olmakla birlikte doğu bölümdeki kıvrımlar gözlenmemektedir (Şekil 3.2). Bu bölümde temel kayaçlar ile sedimanter birimler arasındaki ilişki normal faylı ya da uyumsuz olarak gözlenmekte (Şekil 3.2, 3.14, 3.15 ve 3.16), ayrıca normal fayların sedimanter birimleri kestiği de gözlenmektedir (Şekil 3.17 ve 3.18). Bazı kısımlarda normal fayların doğrultu atımlı faylarla ötelendiği görülmektedir (Şekil 3.2, 3.19 ve 3.20).



Şekil 3.14: Abdüsselam yükseliminin batı kenarında temel kayaçlar ile sedimanter birimler arasındaki normal faylı sınır.



Şekil 3.15: Abdüsselam yükseliminin batı kenarında gelişmiş normal fay yüzeyi. Ok tavan bloğun hareket yönünü gösterir. Konum için Şekil 3.2'deki 3 numaralı eşit alan alt yarıküre izdüşümüne bakınız.



Şekil 3.16: Abdüsselam yükseliminin batı kenarında temel kayaçlarıyla sedimanter birimler arasındaki normal faylı sınır.



Şekil 3.17: Abdüsselam yükseliminin batı kenarında sedimanter birim içerisinde normal faya bağlı olarak oluşmuş çekme kıvrımı ve eşlenik kırıklar.



Şekil 3.18: Abdüsselam yükseliminin batı kenarında sedimanter birim içerisinde normal faya bağlı olarak oluşmuş eşlenik kırıklar.



Şekil 3.19: Abdüsselam yükseliminin batı kenarında gözlenen doğrultu atımlı fay yüzeyi. Konum için Şekil 3.2'deki 4 ve 5 numaralı eşit alan alt yarıküre izdüşümlerine bakınız.



Şekil 3.20: Şekil 3.19'da görülen doğrultu atımlı fay yüzeyinin yakından görünümleri. Konum için Şekil 3.2'deki 4 numaralı eşit alan alt yarıküre izdüşümüne bakınız.

Bölgede temel kayaçlar yaklaşık KB-GD doğrultulu bir sıkışmanın etkisiyle üzerinde bulunan Orta Miyosen-Pliyosen sedimanter birimleri deforme ederek KD-GB doğrultulu olarak yükselmiş ve bugünkü şeklini almıştır. Bölgedeki KB-GD sıkışmanın verisi sedimanter birimlerde gözlenen kıvrımların KD-GB eksenleri ile tabaka doğrultularının KD-GB durumlarıdır (Şekil 3.2).

Sıkışma ile birlikte yükselen temel kayaçlar, doğu bölümde ters faylar-bindirmelerle sedimanter birimleri deforme ederek kıvrımlara neden olmuş, batı bölümde ise bu birimleri üzerinde taşıyarak, tabakaları batıya doğru eğimli olacak şekilde normal faylarla doğu bölümüne nazaran göreli olarak daha az deforme etmiştir (Şekil 3.21). Abdüsselam yükseliminin bu durumu bir kenarı bindirme diğer kenarı normal faylı sınırlara sahip bir tektonik kamanın daha bölgede bulunduğunu göstermektedir. Bu şekliyle yapının yine KB-GD sıkışma etkisiyle oluşmuş Eldivan-Elmadağ Kıstırılmış Tektonik Kamasının (EKTK) daha küçük boyutta bir benzeri olduğu söylenebilir. Bu nedenle yapının Abdüsselam Kıstırılmış Tektonik Kaması (AKTK) olarak isimlendirilmesi ve tanımlanması uygun görülmüştür. EKTK ve AKTK'nin uzanımlarına bakıldığında birbirlerine paralel yapılar olması da dikkat çekmektedir.





AKTK'nin güney bölümünde Tekkeköy'ün hemen güneybatısında sedimanter birimler yoğun bir kıvrımlanmaya uğramıştır (Şekil 3.2 ve 3.22). Bu kıvrımlanma olasılıkla gömülü bindirmelerle ilişkili olmalıdır. Bu bölümdeki olası gömülü bindirme jeoloji haritasında kesikli mavi çizgiyle gösterilmiştir (Şekil 3.2).

AKTK'nin doğu kenarında Orta Miyosen-Pliyosen birimler genelde bir antiklinal ile sonlanmakta ve Kuvaterner birimlerle sınır oluşturmaktadır. AKTK'nin kuzey bölümünde Mülk Köyü civarında Orta Miyosen-Pliyosen birim tabakaları kıvrımlıdır. Burada da genel gidişe uygun olarak Neojen birimiyle Kuvaterner-alüvyon arasındaki sınırda Neojen birim tabakaları asimetrik bir antiklinal oluşturur (Şekil 3.2 ve 3.23). Arazide gözlenen bu durum burada gömülü bindirmelerin varlığının öngörülmesine neden olmuştur (Şekil 3.24). Bu öngörü Neojen öncesi temel ile Neojen birimleri arasında ve Neojen birimleri içinde açıkça izlendiğinden bölgesel yapıya uygunluk göstermektedir.

Bu öngörüyü test etmek bölgenin depremselliğini anlamak açısından önemlidir. Miyosen-Pliyosen birimler ile Kuvaterner birimler arasındaki sınırın niteliği nedir? Kuvaterner birimlerde deformasyon bulunmakta mıdır? Bu sorulara yanıt aramak amacıyla Mülk köyü civarında sismik yansıma çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Abdüsselam kıstırılmış tektonik kamasının doğu kenarında yapılan Mülk sismik hattı iki parçadan oluşmaktadır. İlk parçada kayıt için 48 kanallı bir sismik kayıt cihazı ve enerji kaynağı olarak "P- gun" sistemi kullanılmıştır. Sismik kesit hattının arazideki serim uzunluğu 670 m, elde edilen kesitin uzunluğu ise 425 m'dir (Şekil 3.25, 3.26). Bu hat boyunca jeofonlar 10'ar metre aralıklarla yerleştirilmiştir. P- gun'ın içine yerleştirilmesi için yine 10'ar metre aralıklarla toplam 20 adet çukur açılmıştır. Hat başından itibaren ateşlenmeye başlanan gun, sırasıyla diğer çukurlara aktarılarak toplamda 20 atış gerçekleştirilmiştir. Mülk sismik hattının ikinci parçası (Şekil 3.27 ve 3.28) atış sayısı 15, alıcı sayısı 66, CDP iz sayısı 136, örnekleme aralığı 1ms, kayıt süresi 3s, atış aralığı 50m, jeofon aralığı 10m, ilk jeofon 25m, CDP aralığı 5m olarak düzenlenmiştir.

Şekil 3.29'da Mülk sismik yansıma kesitinin birinci ve ikinci parçaları yorumsuz olarak sunulmakta, Şekil 3.30'da ise yorumlanmış olarak verilmektedir.

Mülk sismik yansıma kesitinde ters/bindirme faylarının belirgin sismik seviyeleri ötelediği ve genel olarak asimetrik rampa antiklinallerinin tipik olarak gözlendiği farkedilmiştir. En belirgin bindirme/ters faylanma kesitin ortasında yeşil sismik seviyenin ötelenmesi ile saptanmıştır bu lokasyon arazide ani topoğrafik değişime karşılık gelmektedir (Şekil 3.27) ve 100m derinliğe kadar izlenebilmektedir (Şekil 3.30).

Diğer belirgin bindirme/ters faylanmalar kesitin sağ üst bölümünde yeşil, mor ve sarı sismik seviyelerdeki deformasyon ile saptanmış olup, 200m derinliğe kadar net olarak izlenmektedir. Yeşil, mor, sarı olarak renklendirilen sismik seviyelerdeki deformasyonun normal faylardaki çekme kıvrımları ile açıklanması mümkün olmayıp, deformasyona neden olan fay düzlemleri KB'ya eğimli çizilmek zorundadır. Seviyelerdeki deformasyon, birbirine yakın iki ters fay hattının yaklaşık 750m derinde birleşerek tek hat olarak devam ettiğini göstermektedir. Bu bindirme fayının tavan bloğundaki 1000-1250m arasındaki mavi olarak renklendirilen sismik seviyelerde rampa antiklinalleri tipiktir (Şekil 3.30).

Mülk sismik yansıma kesitinde orta kesimde yeşil sismik seviyelerin yerdeğiştirmesi ile saptanan bindirme fayı topoğrafyadaki ani değişikliğe karşılık gelmektedir, bu kesimden daha detay veri alınması, buna ilave olarak sismik kesitin GD ucunda çift bindirmenin görüldüğü alandan yüzeye yakın daha net veri alınması amacı ile iki adet ek balyoz kesit hattı gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.23).

Balyoz kullanılarak yapılan sığ sismik çalışmada 250m derinliğe kadar ayrıntılı görüntü almak mümkün olmuştur. "Mülk ek-kenar" sismik yansıma kesitinde (Şekil 3.31) Abdüsselam kıstırılmış tektonik kaması doğu kenarının yeraltı jeolojisi ayrıntılı olarak görülmekte asimetrik antiklinal şeklinde deforme olmuş Neojen birimler ile Kuvaterner örtü birimlerinin sınırına karşılık gelen ve topoğrafik yükselti farklılığı gözlenen alanda çok belirgin bindirme yapıları görülmektedir. Bindirmelerin yüzeye kadar ulaştığı ve aktif oldukları net olarak bellidir (Şekil 3.32 ve 3.33).

Kuvaterner dolgu içinde Mülk sismik yansıma kesitinde (Şekil 3.30) gözlenen çift bindirme üzerinde yapılan "Mülk ek-ova" sığ sismik yansıma çalışmasının sonuçları Şekil 3.34 ve 3.35'te verilmiştir.

Bu kesitte çift bindirmenin yarattığı antiklinaller açık olarak izlenmekte olup bindirme faylarının yüzeye yakınlığı 50m'ye kadar sorunsuz izlenmektedir. AKTK'nin doğusunda yapılan tüm sismik yansıma çalışmaları ile tektonik kamanın doğu kenarını oluşturan bindirmenin aktif olduğu ve Kuvaterner örtüyü etkilediği söylenebilir.







Şekil 3.23: Mülk Köyü civarının uydu görüntüsü üzerine hazırlanan jeoloji haritası ve Mülk sismik yansıma hattı ve ilave hatların konumları.





Şekil 3.24: Abdüsselam Yükseliminin doğu kenarında Miyosen – Pliyosen yaşlı sedimanter kayaçların asimetrik antiklinal ile sonlanarak Kuvaterner birimlerle geçişi. Mülk Köyü civarı.



Şekil 3.25: Kırmızı çizgiyle gösterilen Mülk sismik hattının ilk parçasının arazideki konumu. Kuzeybatıya bakış.



Şekil 3.26: Mülk sismik hattının ilk parçasının güneye doğru devamı. Güneydoğuya bakış.



Şekil 3.27: Mülk sismik hattının ikinci parçası. Kuzey batıya bakış.



Şekil 3.28: Mülk sismik hattının ikinci parçasına uzaktan bakış. Arka planda asimetrik antiklinal ile sonlanan Neojen birimler, ön planda Mürted ovasının Kuvaterner dolgusu. Ovada Kuvaterner dolgu yüzeyinin büyük genlikli ondülasyonu dikkat çekicidir. Sismik kesitlerdeki çift bindirme alanına karşılık gelmektedir.



Şekil 3.29: Abdüsselam kıstırılmış tektonik kamasının batı kenarında yer alan Mülk sismik yansıma kesit hattının yorumsuz hali. Hattın konumu için Şekil 3.23'e bakınız.



Şekil 3.30: Abdüsselam kıstırılmış tektonik kamasının batı kenarında yeralan Mülk sismik yansıma kesit hattının yorumlanmış hali.



