DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TUZLA FAYININ UZUN DÖNEM KAYMA HIZI, PALEOSİSMOLOJİSİ VE DEPREM ÜRETME POTANSİYELİ, İZMİR-BATI ANADOLU

Umut ÖNCÜ

Eylül, 2021
İZMİR

TUZLA FAYININ UZUN DÖNEM KAYMA HIZI, PALEOSİSMOLOJİSİ VE DEPREM ÜRETME POTANSİYELİ, İZMİR-BATI ANADOLU

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Uygulamalı Jeoloji Programı

Umut ÖNCÜ

Eylül, 2021
İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

UMUT ÖNCÜ, tarafından **PROF. DR. HASAN SÖZBİLİR** yönetiminde hazırlanan **"TUZLA FAYININ UZUN DÖNEM KAYMA HIZI, PALEOSİSMOLOJİSİ VE DEPREM ÜRETME POTANSİYELİ, İZMİR-BATI ANADOLU"** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hasan SÖZBİLİR

Yönetici

Prof. Dr. Talip GÜNGÖR

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Çağlar ÖZKAYMAK

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Özgür ÖZÇELİK
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmalarım sırasında geçirdiğim tüm zorlu aşamalarda en başta bana olan güvenini asla yitirmeyerek daha azimli çalışmama yardımcı olan, bilgi birikimi ve tecrübeleri ile gelişimime yardımcı olan danışmanım ve değerli hocam Sayın Prof. Dr. Hasan SÖZBİLİR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez izlemelerim ve tüm arazi çalışmaları sırasında her türlü öneri, eleştiri ve tecrübelerini benimle paylaşarak tezimin şekillenmesinde benim için faydalı olan ve konuşmaları ile motivasyonumu en üst seviyede tutan bana vakit ayıran değerli hocam Sayın Doç. Dr. Ökmen SÜMER'e (Dokuz Eylül Üniversitesi), paleosismoloji çalışmalarında tecrübesini yansıtan ve tez hazırlama sürecinde desteğini hep hissettiğim hocam Sayın Prof. Dr. Çağlar ÖZKAYMAK'a (Afyon Kocatepe Üniversitesi), gerek arazide verilerin veri işlem aşamalarında gerekse tez içeriğimi hazırlarken her türlü bilgi ve deneyimini benimle paylaşan Sayın Öğr. Gör. Semih ESKİ'ye, arazide alınan yaş örneklerinin sonuçlandırılmasını sağlayan Araş. Gör. Dr. Mustafa SOFTA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Arazi ve paleosismoloji çalışmalarında yardım eden değerli arkadaşlarım Büşra YERLİ'ye, Hasan Kaan DEMİR'e, İsmail DURAN'a, Mert ÇAKICI'ya ve ayrıca Jeofizik Yük. Müh. Şükran PERK'e teşekkür ederim.

Tez çalışmaları TÜBİTAK projesi kapsamında yapıldığı için proje desteğinden dolayı TÜBİTAK (Proje Kodu: 117Y190)'a teşekkür ederim.

Bütün çalışmalarım boyunca her zaman desteklerini hissettiğim, her kötü anımda yanımda olan ve her zaman motivasyonumu en yukarıda tutan çocukluk arkadaşlarım Mimar Burak BAŞARAN'a, İşletmeci Baran BURUNSUZ'a, Makine Mühendisi Barış DÖKMETEPELİOĞLU'na, Şehir ve Bölge Planlamacı Ali BOŞNAKOĞULLARI'na teşekkürü bir borç bilirim, hakları ödenmez.

Tüm öğrenim hayatım boyunca olduğu gibi yüksek lisansa başlama anımdan itibaren son ana kadar maddi desteklerinin yanında en başta bana olan güvenlerini ve manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim, bu tezin ortaya çıkmasındaki zorlu süreçte her zaman yanımda olan babam Erol ÖNCÜ'ye, annem Münevver ÖNCÜ'ye ve abim Süleyman ÖNCÜ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Umut ÖNCÜ

TUZLA FAYININ UZUN DÖNEM KAYMA HIZI, PALEOSİSMOLOJİSİ VE DEPREM ÜRETME POTANSİYELİ, İZMİR-BATI ANADOLU

ÖZ

Bu çalışma, İzmir ilinin güneybatısında yer alan Tuzla Fayı'na ilişkin yapısal jeolojik, paleosismolojik ve jeomorfolojik özellikler arazide saptanıp bölgenin aktif tektoniğini ve depremselliğinin ortaya çıkarılmasını amaçlar.