Şekil 3.31: Abdüsselam kıstırılmış tektonik kaması'nın doğu kenarında topoğrafik farklılık üzerinde yer alan Mülk ek-kenar sismik yansıma hattının konumu. GD'ya bakış. Ön planda B.Ecevitoğlu dikçe eğimli Neojen tabakalarının üzerindedir. Diğer grup elemanları ve araç Kuvaterner örtü üzerinde bulunmaktadır. Hattın konumu Şekil 3.24'de gösterilen fotoğraftaki asimetrik antiklinale dik durumdadır.



Şekil 3.32: Abdüsselam kıstırılmış tektonik kaması doğu kenarında Mülk ek-kenar sığ sismik yansıma kesitinin yorumsuz hali.



Şekil 3.33: Abdüsselam kıstırılmış tektonik kaması doğu kenarında "Mülk ek-kenar" sığ sismik yansıma kesitinin yorumlu hali. Hattın konumu için Şekil 3.23'e bakınız. Kesit hattının orta kesiminin Neojen birimler ile Kuvaterner dolgu arasındaki topoğrafik farklılığa karşılık geldiğine dikkat ediniz.



Şekil 3.34: Abdüsselam Kıstırılmış tektonik kaması doğusunda "Mülk ek-ova" sismik yansıma kesiti. Yorumsuz.



Şekil 3.35: Abdüsselam Kıstırılmış tektonik kaması doğusunda yorumlanmış "Mülk ek-ova" sismik yansıma kesiti (kesitin uzunluğu 95m'dir). Kesit hattı konumu için Şekil 3.23'e bakınız. Bu alanda Kuvaterner örtünün büyük genlikli yüzey ondülasyonu için Şekil 3.28'deki arazi fotoğrafına bakınız.

Abdüsselam Kıstırılmış Tektonik Kaması'nın batı bölümünde normal faylı kenar üzerinde yapılan Başayaş sismik yansıma çalışmasına ait konum bilgileri Şekil 3.36'da verilmiştir. Bu çalışmada sismik kaynak olarak balyoz kullanılmış ve jeofon aralığı 2m seçilmiştir. Elde edilen sismik kesitte (Şekil 3.37) batıya eğimli normal faylar ile sintetik ve antitetik kolları sismik seviyelerin yerdeğiştirmelerinden faydalanılarak yorumlanmıştır (Şekil 3.37b).

Abdüsselam Kıstırılmış Tektonik Kaması'nın bir neotektonik yapı olarak kanıtlanabilmesi Ankara batısında Yenikent'teki hızlı yerleşim ve askeri havaalanları ve savunma sanayii kuruluşları dikkate alındığında oldukça önemlidir (Şekil 3.38a, ve 3.38b). Bu yapının deprem üretme potansiyeli paleosismoloji çalışmaları ile en kısa sürede incelenmelidir. İzleyen bölümde Abdüsselam Kıstırılmış Tektonik Kaması ile Eldivan-Elmadağ Kıstırılmış Tektonik Kaması arasındaki depremselliğin üzerinde durulacaktır.



Şekil 3.36: Başayaş sismik yansıma hattının konumu ve arazi görünüşü.



Şekil 3.37: Abdüsselam Kıstırılmış Tektonik Kaması batısında "Başayaş" sismik yansıma kesitinin a) yorumsuz b) yorumlanmış hali. Kesit hattı konumu için Şekil 3.36'ya bakınız.



Şekil 3.38: a) Mürted ovasının Yenikent civarındaki Google Earth görüntüsü. Görüntünün KB kesiminde Abdüsselam yükselimi yeralmaktadır. Yeşil renkli işaretler Mülk ek sismik yansıma kesitlerinin konumunu göstermektedir. b) Mürted ovasından bir enine kesit. Abdüsselam Kıstırılmış Tektonik Kamasının doğu kenarına ait bindirmeler ile Mürted ovasının taban topoğrafyasının doğuya doğru eğimli olması arasındaki tutarlılık ve Ova çayının aktif normal faya yakınlığına dikkat ediniz.

## 4. ANKARA KUZEYİNDE MÜRTED VE ÇUBUK OVALARI ARASINDA KALAN KESİMİN DEPREMSELLİĞİ VE MELİKŞAH CİVARININ AKTİF TEKTONİĞİ

Ankara'nın kuzeyinde batı tarafi Mürted ovası, doğu tarafi Çubuk ovası ile sınırlanan topoğrafik bir sırt bulunmaktadır. Bu sırt Yuvaköy kuzeyinde Ofiyolitik birimler ile Neojen sedimanlar arasında D-B doğrultulu, güneye eğimli normal faylar ile Ankara çayına kadar alçalır (SEYİTOĞLU vd. 1997; 2006). Bu sırtın batı kenarının jeolojik özelliklerine ait sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (TOORI 2005). Şekil 3.38a ve b'de sunulan morfolojik veriler Ankara kuzeyinde bulunan yükseltinin batı kenarının normal faylar ile basamaklanarak Mürted ovasına alçaldığını göstermektedir. Normal bileşeni baskın olan bu fayın aktif olduğu düşen blokta yarattığı maksimum çökme nedeni ile Ova çayını kendine yakın hale getirmesinden anlaşılmaktadır. Büyük ölçekteki durum için Şekil 3.38a'ya bakınız. Ankara kuzeyinde meydana gelen depremlerden 30.04.2010 M:3.5 Etimesgut depremi dışmerkez konumu ve artçılarının dağılımı açısından önemlidir (Şekil 4.1). Bu depremin odak mekanizması çözümü saf bindirme fayını göstermekte (Şekil 4.2) ve artçıların dağılımı ile depremi oluşturan fayın doğrultusu arasında paralellik bulunmaktadır. Bu depremi oluşturan fay düzlemi / odak derinliği ilişkisi Çubuk ovası batı kenarının incelenmesi gerektiğini işaret etmektedir (Şekil 4.3).

Bu alanın jeolojik haritası Şekil 4.4'de sunulmuştur. Gümüşyayla köyünün KB'sında grafitik şist, kuvars damarlı kalkşist litolojisinden oluşan Neojen öncesi temel, bölgenin en önemli topoğrafik yükseltisini oluşturmaktadır (Mire dağı) ve Neojen çökel kayaçları ile olan dokanağı GD'ya eğimli normal faydır (Şekil 4.5). Neojen çökelleri tabanda kırmızı renkli konglomera ve çamurtaşı ardalanmasından oluşur (Şekil 4.6a). Üste doğru açık kahve renkli orta ince tabakalı laminalı kumtaşları bulunur (Şekil 4.6b). İstifin en üst kesiminde beyaz kalın tabakalı kireçtaşları ile bej renkli kireçtaşları, çamurtaşları arakatkılıdır. Neojen öncesi temel, İkipınar ile Melikşah köyleri arasında KKD gidişli bir sırt üzerinde yüzeylemekte olup, Melikşah-İkipınar yükselimi adı verilmiştir (Şekil 4.4). Batı kenarı normal faylı doğu kenarı bindirme ile sınırlı olan bu yükselim, yapısı itibarı ile Abdüsselam ve Eldivan-Elmadağ Kıstırılmış Tektonik Kamalarının küçük ölçekte eşdeğeridir. Melikşah-İkipınar yükseliminin batı kenarındaki normal fayda çok belirgin kayma çizikleri gözlenmemiş ancak yüzey üzerindeki ondülasyonlardan yan yatım açısının 90°'ye yakın olduğu saptanmıştır (Fay düzlemi K30B, 62GB) (Şekil 4.7a ve b). Yükselimin doğu kenarında Neojen öncesi temeli oluşturan rekristalize kireçtaşları ile kırmızı Neojen kırıntılılar arasında ters fay düzlemleri ölçülmüştür (K20B, 72KD; yan yatım: 90°). Saplanma izi tavan bloğunun yukarı hareketini göstermektedir (Şekil 4.8). Bu yükselimin her iki kenarındaki Neojen çökeller birbirlerine zıt yönde eğimlidir. Yükselimin doğu kenarındaki Neojen birimler doğuya doğru eğimlerini kısa mesafede arttırarak Kuvaterner örtü ile sınır oluşturular (Şekil 4.9 ve 4.10). Bu alanda birbirine aralı-aşmalı olarak yerleştirilmiş Melikşah-1 ve Melikşah-2 sismik yansıma hatları atılmıştır (Şekil 4.4). Sismik yansıma kesitlerinde 300 m derinliğe kadar bindirme zonlarının geliştiği görülmektedir. Bu veri Melikşah antiklinalinin bir rampa antiklinali olarak gelismis olabileceği yönündeki öngörüyü desteklemektedir. Kesitlerde bindirme hatları rahatlıkla yüzeye kadar uzatılabilmektedir (Şekil 4.11 ve 4.12). Bölgede aktif fayların varlığını kanıtlayan sıcak su kaynakları olduğu bilinmektedir (MUTLU ve GÜLEÇ, 1998, 39°C). Ankara kuzeydoğusu, kuzeyi ve kuzeybatısına ait aktif yapıların bütünleştirilmiş konumları Şekil 4.13'de sunulmuştur.


Şekil 4.1: Etimesgut depremi 30.04.2010 (M:3.5) ve artçılarının dışmerkez dağılımı.



Şekil 4.2: Etimesgut depremi 30.04.2010 (M:3.5) nin odak mekanizması çözümü.



Şekil 4.3: 30.04.2010 Etimesgut depremi ana şok ve artçılarının dizilimi K43D doğrultusunu vermektedir (Üst şekilde küçük harita). Bu doğrultuya dik alınan X-X'kesitinde odak derinliği / fay düzlemi ilişkisi Melikşah bölgesinin incelenmesi gerektiğini işaret etmektedir.



Şekil 4.4: Gümüşyayla-Melikşah arasının jeoloji haritası. T: Neojen öncesi temel, N: Neojen yaşlı sedimanter birimler, Q: Kuvaterner çökeller. Sarı renkli Melikşah-1 ve Melikşah-2 hatları sismik çalışmaların konumlarını göstermektedir.



Şekil 4.5: Gümüşyayla köyü civarında KD'ya bakış. Sol tarafta metamorfik temel ve sağ tarafta düşük eğimli Neojen sedimanter birimler arasında normal fay kırmızı ile işaretlenmiştir. Fotoğraf konumu için Şekil 4.4'e bakınız.



Şekil 4.6a: Melikşah-İkipınar yükseliminde Neojen kırmızı renkli konglomera ve çamurtaşı ardışımı.



Şekil 4.6b: Neojen yaşlı istifte laminalı açık kahverenkli kumtaşları.



Şekil 4.7a: Melikşah-İkipınar yükselimi batı kenarında normal fay yüzeyi ve faydan uzağa eğimli Neojen birimlerin tabakaları. Konum için Şekil 4.4'e bakınız.



Şekil 4.7b: Melikşah-İkipınar yükseliminin batı kenarını oluşturan normal faya ait ondulasyonlar. Hareket yönünün fayın doğrultusuna dik olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.8: Melikşah-İkipınar yükselimi doğu kenarında ters faylanma yüzeyi. Ondulasyon hareketin doğrultuya dik geliştiğini ve ölçek işaretinin hemen üstünde bulunan parçasının yarattığı saplanma izi tavan bloğun yukarı hareket ettiğini göstermektedir.



Şekil 4.9: Melikşah-İkipınar yükseliminin doğu kenarında kırmızı renkli konglomera-çamurtaşı ardışımının kısa mesafe içinde 45 dereceye kadar eğim kazanması.



Şekil 4.10: Gümüşyayla-Melikşah köyleri arasında enine jeolojik kesit. Konum için Şekil 4.4'e bakınız.



Şekil 4.11: Melikşah-1 sismik yansıma kesiti (yorumsuz ve yorumlu). Konum için Şekil 4.4'e bakınız.



Şekil 4.12: Melikşah-2 sismik yansıma kesiti (yorumsuz ve yorumlu). Konum için Şekil 4.4'e bakınız.



Şekil 4.13: Ankara kuzey doğusu, kuzeyi ve Kuzeybatısında aktif fayların ve kıstırılmış tektonik kamaların konumunu gösteren birleştirilmiş enine kesit.

# 5. ILICA FAY SETİ: JEOLOJİK GÖZLEMLER VE DEPREMSELLİK

Eskişehir Fay Zonu'nun doğu bölümü, Tuz Gölü'nün batısında üç fay setinden oluşur: Ilıca, Yeniceoba ve Cihanbeyli Fay Setleri (DİRİK ve EROL, 2003). Yeniceoba ve Cihanbeyli Fay setleri ÇEMEN vd. (1999) ve ÖZSAYIN ve DİRİK (2007) tarafından detaylı olarak incelenmiştir. Yeniceoba Fayı sağ yanal bileşene sahip verev atımlı normal fay karakterindeyken, Cihanbeyli Fayının normal fay karakterinde olduğu rapor edilmiştir (ÖZSAYIN ve DİRİK, 2007).

Yeniceoba ve Cihanbeyli faylarının kuzeyinde yer alan Ilıca Fayı, KOÇYİĞİT (1991) ve DİRİK ve EROL (2003)'un haritalarında görülür. KOÇYİĞİT'in (1991) Ilıca Fay Seti olarak isimlendirdiği yapılar üzerine bugüne dek yapılmış detaylı bir çalışma bulunmamaktadır.

Ilıca Fay Seti, bir önceki bölümde ayrıntılı olarak verilen Abdüsselam Kıstırılmış Tektonik Kaması ile ilişkili yapıları sınırladığı ve bu fayın güneyinde kıstırılmış kama yapısı gözlenmediği için bölgenin neotektonik çatısının anlaşılmasında önemli bir yer tutmaktadır.

## 5.1. Çalışma yöntemi

Ilıca Fay Setini analiz etmek için Google Earth, SRTM ve ASTER-GDEM uzaktan algılama verileri kullanılmıştır. Google Earth programından elde edilen uydu görüntüleri sahip oldukları yüksek mekansal çözünürlükle jeolojik çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle ikincil fayları-kırıkları ve dere ötelenmelerini incelemede bu yüksek çözünürlüklü görüntülerden yararlanılmıştır. SRTM ve ASTER-GDEM sayısal yükseklik modeli verileri fay parçalarının morfo-tektonik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. SRTM verisi yaklaşık 90 m mekansal çözünürlüğe sahipken, ASTER-GDEM yaklaşık 30 m çözünürlüğe sahiptir. Ankara Üniversitesi, Tektonik Araştırma Grubu'nda bulunan TNTmips uzaktan algılama-coğrafi bilgi sistemleri yazılımı, uzaktan algılama çalışmalarının bütün aşamalarında kullanılmıştır.

Uzaktan algılama çalışmalarının yanı sıra Ilıca Fayı boyunca arazi çalışmaları da gerçekleştirilmiştir. Böylelikle fayı arazide gözlemlemek ve kinematik veri toplamak mümkün olmuştur.



Şekil 5.1: a) Ankara çevresindeki ana neotektonik yapılar b) Bölgenin jeoloji haritası (MTA, 2002'den düzenlenmiştir).

### 5.2. Ilıca Fay Seti'nin alt bölümleri

Sağ yönlü doğrultu atımlı Ilıca Fayı yaklaşık 100 km uzunluğa sahiptir ve yaklaşık KB-GD doğrultusunda Yenimehmetli'den (Ankara'nın 70 km GB'sı) Tuz Gölü'nün B-KB'sına doğru uzanır (Şekil 5.1). Bu çalışmada fayların sıra düzenli (hiyerarşik) sınıflaması olarak fay zonu, fay seti, fay ve segment terimleri kullanılacaktır.

Ilıca Fay Setinin jeolojik ve jeomorfolojik verilere dayanarak 7 faydan meydana geldiği belirlenmiştir. Bunlar KB'dan GD'ya doğru sırasıyla Yenimehmetli, Ilıcaözü, İnler-Demirözü, Mangaldağı, Bumsuz, Kozanlı, Gözlek, and Pazarözü faylarıdır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2: İnceleme alanı. Ilıca Fay Setini oluşturan faylar beyaz çerçeveyle gösterilmiş alanlarda incelenmiştir a) Yenimehmetli, b) Ilıcaözü, c) İnler-Demirözü, d) Mangaldağı, e) Bumsuz, Kozanlı, Gözlek, ve Pazarözü. Jeolojik harita ile karşılaştırma için Şekil 5.1'e bakınız.

## a) Yenimehmetli Fayı

Yenimehmetli Fayı (Şekil 5.2) Jura-Kretase yaşlı rekristalize kireçtaşı-mermer içerisinde gözlenen neredeyse 90°'lik eğime sahip büyük bir sağ yönlü doğrultu atımlı fay yüzeyini içerir (Şekil 5.3). Bu bölüm içerisinde ayrıca yine rekristalize kireçtaşı-mermer üzerinde uydu görüntüsünde çok net olarak gözlenen ve hemen fay yüzeyinin yanında ve yaklaşık 1 km kuzeydoğusunda görülen kırıkların gül diyagramı üzerindeki konumları, bu kırıkların sağ yönlü ana fayla ilişkili ikincil kırıklar olma ihtimalini güçlendirmektedir (Şekil 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 ve 5.8).



Şekil 5.3: Yenimehmetli Fayına ait sağ yanal doğrultu atım gösteren yüzey.







Şekil 5.5: Yenimehmetli Fayının uydu görüntüsü. Konum için Şekil 5.4b'ye bakınız.













#### b) Ilıcaözü Fayı

Ilıcaözü Fayı morfolojik olarak Pliyosen yaşlı sedimanter birimler ile Kuvaterner alüvyon arasında net olarak gözlenir. Pliyosen yaşlı birimlerle alüvyon arasındaki sınır, bıçakla kesilmiş gibi bir doğrusallık gösterir (Şekil 5.9a). Bu bölümde faya ilişkin arazide ölçülmüş kinematik bir veri bulunmamakla birlikte Ilıcaözü Fayının burada morfolojik bir ifadesinin olduğu görülmektedir (Şekil 5.9b).



Şekil 5.9: a) Ilıcaözü Fayını gösteren uydu görüntüsü b) Aynı bölgenin topoğrafik verisi. Fay kırmızı çizgi ile gösterilmiştir. Konum için Şekil 5.2'ye bakınız.

### c) İnler-Demirözü Fayı

İnler-Demirözü Fayı (Şekil 5.2) Ilıca Fay Setinin dere ötelenmeleri, fay yüzeyleri ve breş ve kırıklanmayı içeren kataklastik zon gibi birçok yapısal özelliğini gösterir. Demirözü dere yatağının 14 km'lik keskin bir sağ yönlü yerdeğiştirme göstermesi İnler-Demirözü Fayının doğrultusuyla uyumludur, bu ötelenme görüntüsü akarsuyun fay hattına yerleşmesi nedeniyle olmalıdır çünkü Ilıcaözü fayı üzerindeki akarsu kollarında aynı miktarda ötelenme görülmez (Şekil 5.10).



Şekil 5.10: Demirözü deresinde gözlenen 14 km'lik yerdeğiştirme.

İnler-Demirözü bölümünün, morfolojiye ve dere ötelenmelerine dayanarak fayın tek bir hat olarak değil, sıçramalar yapan çeşitli uzunluklarda segmentler halinde olduğu görülmektedir (Şekil 5.11 ve 5.12). Derelerde dört yerde KB'dan GD'ya doğru sırasıyla 370, 200, 70 ve 270 m'lik sağ yanal ötelenmeler gözlenmektedir. 1/500 000'lik jeoloji haritasında (MTA, 2002) Paleosen yaşlı klastik birim olarak gösterilen birimin tabakaları bu bölüm içerisinde dikleşmiş durumdadır (Şekil 5.13). Üç yerde fay düzleminden kinematik veri elde edilmiştir. Sağ yönlü doğrultu atımlı fay özelliği gösteren bu düzlemlerin kinematik analizi kısalma ekseninin gidişinin yaklaşık KB-GD olduğunu göstermektedir. Eksenin bu konumu bölgesel yamulma yönelimiyle uyumludur.

İnler-Demirözü bölümünde gözlenen en önemli yapısal unsurlardan biri de iyi gelişmiş kataklastik zondur. Yaklaşık 20 m genişlikte ve 125 m uzunlukta gözlenen bu zon boyunca Orta

Jura-Kretase kireçtaşları, breşik özellikte parçalı ve kırıklıdır (Şekil 5.14). Bu breşik zon içerisinde makaslama kırıklarının konumu, kısalma ekseninin yaklaşık K10°B gidişli olduğunu göstermektedir (Şekil 5.15).







Şekil 5.12: İnler-Demirözü Fayına ait segmentlerde görülen dere ötelenmeleri. Konum için Şekil 5.11'e bakınız. Kataklastik zonun konumu yıldız ile gösterilmiştir.



Şekil 5.13: İnler-Demirözü Fay hattına ait bir segmentte gözlenen dikleşmiş tabakalar. segmentin konumu kırmızı çizgi ile gösterilmiştir.



Şekil 5.14: İnler-Demirözü Fayında gözlenen yaklaşık 20 m genişliğindeki kataklastik zon.



Şekil 5.15: Kataklastik zonda gözlenen makaslama kırıkları. Kalem, yaklaşık K10B gidişli daralma ekseninin durumunu göstermektedir.

## d) Mangaldağı Fayı

Mangaldağı Fayı uydu görüntüleri üzerinde açıkça görülmektedir (Şekil 5.16). Ana fay ve ilişkili ikincil faylar ve kırıklar (R, R', P ve X kırıkları) sağ yönlü doğrultu atım geometrisini yansıtmaktadır.

Bu bölümde Paleosen yaşlı kireçtaşlarında Mangaldağı Fayı üzerinde 1.4 km'lik sağ yönlü ötelenme görülür (Şekil 5.17). Mangaldağı Fayının uydu görüntüsünde izlenen çizgiselliğine göre yaklaşık 4 km uzunluğunda olduğu saptanmıştır. Faya yaklaşık dik konumda bulunan dereler batıdan doğuya sırasıyla 50, 60, 100 m sağ yanal yerdeğiştirme gösterirler, bu ötelenmelerin fayın son dönemdeki faaliyetleri ile ilgili olduğu düşünülmektedir (Şekil 5.18). KB-GD doğrultulu bu fayla ilişkili uydu görüntüsü üzerinde pek çok ikincil kırık belirlenmiştir. Bu kırıkların doğrultularının gül diyagramı üzerindeki gösterimi, bunların R, R', P ve X ikincil kırıklarına karşılık geldiğini göstermektedir (Şekil 5.19).







Şekil 5.17: Mangaldağı Fayının uydu görüntüsü. Yaklaşık 1.4 km'lik atım gözlenmektedir. Konum için Şekil 5.16b'ye bakınız. I, II ve III derelerdeki atımların konumlarını göstermektedir. Ayrıntı için Şekil 5.18'e bakınız.



Şekil 5.18: Mangaldağı Fayı üzerindeki sağ yanal dere ötelenmelerinin detay görüntüsü.





#### e) Bumsuz, Kozanlı, Gözlek, and Pazarözü Fayları

Mangaldağı Fayı ile Bumsuz Fayı arasında sıkışmalı bir sıçrama bulunmaktadır, bu alandaki topoğrafik farklılık Şekil 5.20 de D-D' kesitinde izlenebilir (sismik aktivite için izleyen bölüme bakınız). Bumsuz Fayı, Çeltikli ve Bumsuz köyleri arasında uzanır ve keskin topoğrafik fark ile belirgindir (Şekil 5.1 ve 5.20). Bu topoğrafik farklılık Samsam gölü kuzeyinde yok olur, fakat faya ait morfolojik belirti gölün güneyinde Kozanlı Fayı üzerinde tekrar ortaya çıkar. Samsam gölü Bumsuz ve Kozanlı fayları arasındaki genişlemeli sıçrama alanı içinde yeralmaktadır (Şekil 5.20, F-F' kesiti). Kozanlı Fayının GD ucunda küçük bir su birikintisi Gökgöl yer alır. Gökgöl, Kozanlı ve Gözlek fayları arasındaki sıkışmalı sıçrama nedeniyle gelişen basınç sırtının akarsuyun akışının engellenmesi neticesinde oluşmuştur (Şekil 5.20). Gözlek Fayı boyunca dere akışına devam eder. Gözlek Fayı ile Pazarözü Fayı rahatlamalı bir sıçrama yapar ve Pazarözü Fayı Ilıca Fay Setinin son elemanı olarak Tuzgölü ovasına girer.