Çalışma alanını kapsayan sayısal yükseklik modeli haritaları kullanılarak Tuzla Fayı ile ilişkili drenaj havzaları oluşturulmuştur. Derelerin sağ yanal ve sol yanal ötelenmeleri 1/25000 ölçekli haritalardan ölçülmüş ve tablo halinde sunulmuştur. Elde edilen veriler ışığında fayın uzun dönem maksimum kayma hızı 2,29 mm/yıl, minimum kayma hızı 0,7 mm/yıl ve ortalama kayma hızı 1,3 mm/yıl olarak hesaplanmıştır.

Tuzla Fayı'nın deniz tabanındaki uzunluğu ile minimum 55 km uzunluğunda ve fayın doğrultusunun kabaca K10D ile K60D arasında değişkenlik gösterdiği ortaya konulmuştur. Fayın ilk hareketi olarak kabul edilen sol yanal ve son hareketi olan sağ yanal hareketleri arazide gözlemlenmiş, ölçülmüş ve fotoğraflanmıştır. Fay üzerinde yapılan doğrultu, eğim ve kayma çizgisi ölçümleri kinematik analiz için listelenmiş ve eş yükselti haritasına işlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, Tuzla Fayı'nın bölgede kabaca KD-GB yönde sıkışma ve KB-GD yönünde genişleme etkisinde geliştiği saptanmıştır.

Tuzla Fayı'nda hendek tabanlı paleosismoloji çalışması yapmak için toplam 3 adet hendek açılmıştır. Hendek kazılarından saptanan olaylar birlikte ele alındığında, fayın geçmişte 7 adet depreme kaynaklık ettiği belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, Tuzla Fayı'nın üretmiş olduğu depremlerden yola çıkarak, fayın tekrarlanma aralığı Holosen dönemi için; 700 yıl ile 4000 yıl arasında değiştiği hesaplanmıştır.

Sonuç olarak paleosismolojik araştırmalar sonucunda ortaya çıkan, Tuzla Fayı üzerinde gelişen son deprem MS 160, 165, 177/178 ve 688 depremlerine karşılık gelmektedir ve son depremden sonra geçen zaman 1333 yıldır. Tuzla Fayı'nın maksimum deprem üretme potansiyeli M=7,11 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Tuzla Fayı, paleosismoloji, diri fay, depremsellik, aktif tektonik

LONG-TERM SLIP RATE, PALEOSEISMOLOGY AND EARTHQUAKE POTENTIAL OF TUZLA FAULT, İZMİR-WESTERN ANATOLIA

ABSTRACT

This study aims to reveal the active tectonics and seismicity of the region by determining the structural geological, paleoseismological and geomorphological features of the Tuzla Fault in the southwest of İzmir province.

Drainage basins associated with Tuzla Fault were created by using digital elevation model maps covering the study area. Right lateral and left lateral offsets of the streams were measured from 1/25000 scale maps and presented in tabular form. In the light of the data obtained, the long-term maximum slip rate of the fault was calculated as 2.29 mm/year, the minimum slip rate was 0.7 mm/year and the average slip rate was 1.3 mm/year.

It has been revealed that the Tuzla Fault has a minimum length of 55 km at the seafloor and the strike of the fault varies roughly between N10E and N60E. Left lateral movements, which are accepted as the first movement of the fault, and right lateral movements, which are the last movements, were observed, measured and photographed in the field. Strike, dip and slip line measurements on the fault are listed for kinematic analysis and plotted on the contour map. According to the results of the analysis, it was determined that the Tuzla Fault developed in the region under the influence of compression in roughly NE-SW direction and expansion in NW-SE direction.

A total of 3 trenches were dug in order to carry out trench-based paleoseismology studies on the Tuzla Fault. When the events determined from the trench excavations are considered together, it has been determined that the fault has been the source of 7 earthquakes in the past. Within the scope of the study, based on the earthquakes produced by the Tuzla Fault, the recurrence interval of the fault is for the Holocene; It has been calculated that it varies between 700 years and 4000 years.