Şekil 5.20: Bumsuz, Kozanlı, Gözlek ve Pazarözü faylarının SRTM görüntüsü. Faylar kırmızı çizgi ile gösterilmiştir. Konum için Şekil 5.2'ye bakınız.

### 5.3. Ilıca Fay Seti'nin depremselliği

Bölgede büyüklüğü 3'ün üzerinde olan ve Ilıca Fayı ile ilişkilendirilebilecek birçok deprem olmuştur. Bu depremlerin dağılımı Şekil 5.21'de görülmektedir. Çalışma alanında 1975 ile 2004 yılları arasında büyüklükleri 4.1 ile 4.5 arasında değişen beş adet deprem meydana gelmiştir (Tablo 5.1).



Şekil 5.21: Çalışma alanı ve yakın çevresindeki deprem etkinliği (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü katalog verisine göre). Odak mekanizması çözümleri için Tablo 5.2'ye bakınız.

| Boylam  | Enlem   | Yıl  | Ay | Gün | Saat | Dakika | Büyüklük | Derinlik |  |
|---------|---------|------|----|-----|------|--------|----------|----------|--|
| 32.1300 | 39.4500 | 1975 | 7  | 30  | 16   | 25     | 4.5      | 2.00     |  |
| 32.3000 | 39.4000 | 1983 | 1  | 21  | 21   | 52     | 4.5      | 10.00    |  |
| 32.9200 | 38.8500 | 1998 | 12 | 15  | 15   | 50     | 3.8      | 0.00     |  |
| 32.4000 | 39.3100 | 1999 | 8  | 30  | 6    | 51     | 4.1      | 2.00     |  |
| 32.8700 | 39.0900 | 2000 | 6  | 16  | 10   | 32     | 3.4      | 5.00     |  |
| 32.3800 | 39.1900 | 2000 | 9  | 1   | 10   | 31     | 3.7      | 32.00    |  |
| 33.0300 | 38.8000 | 2000 | 10 | 27  | 7    | 20     | 3.7      | 18.00    |  |
| 32.6487 | 39.1393 | 2003 | 12 | 3   | 15   | 24     | 3.3      | 9.00     |  |
| 32.6547 | 39.1928 | 2004 | 2  | 7   | 21   | 26     | 4.1      | 6.00     |  |
| 32.5862 | 39.2553 | 2004 | 2  | 8   | 3    | 26     | 3.4      | 5.00     |  |
| 32.5905 | 39.2037 | 2004 | 2  | 8   | 11   | 27     | 4.5      | 5.00     |  |
| 32.6288 | 39.2447 | 2004 | 2  | 8   | 19   | 36     | 3.5      | 13.30    |  |
| 32.5322 | 39.0875 | 2004 | 3  | 3   | 20   | 30     | 3.2      | 7.80     |  |
| 32.6520 | 39.0793 | 2004 | 3  | 20  | 0    | 11     | 3.1      | 7.00     |  |
| 32.2135 | 39.2172 | 2004 | 11 | 26  | 11   | 15     | 3.0      | 9.70     |  |
| 32.6238 | 39.1638 | 2005 | 9  | 8   | 19   | 50     | 3.4      | 18.10    |  |
| 32.5000 | 39.1593 | 2006 | 1  | 16  | 20   | 51     | 3.0      | 14.10    |  |
| 32.1683 | 39.4505 | 2007 | 1  | 2   | 11   | 8      | 3.0      | 2.70     |  |
| 32.4512 | 39.3532 | 2007 | 11 | 3   | 1    | 6      | 3.5      | 5.00     |  |
| 32.9818 | 38.8335 | 2007 | 12 | 26  | 15   | 6      | 3.2      | 7.40     |  |
| 32.4965 | 39.3235 | 2009 | 3  | 12  | 22   | 15     | 3.5      | 5.00     |  |
| 32.5708 | 39.1228 | 2009 | 5  | 11  | 4    | 40     | 3.5      | 5.00     |  |
| 32.8947 | 39.0807 | 2009 | 9  | 2   | 7    | 41     | 3.0      | 5.00     |  |
| 32.8378 | 39.1290 | 2009 | 9  | 2   | 23   | 43     | 3.3      | 5.00     |  |
| 32.8613 | 39.1383 | 2009 | 9  | 3   | 0    | 15     | 3.0      | 5.00     |  |
| 32.7848 | 38.9317 | 2009 | 9  | 26  | 7    | 33     | 3.2      | 29.40    |  |
| 32.7862 | 39.1087 | 2009 | 10 | 3   | 22   | 25     | 3.1      | 5.00     |  |
| 32.7913 | 39.1337 | 2009 | 10 | 16  | 12   | 23     | 3.1      | 5.00     |  |
| 32.8660 | 39.0990 | 2009 | 10 | 29  | 18   | 30     | 3.3      | 6.80     |  |

Tablo 5.1: Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nün 1900-2009 yılları arasında bölgede meydana gelmiş büyüklüğü 3'ün üzerinde olan depremlere ait katalog verisi.

Tablo 5.2: Odak mekanizması çözümleri.

|    |              |             |              |              |      |      | Düğüm Düzlemleri |         |                    |      |       |      |       |
|----|--------------|-------------|--------------|--------------|------|------|------------------|---------|--------------------|------|-------|------|-------|
|    |              |             |              |              |      |      |                  |         |                    |      | Р     |      | Т     |
| No | Tarih        | Zaman       | Enlem        | Boylam       | Der. | Mag. | Doğr.1(°)        | Eğ.1(°) | Y.Yat.1(°)         | Gid. | Dalım | Gid. | Dalım |
|    | (Gün/Ay/Yıl) | (GMT)       | <b>N</b> (°) | <b>E</b> (°) | (km) |      | Doğr.2(°)        | Eğ.2(°) | <b>Y.Yat.2</b> (°) | (°)  | (°)   | (°)  | (°)   |
| 1  | 07/02/2004   | 19:26:19.20 | 39.1928      | 32.6547      | 2.0  | 4.2  | 60               | 50      | 100                | 143  | 5     | 23   | 81    |
|    |              |             |              |              |      |      | 225              | 41      | 78                 |      |       |      |       |
| 2  | 08/02/2004   | 09:27:54.30 | 39.2037      | 32.5905      | 10.0 | 4.4  | 60               | 40      | 60                 | 351  | 8     | 238  | 69    |
|    |              |             |              |              |      |      | 277              | 56      | 113                |      |       |      |       |
| 3  | 06/03/2006   | 20:18:35.85 | 39.3628      | 32.0570      | 17.2 | 3.1  | 255              | 85      | -20                | 209  | 18    | 303  | 10    |
|    |              |             |              |              |      |      | 347              | 70      | -175               |      |       |      |       |
| 4  | 13/12/2007   | 18:06:18.70 | 38.8267      | 33.0507      | 5.0  | 4.9  | 140              | 65      | -140               | 360  | 45    | 263  | 6     |
|    |              |             |              |              |      |      | 30               | 54      | -31                |      |       |      |       |
| 5  | 29/05/2010   | 13:47:12.07 | 39.3162      | 31.9940      | 7.2  | 3.1  | 315              | 85      | 160                | 3    | 10    | 260  | 18    |
|    |              |             |              |              |      |      | 47               | 70      | 5                  |      | 10    | 209  |       |
Çalışılan alanda Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü verisi kullanılarak bu proje kapsamında üretilen odak mekanizması çözümlerinden ikisi 07.02.2004 (M4.1) ve 08.02.2004 (M4.5) Şekil 5.22'de verilmiştir. Bu depremlerinin dış merkezleri Mangaldağ Fayı ile Bumsuz Fayı arasındaki sıkışmalı sıçrama alanında yer alır. Odak mekanizması çözümleri sıkışmalı alanla uyumlu ters faylanmayı işaret etmektedir (Şekil 5.21 ve 5.22).



Şekil 5.22: a) 07.02.2004 (M4.1) ve b) 08.02.2004 (M4.5) depremlerinin proje kapsamında üretilmiş odak mekanizması çözümleri.

#### 5.4. Ilıca Fay Seti üzerinde sismik yansıma çalışmaları

Eskişehir Fay Zonu'nun güneydoğu bölümünü oluşturan ve zonun Ankara'ya en yakın parçası olan Ilıca Fay Seti sağ yönlü doğrultu atımlı bir faylardan oluşmaktadır. Kazan'dan Polatlı'nın güneyine kadar izlenen Abdüsselam Kıstırılmış Tektonik Kaması ile ilişkili sıkışma yapıları, Ilıca Fay Setinin KB ucunda yer alan Yenimehmetli Fayı devamında sonlanır ve Eskişehir Fay Zonu'nun güneyinde gözlenmezler. Bu özelliği ile, Ilıca Fay Setini de içeren Eskişehir Fay Zonu'nun, kuzeyinde yer alan sıkışma yapılarını sınırlandıran bölgesel bir önemi vardır.

Morfolojik veriler ve bölgenin depremselliği, Ilıca Fay Setinin günümüzde de etkin bir yapı olduğunu gösterir. İnler-Demirözü Fayında yer alan kataklastik zonun bulunduğu alanda faya dik konumda birbirinin devamı olacak şekilde iki sismik yansıma çalışması yapılmıştır (5.23 ve 5.24).

Demirözü-1 sığ sismik yansıma kesitinde sismik seviyelerin parçalanmış antiklinal yapıları doğrultu atımlı faylara özgü pozitif çiçek yapıları olarak yorumlanmıştır, kesitin GB ucuna yakın kataklastik zona karşılık gelen alanda ise yoğun faylanma dikkat çekmektedir (Şekil 5.25). Faylanmalar yüzeye kadar ulaşmaktadır.



Şekil 5.23: İnler-Demirözü Fayı üzerinde sismik yansıma kesit hatlarının konumu. Seçilen yer kataklastik zonun gözlendiği Demirözü ve Mollaresul köyleri arasında vadi içinde yer almaktadır.



Şekil 5.24: İnler-Demirözü Fayında balyoz kullanılarak yapılan sismik yansıma çalışması.



Şekil 5.25: Demirözü-1 sismik yansıma kesiti (Yorumsuz ve yorumlu). Hattın GB ucu kataklastik zon üzerinden geçmektedir. Konum için Şekil 5.23'e bakınız.

Demirözü-1 kesiti devamında ikinci sismik yansıma hattı yapılmış dere üzerinden geçerken veri kaybı olmaması için özel bir dizayn gerçekleştirilerek dere altında görüntülenme sağlanmıştır (Şekil 5.26).



Şekil 5.26: 48 Kanal / 25 Atışa ait 'Walk-Away' Arazi Düzeni ve CDP Çizelgesi (Derenin altını görüntülemek için özel serim).

Demirözü-2 sismik yansıma kesiti, Demirözü-1 kesitine göre tektonik açıdan daha sakin görünmektedir. Katrancı derenin her iki kenarında 75m derinlikten itibaren belirgin olarak gözlenen iki fay segmenti yine pozitif çiçek yapısına ait özellikler bulundurmaktadır (Şekil 5.27). Çalışma alanında sismik kesitlere göre ana fay zonu kataklastik zon ve dere arasında yeralmaktadır.



Şekil 5.27: Demirözü-2 sismik yansıma kesiti. Konum için Şekil 5.23'e bakınız.

### 6. AKARLAR FAYI VE ELDİVAN-ELMADAĞ KISTIRILMIŞ TEKTONİK KAMASI

SEYİTOĞLU vd. (2000; 2009) Eldivan-Elmadağ Kıstırılmış Tektonik Kamasının (Eldivan-Elmadağ Pinched Crustal Wedge) bir neotektonik yapı olarak Kuzey Anadolu Fay Zonu ile Kırıkkale-Erbaa Fay Zonu arasında oluşan KB-GD yönlü daralmanın – sıkışmanın sonucu olarak meydana geldiğini öne sürmektedir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1: Eldivan-Elmadağ Kıstırılmış Tektonik Kamasının (EPCW), Kuzey Anadolu Fay Zonu (NAFZ) ile Kırıkkale-Erbaa Fay Zonu (KEFZ) arasındaki konumu (SEYİTOĞLU vd., 2009'dan alınmıştır).

Eldivan-Elmadağ Tektonik Kamasının güney bölümü bu öngörünün test edilmesi için uygun alanlardan biridir. Eğer bu öngörü doğru ise Eldivan-Elmadağ Kıstırılmış Tektonik Kaması Kırıkkale-Erbaa Fay Zonu doğrultusu ile sınırlandırılmış olmalıdır. Diğer bir deyişle kamanın doğu kenarını oluşturan bindirme fayları ve bunlardan etkilenen deforme olmuş Neojen birimler Kırıkkale-Erbaa Fay Zonunun güneyinde gözlenmemelidir. Gerçekten de Elmadağ-Eldivan Kıstırılmış Tektonik Kamasının çoğunlukla yeniden aktive ettiği Neo-Tetis kenet zonu kayaçları Elmadağ güneyinde Kırıkkale Erbaa Fay Zonu hizasında sonlanmaktadır. Bu alanda yapılan ayrıntılı çalışmada (İLERİ, 2007), Geç Miyosen- Pliyosen(?) yaşlı sedimanter birimi (SARAÇ, 2003) kesen KKD gidişli bindirme fayı Elmadağ-Eldivan Tektonik Kıstırılmış Tektonik Kamasının doğu kenarı olarak yorumlanmıştır (Şekil 6.2). Bu bindirme, sağ yanal Akarlar Fayına kadar devam etmektedir. Yayla ve Akarlar köyleri arasından geçen derelerde sağ yanal ötelenmeler yaratan yanal sıkıştırmalı Akarlar fayı, kuzey bloğun yükselmesine ve derelerin dibe doğru hızla kazımasına neden olmuştur. Bu fayın güneyinde bindirme fayı gözlenmemektedir (Şekil 6.2).



Şekil 6.2: Akarlar çevresinin jeoloji haritası (SEYİTOĞLU vd., 2009'dan alınmıştır). Akarlar sismik yansıma kesit hattının konumu kırmızı çizgi ile gösterilmiştir.

Bu durum Eldivan-Elmadağ Tektonik Kamasının neotektonik bir yapı olduğunu göstermektedir. Akarlar fayı Google Earth görüntülerinde oldukça belirgindir ve gri ile kırmızı renkli birimleri yan yana getirmiştir. Faya ait yapısal veriler SEYİTOĞLU vd. (2009)'da yayınlanmıştır. Bu proje kapsamında fay üzerinde sismik yansıma çalışmaları yapılmıştır (Şekil 6.2). Sismik kaynak olarak balyoz kullanılmış ve jeofon aralıkları 2m seçilmiştir. Sismik hattın geçtiği alanda fayın iki tarafındaki birimlerde renk değişimi açıktır, ancak her iki taraf da konglomeratik birimlerden oluşmaktadır (Şekil 6.3). Bu nedenle sismik yansıma kesitinde ilk bakışta fay kolayca fark edilemez. Fayın belirlenebilmesi için önce sismik seviyelerde pozitif çiçek yapısına karşılık gelen antiklinal yapıları dikkatle çizilmiş ve bunu oluşturan yanal atımlı sistem yorumlanmıştır (Şekil 6.4).



Şekil 6.3: Sismik hattın geçtiği alanda fayın iki tarafındaki konglomeratik birimlerde gözlenen renk değişimi.



Şekil 6.4: Akarlar sismik yansıma kesitinin a) yorumsuz b) yorumlanmış hali. Kesit hattı konumu için Şekil 6.2'ye bakınız.

## 7. TUTGA VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu proje kapsamında ve önceki çalışmalarımıza ait veriler derlendiğinde KB İç Anadolu neotektonik çerçevesinde sağ yönlü Kuzey Anadolu Fay Zonu, Kırıkkale-Erbaa Fay Zonu ve Eskişehir Fay Zonu arasında kalan üçgene benzer alanda doğu kenarı bindirme faylı, batı kenarı normal faylı Eldivan-Elmadağ Kıstırılmış Tektonik Kaması (SEYİTOĞLU vd., 2009) ile Abdüsselam Kıstırılmış Tektonik Kaması ve Beypazarı-Çayırhan monoklinali tanımlanmıştır (ESAT ve SEYİTOĞLU, 2010; ESAT, 2011). Bu yapılardan elde edilen verilerden ve depremlerin odak mekanizması çözümlerinden bu üçgene benzer alan, KB-GD yönlü daralma altında olan neotektonik bölge olarak tanımlanmıştır (Şekil 7.1).



Şekil 7.1: Taralı renkli alan KAFZ, KEFZ ve EFZ arasında bulunan KB Orta Anadolu Sıkışma Bölgesi'ni gösterir. Kırmızı çizgiler aktif fayları, mavi çizgiler kıvrım eksenlerini gösterir. Bu alan içerisinde, odak mekanizması çözümü olan depremlerin konumları sarı karelerle gösterilmiş ve numaralandırılmıştır. Odak mekanizması çözümlerindeki siyah oklar daralma (P) ekseninin, beyaz oklar genişleme (T) ekseninin yatay izdüşümlerini gösterir.

Proje kapsamında satın alınan 69 adet TUTGA (GPS) istasyon verisinden yararlanılarak aynı bölgede bir yamulma analizi gerçekleştirilmiştir. Yamulma eksenlerini elde etmeye yönelik olarak üçgenler oluşturulmuş ve bunların merkezindeki ana yamulma değerleri hesaplanmıştır.

Bu sonuçlar üzerinde yapılan istatistiksel hata analiziyle, elde edilen değerlerin %95 ve %99 güven aralığı düzeyinde anlamlı olup olmadıkları kontrol edilmiş buna göre güvenilir olan ana yamulma değerlerine ait üçgen alanları renklendirilerek harita üzerinde gösterilmiştir (Şekil 7.2a, b ve c).

Yamulma eksenlerinin durumlarına bakıldığında Kuzey Anadolu Fay Zonu, Eskişehir Fay Zonu ve Kırıkkale-Erbaa Fay Zonu arasında kalan bölgede daralma eksenlerinin doğrultusunun KB-GD olduğu görülmektedir. Genişleme eksenleri de bu doğrultuya dik olacak şekilde KD-GB doğrultuludur. Bu bölge içerisinde üçgen alanlarda daralma miktarı çoğunlukla genişlemeden daha büyüktür. Özellikle Kuzey Anadolu Fay Zonu ile ilişkili yüksek yamulma değerleri güneye doğru gittikçe azalır. Eskişehir ve Kırıkkale-Erbaa Fay Zonlarının güneyinde yamulma miktarları oldukça düşüktür.

Proje kapsamında ve öncesinde çalışma grubumuzca Ankara çevresinde tanımlanan yapılarla, GPS verisinden elde edilen ve bölgede günümüzdeki deformasyon hakkında bilgi veren yamulma eksenlerinin konumları son derece uyumludur. Her ne kadar minimum yamulma ekseni (EPS2) değeri istatistiksel olarak güvenilir olmasa da, Bala bölgesini de içine alan AYAG-PASD-IRMA üçgenindeki genişleme ekseninin konumunun arazi ve sismolojik verilerden elde edilen genişleme ekseninin konumuyla uyumu da dikkat çekicidir (Şekil 2.22 ve Şekil 7.2a,b,c).







Şekil 7.2b: TUTGA verilerinden elde edilmiş ana yamulma eksenleri. Üçgenlerin minimum yamulma eksen değerlerine göre (EPS2) %95 güven aralığında olan üçgenler turuncu, %99 olanlar yeşille gösterilmiştir.





Bölgede belirlenen ana yapılardan faydalanarak KB İç Anadolu bloklara ayrılarak proje kapsamında blok modelleme çalışması yapılmıştır (Şekil 7.3). Ayrıca, GPS hız vektörleri de Şekil 7.4'te gösterilmiştir. Blok modellemeye ait detaylar AKTUĞ vd. (2012)'de sunulmuştur. Bölgede varlığı ortaya konan tektonik kamaların sınırlarını oluşturan bindirme ve normal faylı sınırların ayrı ayrı gösterilmesine yeterli yoğunlukta istasyon verisi olmadığından olanak yoktur. Bunlar zorunlu olarak tek hat olarak blok sınırı kabul edilmiştir. Blok modellemede blok sınırlarını oluşturan hat üzerindeki her bir kırıklık bir segment olarak ele alınmaktadır. Modelleme blokların blok sınırlarında elastik deformasyon gösterdiği, blok içlerinde ise rijit davrandığı varsayımı ile yapılmaktadır. Kayma hızlarının değerlendirilmesinde üstteki değerler fayın doğrultusu boyunca kayma hızını vermekte olup, (-) değerler sağ yanal, (+) değerler sol yanal hareketi göstermektedir. Alttaki değerler ise faya dik yönde kayma hızının istatistiksel değerler genişleme, (+) değerler daralma olarak kabul edilir. Kayma hızlarının istatistiksel değerler %99, turuncu değerler %95 güven aralığındadır. Siyah değerler ise istatiksel olarak anlamsızdır.

Çalışma alanının KB'sında Kuzey Anadolu Fay Zonunun güney kolu halen incelemede olan bir makalemizden alınmış (SEYİTOĞLU vd. incelemede) olup, orta kolu oluşturan hat, blok içinde 3 istasyon şartını sağlayamadığı için çizilmemiştir. Dolayısı ile Kuzey Anadolu Fay Zonunun güney kolu üzerindeki kayma hızının abartılı olduğu düşünülmektedir.

Blok modellemede projemizi ilgilendiren en çarpıcı sonuç, Eldivan-Elmadağ ve Abdüsselam Kıstırılmış Tektonik Kamaları ile Beypazarı-Çayırhan monoklinalini temsil eden hatların üzerinde - ki bunlar doğrultu atımlı faylardan uzak segmentlerdir (ETK-3, ETK-4, ETK-5; ATK-2, ATK-3; BÇM-3) - hatlara dik yöndeki bileşene ait kayma hızının yanal bileşenden daha büyük olmasıdır. Bu durum önerilen tektonik kama modelinin çalıştığının göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Yukarıda belirtildiği üzere tektonik kamanın doğu tarafı bindirme, batı kenarları normal faylarla sınırlandığı için ve bu yapı modellemede tek bir çizgi olarak temsil edildiğinden dolayı kayma değerinin daralma veya genişleme göstermesi ikincil önemdedir. Bölgede önerilen tektonik modeli test etmek açısından önemli olan hatta dik yöndeki bileşenin daha büyük olmasıdır. Bununla birlikte Eldivan-Elmadağ Tektonik Kamasının daralma gösteren maksimum kayma hızı ETK-4 segmentinde %99 güvenle 12.5±3.2 mm/yıl değerine erişmektedir. Bu sonuç Eldivan-Elmadağ Tektonik Kamasının özellikle Ankara ve Çankırı gibi büyük yerleşimler için deprem kaynağı olarak dikkate alınması gerektiğine işaret etmektedir. Bu yapıyı çalışma alanında Abdüsselam Kıstırılmış Tektonik Kaması ve Beypazarı-Çayırhan hattı izlemektedir.