As a result, the last earthquake that emerged as a result of paleoseismological studies and developed on the Tuzla Fault corresponds to the 160, 165, 177/178 and 688 earthquakes in AD, and the time elapsed after the last earthquake was 1333 years. The maximum earthquake generation potential of the Tuzla Fault was calculated as M=7.11.

Keywords: Tuzla Fault, paleoseismology, active fault, seismicity, active tectonic

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU ii
TEŞEKKÜR ii
ÖZ v
ABSTRACT vii
ŞEKİLLER LİSTESİ xii
TABLOLAR LİSTESİ xvii

BÖLÜM BİR - GİRİŞ 1

1.1 Çalışma Alanı 1
1.2 Çalışmanın Amacı 3
1.3 Yöntemler 3
1.3.1 Literatür Çalışması 3
1.3.2 Arazi Çalışması 3
1.3.3 Büro Çalışması 4
1.4 Önceki Çalışmalar 5

BÖLÜM İKİ - STRATİGRAFİ 11

2.1 Kaya Birimleri 11
2.1.1 Kikladik Zon 11
2.1.1.1 Doğanbeyburnu Metamorfitleri 14
2.1.2 İzmir Flişi 15
2.1.2.1 Kireçtaşı Blokları 17
2.1.3 Çatalca Formasyonu 18
2.1.4 Yamanlar Volkanitleri 22
2.1.5 Bahçecik Formasyonu 23
2.1.6 Yeniköy Formasyonu 25
2.1.7 Cumaovası Volkanitleri 27

2.1.7.1 Piroklastik Üyesi 28
2.1.7.2 Lav Üyesi 28
2.1.8 Akçaköy Formasyonu 29
2.1.9 Buca Formasyonu 30
2.1.10 Pliyo-Kuvaterner Birimler 31
2.1.10.1 Görece Formasyonu 31
2.1.10.2 Alüvyon Birimi 32

BÖLÜM ÜÇ – TEKTONİK JEOMORFOLOJİ 34

3.1 Jeomorfik Veriler 35
3.1.1 Dere Ötelenmeleri 37
3.1.2 Uzun Dönem Kayma Hızı 43
3.2 Jeodezik Veriler 48
3.2.1 Kısa Dönem Kayma Hızı 48

BÖLÜM DÖRT – YAPISAL JEOLOJİ 52

4.1 Tuzla Fayı 52
4.1.1 Arazi Verileri 59
4.1.2 Kinematik Analiz 63

BÖLÜM BEŞ - PALEOSİSMOLOJİ 69

5.1 Sismotektonik 69
5.1.1 Tarihsel Dönem Depremleri 72
5.1.2 Aletsel Dönem Depremleri 75
5.2 Tanım ve Metodoloji 82
5.2.1 Hendek Yer Seçimi 83
5.2.2 Hendek Kazı ve Temizleme Çalışmaları 83
5.2.3 Karelajlama ve Loglama 85
5.2.4 Hendek Duvarlarının Fotoğraf Çekimi ve Fotomozaik Hazırlamak 87

5.2.5 Örnekleme ve Yaşlandırma 88
5.3 Hendek Çalışmaları 92
5.3.1 Çatalca Hendek 93
5.3.1.1 Stratigrafi ve Yapısal Veriler 93
5.3.1.2 Tarihlendirme Çalışmaları 98
5.3.1.3 Paleosismolojik Yorum 99
5.3.2 Yeniköy Hendek 99
5.3.2.1 Stratigrafi ve Yapısal Veriler 101
5.3.2.2 Tarihlendirme Çalışmaları 106
5.3.2.3 Paleosismolojik Yorum 107
5.3.3 Tuzla Hendek 107
5.3.3.1 Stratigrafi ve Yapısal Veriler 108
5.3.3.2 Tarihlendirme Çalışmaları 113
5.3.3.3 Paleosismolojik Yorum 113
5.4 Hendeklerden Alınan Örneklerin Yorumlanması 114
5.4.1 Faylanma Olaylarının Değerlendirilmesi ve Paleosismolojik Yorum 116

BÖLÜM ALTI - SONUÇLAR 119

KAYNAKLAR 123

EKLER 139

EK-1: Çatalca Hendeğine Ait Fotomozaik ve Log Çizimi 139
EK-2: Yeniköy Hendeğine Ait Fotomozaik ve Log Çizimi 140
EK-3: Tuzla Hendeğine Ait Fotomozaik ve Log Çizimi 141