## 8. TARTIŞMA

Bu bölümde projeden elde edilen sonuçların MTA tarafından yeni yayınlanan diri fay haritası (EMRE vd. 2012) ve varsa o yöredeki diğer jeolojik çalışmalar ile karşılaştırılması yapılarak, MTA diri fay haritasının ileride yapılması muhtemel iyileştirilme çalışmalarına katkı sağlayacak veri tabanı oluşturulması düşünülmüştür.

Bala bölgesi:

2005 ve 2007 Bala depremleri ile gündeme gelen bu alanda bazı faylar yeni diri fay haritasında gösterilmiştir (EMRE vd., 2011a) (Şekil 8.1a). Araştırma Grubumuzun verileri ile karşılaştırıldığında bazı farklılıklar göze çarpmaktadır (Şekil 8.1b). Bunlardan en önemlisi Karakeçili Fayının türü hakkındaki farklı değerlendirmelerdir. EMRE vd., (2011a)'ya göre Karakeçili Fayı bazı alanlarda KB'ya eğimli ters fay veya bindirme olarak gösterilmiştir. Oysa bu proje kapsamında sunulan çalışmalarımız bu fayın D-GD'ya eğimli normal fay olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 8.1b).

EMRE vd., (2011a)'da Bala depremlerinin kaynağı olarak Bala Fayı olarak isimlendirilen aktif sağ yanal doğrultu atımlı tektonik hat Yığınözü dere içinde gösterilmiştir. Bu proje kapsamında ve öncesinde yapılan çalışmalar ise (ESAT vd., 2014), Afşar Fayını daha GB'daki Kadıkuyu dere içinde tanımlamıştır. Bala Fayının Yığınözü dere içinde EMRE vd. (2011a) tarafından hangi kriterlere göre çizildiği tarafımızca bilinmemekte olup, varlığını yanlışlayacak herhangi bir sismik yansıma çalışması bulunmamaktadır, bununla birlikte çalışma grubumuzca tanımlanan Afşar Fayı'nın bu proje kapsamında sismik yansıma verileri ile saptanmış olması, konumları yeniden hesaplanmış dış merkez lokasyonlarına daha yakın bulunması nedenleriyle ileride yapılacak diri fay haritaları çalışmalarında dikkate alınması gerekmektedir (Şekil 8.1b).

2005 ve 2007 Bala depremleri ile ilgili yayınlanan makalelerden KOÇYİĞİT (2009) ve TAN vd. (2010)'da bölgeye ait sismotektonik haritalar sunulmuştur. Depremlerin kaynağı olarak KB-GD sağ yanal ve KD-GB sol yanal doğrultu atımlı faylar gösterilmiştir. Bu çalışmalardaki Çatalören Fayının sol yanal doğrultu atımlı GD'ya eğimli bir fay olduğu görülmekte olup, konum olarak sadece Bahçekaradalak köyü civarında bu projede sunulan Karakeçili Fayı ile örtüşmektedir, fayın daha KD'ya olan uzanımı KOÇYİĞİT (2009) ve TAN vd. (2010) çalışmasında verilmediği için değerlendirme yapmak güçtür. Bununla birlikte fayın türü hakkında hem Çatalçeşme sismik yansıma hattından hem de arazide elde edilen yapısal verilerimiz nedeniyle söz konusu iki makalede bildirilen fay türü hakkında farklı görüşte olduğumuz açıktır (bakınız Bölüm 2 ve ESAT vd. 2014) (Şekil 8.1c).

KOÇYİĞİT (2009) ve TAN vd. (2010)'da verilen kalın çizgi ile belirtilen bir sıçrama yapmadan devamlı bir hat olarak çizilen ana Afşar Fayı lokasyonu ile bu proje tarafından çizilen Afşar Fayı konumu farklılık göstermektedir (Şekil 8.1c). Ancak Kızılözü Fayı ile bu projede haritalanan fay arasında örtüşme bulunmaktadır. KOÇYİĞİT (2009) haritasında bölgedeki fay hatlarının çoğunluğunun ancak düşey faylarda görülebilecek biçimde doğrusal olarak çizilmiş olması bu proje kapsamında haritalanan faylar ile en belirgin farklılıklardan birini oluşturmaktadır. Ayrıca sismolojik yönden TAN vd. (2010) makalesinde sunulan 30.07. 2005 depremi dış merkez konumu ile bu projede sunulan dışmerkez konumu arasında çok belirgin fark bulunmaktadır (Şekil 8.1c).



Şekil 8.1a: Bala bölgesinin diri fay haritası (EMRE vd., 2011a).



Şekil 8.1b: Bala civarında haritalanan aktif fayların karşılaştırılması. Konum ve fay türü farklılıklarına dikkat ediniz. Kırmızı, siyah ve mor hatlar EMRE vd. (2011a)'ya, mavi hatlar için bu proje Bölüm 2 ve ESAT vd. (2014)'e bakınız.



Şekil 8.1c: Bala civarında haritalanan fayların karşılaştırılması. Konum ve fay türü farklılıklarına dikkat ediniz. Siyah hatlar KOÇYİĞİT (2009) ve TAN vd. (2010)'a aittir. Mavi hatlar için bu proje Bölüm 2 ve ESAT vd. (2014)'e bakınız.

Abdüsselam Kıstırılmış Tektonik Kaması ve Ankara Kuzeyi:

Abdüsselam dağı, Mürted ovası ve Ankara kuzeyinde 1900 – 2013 yılları arasındaki depremselliğe bakıldığında büyüklüğü 3-5 arasında depremlerin yeraldığı görülür. MTA diri fay haritaları Bolu ve Ankara paftalarında (EMRE vd., 2011b; c) ise bu depremselliği açıklayabilecek herhangi bir tektonik hat bulunmamaktadır (Şekil 8.2a).

Proje kapsamında üzerlerindeki anahtar lokasyonlar çalışılan Abdüsselam Kıstırılmış Tektonik Kaması ve Melikşah-İkipınar yükselimi Şekil 8.2b'de sunulmuştur. Ancak tüm depremselliğin bu yapılarla açıklanması mümkün olmayıp, özellikle Ankara kuzeyinde çalışmaların devam etmesine ihtiyaç vardır. GPS verileri ile yapılan blok modelleme çalışmasına göre Abdüsselam Kıstırılmış Tektonik Kamasını temsil eden hat'a dik yöndeki kayma hızları %95 güven aralığında 3.4±1.8 mm/yıl ve 4.0±2.3 mm/yıl olarak saptanmıştır (ayrıntı için Bölüm 7 ve Şekil 7.3'e bakınız).



Şekil 8.2a: Mürted ovası ve Ankara kuzeyinde 1900-2013 tarihleri arasındaki sismik aktivite (Kandilli Deprem Araştırma Enstitüsü verisi). MTA diri fay haritasında bu alandaki depremselliği açıklayan herhangi bir aktif fay tanımlanmamıştır (EMRE vd., 2011b; c).



Şekil 8.2b: Abdüsselam Kıstırılmış Tektonik Kaması ve Melikşah-İkipınar Yükselimini sınırlayan aktif faylar (ayrıntılı bilgi için Bölüm 3 ve 4'e bakınız).

Abdüsselam Kıstırılmış Tektonik Kamasının GB uzanımı üzerinde proje kapsamında sismik yansıma çalışması yapılmamıştır. Bu uzanım Çile Dağı ve Dua Tepe doğusundan geçmekte olup, (ESAT 2011) Ilıca Fay Seti tarafından sonlandırılmaktadır (Şekil 8.2c). Bu durum Eskişehir Fay Zonunun, Batı Anadolu'daki genişlemeli tektonik ile KB İç Anadolu'daki sıkışmalı alanını ayıran bir tektonik hat olduğunu ve bölgesel önemini ortaya koyar.

Ilıca Fay Seti:

Eskişehir Fay Zonu'nun Tuz Gölü'ne bağlanan GD bölümü için MTA diri fay haritalarının Ankara ve Ilgın paftalarında sadece Cihanbeyli Fayı yer almaktadır. Bununla birlikte proje kapsamında çalışılan Ilıca Fay Setinin içinde yer alan sadece Bumsuz Fayı diri fay haritasında gösterilmiştir (EMRE vd., 2011c; d) (Şekil 8.3a). Ayrıntılı olarak çalışılan Ilıca Fay Seti karşılaştırma amacıyla sunulmuştur (Şekil 8.3b).



Şekil 8.2c: Abdüsselem Kıstırılmış Tektonik Kamasının GB uzanımı. (ESAT 2011)'den alınmıştır.



Şekil 8.3a: MTA diri fay haritası Ankara ve Ilgın paftalarının bir bölümü (EMRE vd., 2011c; d). Bölgenin depremselliği için Bölüm 5'e bakınız.



Şekil 8.3b: Proje kapsamında çalışılan Ilıca Fay Seti'nin (mavi hatlar) MTA diri fay haritası ile karşılaştırılması (Ilıca Fay Seti ayrıntısı için Bölüm 5'e bakınız).

Akarlar Fayı ve Eldivan-Elmadağ Kıstırılmış Tektonik Kaması:

Proje kapsamında yapılan blok modelleme çalışmalarında (bakınız Bölüm 7) Eldivan-Elmadağ Kıstırılmış Tektonik kamasını temsil eden hat'a dik yönde kayma hızı %99 güven aralığında 12.5±3.2 mm/yıl değerine ulaşmaktadır. Bu kamanın güney sınırını oluşturan Akarlar Fayı (SEYİTOĞLU vd. 2009), MTA diri fay haritasına temel olan Kırşehir ve Ankara paftalarında (EMRE vd., 2011a; c) yer almamıştır (Şekil 8.4a).

Çankırı paftasında (EMRE vd., 2011e) ise Eldivan-Elmadağ Kıstırılmış Tektonik Kamasının sadece bindirme faylı doğu kenarına kısmen karşılık gelen Çankırı Fayı gösterilmiştir (Şekil 8.4a). Oysa bu alana ait detay jeolojik haritalar 1997-2009 yılları arasında yayınlanmıştır, bu yayınlarda diğer araştırma gruplarının ürettiği haritalar ve vardıkları sonuçlar da tartışılmaktadır (SEYİTOĞLU vd., 1997; ŞEN vd., 1998; KARABIYIKOĞLU, 2000; SEYİTOĞLU vd., 2000; ÖZCAN, 2003; SAVAŞÇI, 2003; KARADENİZLİ vd., 2003; ESAT, 2004; SAVAŞÇI ve SEYİTOĞLU 2004; SEYİTOĞLU vd., 2004; ÖNAL vd., 2006; İLERİ, 2007; ÖZCAN vd. 2007; SEYİTOĞLU vd., 2009). MTA diri fay haritası Çankırı paftasında sunulan Çankırı Fayı, bölgede kaydedilmiş deprem aktivitesinin tamamını açıklamaktan uzaktır. Sismolojik verilerden Şekil 8.4a'da görüldüğü üzere hem normal hemde bindirme faylara ait odak mekanizması çözümleri elde edilmiştir (detay için SEYİTOĞLU vd., 2009'a bakınız).

Eldivan-Elmadağ Kıstırılmış Tektonik Kamasına ait faylar ve Akarlar Fayı, MTA diri fay haritası karşılaştırma amacıyla birlikte sunulmuştur (Şekil 8.4b). Kamanın doğu kenarı ile MTA diri fay haritasında çizilen Çankırı Fayı kısmen örtüşmekle birlikte tektonik kamanın batı kenarını oluşturan normal fayların uzanımları Hançili köyü civarı haricinde MTA tarafından gösterilmemiştir. Ayrıca Elmadağ ve Kalecik arasındaki bölgenin haritalanmasının tamamlanması gerekmektedir. Özellikle Kırıkkale-Erbaa Fayının da bu bölgedeki uzantısının dikkate alınarak çalışılmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Eldivan-Elmadağ Kıstırılmış Tektonik Kamasının Kuzey Anadolu Fay Zonuna nasıl bağlandığı problemi ise Tektonik Araştırma Grubumuzda bir doktora tezi olarak Oktay Parlak tarafından çalışılmaktadır.









# 9. SONUÇLAR

Önceki çalışmalarımız ile elde edilen bilgiler ışığında ve bu projedeki çalışmalarımız ile Ankara çevresindeki aktif faylar anahtar lokasyonlarda detaylı olarak incelenmiştir. Projenin önemli sonuçlarından biri, Ankara ve yakın çevresini etkileyecek, üzerinde büyük depremlerin olduğu Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun haricinde, şehir merkezine çok yakın olan aktif tektonik yapıların tanımlanmış olmasıdır.

En genç Kuvaterner birimlerini etkileyen Abdüsselam Kıstırılmış Tektonik Kamasına ait faylar Ankara'nın batı bölümünde yer alır. GPS verilerinden yapılan blok modelleme çalışmalarında bu kamayı temsil eden hat'a dik yönde kayma hızı %95 güven aralığında 3.4 - 4.0 mm/yıl olarak bulunmuştur. Bu sonucun Yenikent'te görülen yoğun yapılaşma için dikkate alınması gerekir. Ayrıca Mürted ovasında bulunan Akıncı hava üssü ve TAI tesisleri ovanın batı kenarındaki bindirme fayları ve doğu kenarındaki normal fayların etki alanında bulunmaktadır. Bu fayların üzerinde deprem tekrarlanma aralıklarının saptanması için en kısa zamanda paleosismolojik çalışmaların yapılması gereklidir.

Benzer şekilde şehrin kuzeydoğu bölümünde Etimesgut depremleriyle de ilişkili olduğu düşünülen Çubuk-Melikşah civarındaki fayların bölgedeki sıcak su çıkışları da dikkate alındığında aktif olarak değerlendirilmesi mümkündür. Bu tektonik hattın kuzey ve güneyde devamlı olup olmadığı araştırılmalıdır.

Ankara'nın güney ve güneybatısında yer alan Eskişehir Fay Zonu'nun GD ucunu oluşturan Haymana güneyindeki Ilıca Fay Seti ile Bala'daki Afşar ve Karakeçili Fayları da bölgeyi etkileyen diğer önemli deprem kaynaklarıdır (bakınız Bölüm 2 ve 5'teki odak mekanizması çözümleri). Özellikle 5'ten büyük deprem üreten Afşar Fayı'nın konumu dikkate alınarak Bala bölgesinde yapılaşma için önlem alınması önemlidir.

Blok modelleme çalışmalarında üzerinde %99 güven aralığında 12.5 mm/yıl gibi önemli kayma hızı bulunduran segment içeren Eldivan-Elmadağ Tektonik Kaması, Ankara ve Çankırı şehirleri için önemli deprem kaynaklarından biri olarak ortaya çıkmaktadır. Eldivan-Elmadağ Tektonik Kamasını güneyden sınırlandıran Akarlar Fayı da aktif olduğu düşünülen bir yapıdır. Başkent Ankara'nın deprem tehlike analizi çalışmalarında bu yapıların dikkate alınmasının önemli olduğunu düşünmekteyiz.

Son söz olarak vurgulamak isteriz ki aktif fay çalışmaları jeoloji ve jeofizik mühendislerinin ortak çalışmaları ile daha üst düzeyde sonuçlar vermektedir. Yerbilimleri camiasının depremlerle meydana gelen yüzey kırıklarını haritalaması onları kayıt altına alması önemlidir, ancak daha önemli olanı depremlerin arkasından gitmek yerine, depremlerden önce tehlikeyi öngören seviyeye ulaşması önemlidir. İçinde yaşadığımız zaman diliminde veya tarihsel dönemlerde önemli deprem üretmemiş fayların ortaya çıkarılması ve bunların paleosismolojik yöntemler ile incelenmeye hazır hale getirilmesi önemli bir aşamadır. Bala örneğinde olduğu gibi tarihsel dönemde ve 2005 yılına kadar içinde yaşadığımız dönemde önemli sismik aktivite göstermeyen hatların aktif hale geldiğini izlemekteyiz. KB İç Anadolu'nun sismik aktivesinden görüleceği üzere Anadolu levhasının iç deformasyonunu açıklamaya çalışan, daha iyi hale getirilebilir veya yanlışlanabilir bir tektonik model ve onun ana hatları üzerindeki kayma hızlarına bu proje ile ulaşılmış bulunmaktadır.

#### 9. REFERANSLAR

- AKÇAY, A.E., Dönmez, M., Kara, H., Yergök, A.F., Esentürk, K., Kırşehir-J30 paftasının jeoloji haritası (1/100000 ölçekli), *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara*, (2008).
- AKTUĞ, B., Parmaksız, E., Kurt, M., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., Gürdal, M.A., Özdemir, S., Deformation of Central Anatolia: GPS Implications, *Journal of Geodynamics*, http: //dx.doi.org/ 10.1016/ j.jog.2012.05.008, (2012).
- AKYÜZ, H.S., Uçarkuş, G., Şatır, D., Dikbaş, A., Kozacı, Ö., 3 Şubat 2002 Çay depreminde meydana gelen yüzey kırığı üzerinde paleosismolojik araştırmalar, *Yerbilimleri*, 27(1), 41-52, (2006).
- BARKA, A., Reilinger, R., Active tectonics of the Eastern Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic and seismicity data, *Annali di Geofisica*, 40, 587-610, (1997).
- BAŞOKUR, A.T., Gökten, E., Seyitoğlu, G., Varol, B., Ulugergerli, E.U., Işık, V., Candansayar, E., Tokgöz, E., Jeoloji ve jeofizik çalışmalar ışığında 03.02.2002 Çay (Afyon) depremi'nin mekanizması, hasarın nedenleri ve bölgenin deprem etkinliği, Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayını, (2002). 56s.
- BENDA, L., Grundzüge einer pollenanalytischen Gliederung des türkischen Jungtertiärs, *Beihefte zum Geologischen Jahrbuch*, 113, 46s., (1971).
- BENDA, L., Innocenti, F., Mazzuoli, R., Radicati, F., Steffens, P., Stratigraphic and radiometric data of the Neogene in Northwest Turkey, Z. deutsch. geol. Ges., 125, 183-193, (1974).
- BENDA, L., Meulenkamp, J. E., Biostratigraphic correlations in the Eastern Mediterranean Neogene, *Newsletters on Stratigraphy*, 23(1), 1-10, (1990).
- BORAY, A., Şaroğlu, F., Emre, Ö., Isparta büklümü'nün kuzey kesiminde Doğu- Batı daralma için bazı veriler, *Jeoloji Mühendisliği*, 23, 9-20, (1985).
- BRELIE, G.V.D., Ankara vilayetine bağlı Kayı-Bucuk linyit kömürü zuhurunun yaş durumu hakkında palinolojik tetkikler, *MTA Dergisi*, 50, 30-35, (1957).
- CANYARAN, L., Ecevitoğlu, B., Yönlü sismik enerji kaynağı, *Türk Patent Enstitüsü, Ankara*, Patent No. 2002/01203, (2002).
- ÇEMEN, İ., Göncüoğlu, M.C., Dirik, K., Structural evolution of the Tuzgölü basin in Central Anatolia, Turkey, *Journal of Geology*, 107, 693-706, (1999).
- ÇIVGIN, B., Esat, K., Kaypak, B., Işık, V., Seyitoğlu, G., Bala (Ankara) yakın çevresinde deprem üreten fayların yerel istasyon kayıtları ile incelenmesi, Uluslararası Deprem Sempozyumu Bildiri Özleri, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, (2009), 6-7.
- ÇIVGIN, B., Kaypak, B., Ankara ve dolayında kabuğun bir-boyutlu sismik hız yapısının araştırılması, *Yerbilimleri*, 33(2), 131-150, (2012).
- ÇUBUK, Y., Taymaz, T., 2005-2008 Bala (Ankara) Bölgesi depremleri zaman ortamı moment tensör analizi, 62. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, Ankara, (2009), 780-781.
- DEWEY, J. F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Saroglu, F., Şengör, A.M.C., Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia - a young collision zone, eds: Coward, M.P., Ries, A.C., Collision Tectonics, Geological Society Special Publication. 19, (1986), 3-36.
- DİRİK, K., Erol, O., Tuzgölü ve civarının tektonomorfolojik evrimi, Orta Anadolu-Türkiye, *Türkiye Petrol Jeologları Derneği, Özel Sayı 5*, 27-46, (2003).
- DİRİK, K., Özsayın, E., Kutluay, A., Son üç yıldır Ankara güneyinde (Orta Anadolu) meydana gelen sismik hareketliliğin kaynakları, 61. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, Ankara, (2008), 76-77.

- DÖNMEZ, M., Akçay, A.E., Türkecan, A., Evcimen, Ö., Atakay, E., Görmüş, T., Ankara ve yakın çevresinin Tersiyer volkanitleri, MTA Rapor No: 11164, (2009).
- EMRE, Ö., Duman, T.Y., Doğan, A., Özalp, S., Tokay, F., Kuşçu, İ., Surface Faulting Associated with the Sultandağı Earthquake (Mw 6.5) of 3 February 2002, Southwestern Turkey, *Seismological Research Letters*, 74(4), 382-392, (2003).
- EMRE, Ö., Duman, T.Y., Elmacı, H., Özalp, S., Olgun, Ş., 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Kırşehir (NJ 36-3) Paftası, Seri No: 25, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye, (2011a).
- EMRE, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Bolu (NK 36-14) Paftası, Seri No: 19, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye, (2011b).
- EMRE, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Ankara (NJ 36-2) Paftası, Seri No: 20, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye, (2011c).
- EMRE, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, İlgın (NJ 36-6) Paftası, Seri No: 21, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara- Türkiye, (2011d).
- EMRE, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Olgun, Ş., Elmacı, H., 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Çankırı (NK 36-15) Paftası, Seri No: 24, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye, (2011e).
- EMRE, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Türkiye diri fay haritası, MTA Genel Müdürlüğü (2012).
- EROL, O., Ankara ve civarının jeolojisi hakkında rapor, MTA Rapor No: 2491, (1954).
- ESAT, K., Çankırı-Eldivan arasının stratigrafisi ve tektoniği. (Yüksek Lisans Tezi), Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2004).
- ESAT, K., Çıvgın, B., Kaypak, B., Işık, V., Seyitoğlu, G., Jeolojik ve sismolojik veriler ışığında Bala (Ankara) depremlerine neden olan fayların nitelikleri ve bunların genel neotektonik çerçevedeki anlamı, 62. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, Ankara, (2009), 810-811.
- ESAT, K., Seyitoğlu, G., Neotectonics of North Central Anatolia: A strike-slip induced compressional regime, Tectonic Crossroads: Evolving Orogens of Eurasia-Africa-Arabia, Abstracts with Programs (14-6), Middle East Technical University, Ankara, (2010), 38.
- ESAT, K., Ankara çevresinde Orta Anadolu'nun neotektoniği ve depremselliği, (Doktora Tezi), Ankara Üniversitesi, (2011).
- ESAT, K., Çıvgın, B., Kaypak, B., Işık, V., Ecevitoğlu, B., Seyitoğlu, G., The 2005 2007 Bala (Ankara, Central Turkey) earthquakes: a case study for the strike-slip fault termination, *Geologica Acta*, in press, (2014).
- GÖRÜR, N., Tüysüz, O., Şengör, A.M.C., Tectonic evolution of the Central Anatolian basins, International Geology Review, 40, 831-850, (1998).
- İLERİ, İ., *Eldivan Elmadağ tektonik kaması güney sınırının yapısal özellikleri*, (Yüksek Lisans Tezi), Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007).
- KALAFAT, D., Kekovali, K., Pinar, A., The 30 July 2005 (Mw=5.4) and the 20-26 December 2007 (Mw=5.5; Mw=5.3) Afsar-Bala (Ankara) earthquake series in central Turkey, Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, (2008), EGU2008-A-09923.
- KARABIYIKOĞLU, T.,. Çankırı-Çorum Havzası Kuzeybatı kenarı Pliyosen birimlerinin tektono-sedimanter evrimi. (Yüksek Lisans Tezi), Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2000).

- KARADENİZLİ, L., Seyitoğlu, G., Saraç, G., Kazancı, N., Şen, Ş., Hakyemez, Y., Savaşçı, D., Çankırı-Çorum havzası batı kenarının Erken-Orta Miyosen paleocoğrafik evrimi. *MTA Dergisi*, 126, 69-86, (2003).
- KASAPOĞLU, K.E., Öztürk, E., Tetik, Ç., Bay, A., 31 Temmuz 2005 Bala (Ankara) depreminin saha inceleme raporu, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, (2005), 23s.
- KAYMAKÇI, N., Tectono-stratigraphical evolution of the Çankırı basin (Central Anatolia, Turkey), (Doktora Tezi), Utrecht University, Hollanda, Geologica Ultraiectina, 190, (2000).
- KAYMAKÇI, N., Özçelik, Y., White, H.S., Van Dijk P.M., Neogene Tectonic Development of The Çankırı Basin (Central Anatolia, Turkiye), *TPJD Bülteni*, 13(1), 27-56, (2001).
- KINGMA, J.T., Possible of Piercement structures, local unconformities, and secondary basins in the Eastern Geosyncline, New Zealand, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 1, 269-274, (1958).
- KOCAEFE, S.S., Ataman, G., Batı Anadolu'nun aktüel tektoniği, Yerbilimleri, 9, 149-162, (1982).
- KOÇYİĞİT, A., Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 27, 1-16, (1984).
- KOÇYİĞİT, A., Changing stress orientation in progressive intracontinental deformation as indicated by the neotectonics of the Ankara region (NW central Anatolia), *TPJD Bülteni*, 3(1), 43-55, (1991).
- KOÇYİĞİT, A., Southward-vergent imbricate thrust zone in Yuvaköy: a record of the latest compressional event related to the collisional tectonic regime in Ankara-Erzincan suture zone, *TPJD Bülteni*, 4(1), 111-118, (1992).
- KOÇYİĞİT, A., Türkmenoğlu, A., Beyhan, A., Kaymakçı, N., Akyol, E., Post-collisional tectonics of Eskisehir-Ankara-Çankiri segment of Izmir-Ankara-Erzincan suture zone (IAESZ): Ankara orogenic phase, *TPJD Bülteni*, 6(1), 69-86, (1995).
- KOÇYİĞİT, A., Orta Anadolu'nun genel neotektonik özellikleri ve depremselliği, *Türkiye Petrol Jeologları Derneği, Özel Sayı 5*, 1-26, (2003).
- KOÇYİĞİT, A., Özacar, A.A., 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, (2003).
- KOÇYİĞİT, A., Ankara'nın depremselliği ve 2005-2007 Afşar (Bala-Ankara) depremlerinin kaynağı, *Harita Dergisi*, 141, 1-12, (2009).
- KUTLUAY, A., Yenikent ve civarının (KB Ankara-Türkiye) Neojen stratigrafisi ve tektoniği, (Yüksek Lisans Tezi), Hacettepe Üniversitesi, (2007).
- MARRETT, R., Allmendinger, R.W., Kinematic analysis of fault-slip data, *Journal of Structural Geology*, 12(8), 973-986, (1990).
- MCKENZIE, D.P., Active tectonics of the Mediterranean Region, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30, 109–185, (1972).
- MUTLU, H., Güleç, N., Hydrogeochemical outline of thermal waters and geothermometry applications in Anatolia, Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 495-515, (1998).
- NEBERT, K., İç Anadolu'nun en genç jeolojik-tektonik olayı hakkında bir etüd: Ankara vilayetinin (Kayı-Bucuk) civarındaki Wallachien orojenez safhasının ispatı, *MTA Dergisi*, 50, 16-29, (1957).

- ÖNAL, Z., Işık, V., Seyitoğlu, G., Çankırı havzası batısında bulunan Koyunbaba Fayının karakteri hakkında mezoskopik ve mikroskopik gözlemler ve bunların bölgesel tektonik modeller üzerine etkisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 49, 1-12, (2006).
- ÖZCAN, F., Kılçak formasyonu'nun Çankırı havzası stratigrafisindeki yeri ve tektonik konumu. (Yüksek Lisans Tezi), Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2003).
- ÖZCAN, F., Karadenizli, L., Şen, Ş., Saraç, G., Seyitoğlu, G., Lithostratigraphy and mammalian fossil content of Lower Miocene deposits in the western part of the Çankırı basin: A test for Post-Collisional tectonic models of NW central Anatolia. *Geological Bulletin of Turkey*, 50(3), 150-157, (2007).
- ÖZER, N., Altınok, Y., Ceylan, S., Properties of the aftershocks sequences of the 2000 and 2002 earthquakes in Aksehir-Afyon graben, west-central Anatolia, Turkey, *Natural Hazards*, 40(3), 553-562, (2007).
- ÖZSAYIN, E., Yürür, T., Dirik, K., Yuva ve Yakacık köyleri (Ankara kuzeybatısı, İç Anadolu) civarındaki Üst Kretase ofiyolitik karmaşığı ile Miyosen birimlerinin dokanak ilişkileri ile ilgili yeni gözlemler, *Yerbilimleri*, 26(3), 55-59, (2005).
- ÖZSAYIN, E., Dirik, K., Quaternary activity of the Cihanbeyli and Yeniceoba Fault Zones: İnönü-Eskişehir Fault System, central Anatolia, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, 471-492, (2007).
- REUMER, J.W.F., Insectivores, In: Pliocene vertebrate locality of Çalta, Ankara, Turkey (Ed. Şen, Ş.), *Geodiversitas*, 20(3), 353-358, (1998).
- ROJAY, B., Karaca, A., Post-Miocene deformation in the south of the Galatean Volcanic Province, NW of central Anatolia (Turkey), *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 653-672, (2008).
- ROWLAND, S.M., Duebendorfer, E.M., Schiefelbein, I.M., *Structural analysis and synthesis: a laboratory course in structural geology*, Blackwell Publishing, Oxford, (2007), 301 pp.
- SARAÇ, G., Ankara yöresindeki karasal Neojen çökellerinin Rhinocerotidae (Mammalia-Perissodactyla) biyostratigrafisi ve paleontolojisi, (Doktora Tezi), Ankara Üniversitesi, (1994).
- SARAÇ, G., Türkiye omurgalı fosil yatakları, MTA Rapor No: 10609, (2003).
- SAVAŞÇI, D., Çankırı havzasında yer alan Hançili Formasyonunda çökelme ile eş yaşlı yapısal unsurlar. (Yüksek Lisans Tezi), Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2003).
- SAVAŞÇI, D., Seyitoğlu, G., Çankırı havzasına ait Kumartaş ve Hançili formasyonları içerisinde çökelme ile eş yaşlı tektonik yapılar, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 47, 63-73, (2004).
- SEYİTOĞLU, G., Scott, B., Late Cenozoic crustal extension and basin formation in west Turkey, *Geological Magazine*, 128(2), 155-166, (1991).
- SEYİTOĞLU, G., Scott, B.C., The Cause of N-S Extensional Tectonics in Western Turkey: Tectonic Escape vs Back-Arc Spreading vs Orogenic Collapse, *Journal of Geodynamics* 22(1/2), 145-153, (1996).
- SEYİTOĞLU, G., Kazancı, N., Karakuş, K., Fodor, L., Araz, H., Karadenizli, L., Does continuous compressive tectonic regime exist during Late Paleogene to Late Neogene in NW central Anatolia, Turkey? Preliminary observations, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 6, 77-83, (1997).
- SEYİTOĞLU, G., Kazancı, N., Karadenizli, L., Şen, Ş., Varol, B., Karabıyıkoğlu, T., Rockfall avalanche deposits associated with normal faulting in the NW of Çankırı Basin: Implications for the postcollisional tectonic evolution of the Neo-Tethyan suture zone, *Terra Nova*, 12, 245-251, (2000).

- SEYİTOĞLU, G., Kazancı, N., Karadenizli, L., Şen, Ş., Varol, B., Saraç, G. Neogene tectonosedimentary development of western margin of Çankırı basin, central Turkey: reply to the comment of Kaymakçı 2003. *Terra Nova*, 16, 163-165, (2004).
- SEYİTOĞLU, G., Ecevitoğlu, B., Işık, V., Esat, K., Akkaya, İ., Sağol, Ö., Yuvaköy (Ankara) kuzeyinde Üst Kretase ofiyolitik melanj ile Neojen birimler arasındaki tektonik sınırın niteliği hakkında jeolojik ve jeofizik veriler, *Yerbilimleri*, 27(3), 163-171, (2006).
- SEYİTOĞLÜ, G., Aktuğ, B., Karadenizli, L., Kaypak, B., Şen, Ş., Kazancı, N., Işık, V., Esat, K., Parlak, O., Varol, B., Saraç, G., İleri, İ., A late Pliocene - Quaternary pinched crustal wedge in NW central Anatolia, Turkey: a neotectonic structure accommodating the internal deformation of the Anatolian plate, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 52(1), 121-154, (2009).
- SEYİTOĞLU, G., Kaypak, B., Aktuğ, B., Gürbüz, E., Esat, K., Gürbüz, A., An alternative route for the southern branch of North Anatolian Fault Zone, NW Turkey, incelemede.
- ŞAROĞLU, F., Emre, Ö., Boray, A., Türkiye'nin diri fayları ve depremselliği, MTA Rapor No: 8174, (1987).
- ŞEN, Ş., Rodentia and Lagomorpha, In: Pliocene vertebrate locality of Çalta, Ankara, Turkey (Ed. Şen, Ş.), *Geodiversitas*, 20(3), 359-378, (1998).
- ŞEN, Ş., Seyitoğlu, G., Karadenizli, L., Kazancı, N., Varol, B., Araz, H.. Mammalian biochronology of Neogene deposits and its correlation with the lithostratigraphy in the Çankırı - Çorum basin, central Anatolia, Turkey. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 91, 307-320, (1998).
- ŞENGÖR, A.M.C., *Türkiye'nin neotektoniğinin esasları*, Türkiye Jeoloji Kurumu yayını, (1980), 40 s.
- ŞENGÖR, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F., Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, *The Society of Economic Paleontologists* and Mineralogists, Special Publication, 37, 227-264, (1985).
- TAN, O., Tapırdamaz, M.C., Ergintav, S., İnan, S., İravul, Y., Saatçılar, R., Tüzel, B., Tarancıoğlu, A., Karakısa, S., Kartal, R.F., Zünbül, S., Yanık, K., Kaplan, M., Şaroğlu, F., Koçyiğit, A., Altunel, E., Özel, N.M., Bala (Ankara) earthquakes: implications for shallow crustal deformation in central Anatolian section of the Anatolian Platelet (Turkey), *Turkish Journal of Earth Sciences*, 19, 449-471, (2010).
- TAYMAZ, T., Tan, O., 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, (2001), 96-107.
- TÜRKMEN, İ., Özkul, M., Sedimentology and evaporite genesis of Neogene continental sabkha playa complex, Karakeçili Basin, central Anatolia, Turkey, *Carbonates and Evaporites*, 14(1), 21-31, (1999).
- ULUSAY, R., Aydan, Ö., Erken, A., Tuncay, E., Kumsar, H., Kaya, Z., An overview of geotechnical aspects of the Çay-Eber (Turkey) earthquake, *Engineering Geology*, 73, 51-70, (2004).
- YALÇINLAR, İ., Türkiye'de Neojen ve Kuvaterner omurgalı araziler ve jeomorfolojik karakterleri, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayını, (1983), No: 2741.
- YÜRÜR, T., Köse, O., Demirbağ, H., Özkaymak, Ç., Selçuk, L., Could the coseismic fractures of a lake ice reflect the earthquake mechanism? (Afyon earthquakes of 2 March 2002, Central Anatolia, Turkey), *Geodinamica Acta*, 16, 83-87, (2003).