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Çalışma alanı yer bulduru haritası (a) Türkiye ve çevresinin bölgesel tektonik yapı haritası..... 2
Şekil 2.1 Çalışma alanının jeoloji haritası..... 12
Şekil 2.2 Çalışma alanının genelleştirilmiş litostratigrafik kolon kesiti 13
Şekil 2.3 İzmir flişine ait yüzlek (a) Kumtaşı-çamurtaşı-çamurşeyl ardalanması (b,c) Çamurtaşı-çamurşeyl ardalanması..... 16
Şekil 2.4 (a, b) Kumtaşı-çamurşeyl biriminde yüksek kotlu tepelerde gözlenen kireçtaşı blokları (c) Kireçtaşı bloklarının içerdiği mercan fosilleri 18
Şekil 2.5 Çatalca formasyonunda gözlenen kumtaşı-çamurtaşı-çakıltaşı sekansı 19
Şekil 2.6 Çatalca formasyonunda gözlenen türbiditik kumtaşı-çamurşeyl ardalanması 20
Şekil 2.7 Çatalca formasyonunda gözlenen kumtaşı içinde çapraz tabakalı çakıltaşı seviyeleri..... 21
Şekil 2.8 Bahçecik formasyonuna ait içinde intraklastlar bulunan mikritik kireçtaşı düzeyleri 24
Şekil 2.9 Bahçecik formasyonuna ait masif çakıltaşı birimi..... 25
Şekil 2.10 Yeniköy formasyonuna ait kumtaşı birimi 26
Şekil 2.11 Yeniköy formasyonu içinde gözlenen kireçtaşı merceği 27
Şekil 2.12 Yeniköy formasyonu ve Çatalca formasyonu arasındaki ilişkiyi gösteren yüzlek..... 27
Şekil 2.13 Yol yarmasında gözlenen Buca formasyonuna ait kireçtaşı arakatmanlarına sahip kiltaşı birimi 31
Şekil 2.14 Çalışma alanının güneyindeki alüvyon biriminin yayılımı..... 33
Şekil 3.1 Doğrultu atımlı faylarda gelişen yapılar 34
Şekil 3.2 Yatay yönde ötelenen çizgisel yapıların ve akarsu kanallarının ölçülmesi 35
Şekil 3.3 Tuzla Fayı ve çevresinin drenaj ağı 36
Şekil 3.4 Tuzla Fayı'nın Urla L17-c3 paftasında kestiği derelerin atım miktarları... 39
Şekil 3.5 Tuzla Fayı'nın Urla L17-c2 paftasında kestiği derelerin atım miktarları... 41
Şekil 3.6 Tuzla Fayı'nın Urla L18-d1 paftasında kestiği derelerin atım miktarları... 42

Şekil 3.7 Tuzla Fayı'nın Urla L18-a4 paftasında kestiği derelerin atım miktarları ... 43
Şekil 3.8 Uzun dönem kayma hızı hesaplanırken kullanılan parametrelerin ve sağa ötelenmiş derenin ilişkisi ... 45
Şekil 3.9 Tuzla Fayı'nda ölçülen derelerin memba uzunluğu ve ötelenme miktarları arasındaki ilişkiyi gösteren ve "a" katsayısının belirlendiği logaritmik abak. ... 47
Şekil 3.10 Bölgesel tektonik hareketler kapsamında gerinim alanı ve aletsel dönemde bölgede meydana gelen M_w> 5 yerel depremler ... 49
Şekil 3.11 SASA-GEMR-ESEN bölgelerine göre göreceli hızlar ... 50
Şekil 3.12 Karaburun Yarımadası ve çevresi için jeodezik deprem yineleme haritaları (a-d) sırasıyla M_w> 5.5, 6, 6.5 ve 7 için deprem yinelemelerini gösterir. Birimler yıl cinsinden ortalama deprem tekrarlama süresi olarak verilmiştir ... 51
Şekil 4.1 Tuzla Fayı'nın Türkiye Diri Fay Haritası'ndaki konumu ... 52
Şekil 4.2 Tuzla Fayı segmentleri ... 54
Şekil 4.3 Doğanbey, Kuşadası ve Sığacık koylarında çalışılan sismik yansıma profillerini gösteren harita ... 54
Şekil 4.4 Tuzla Fayı'nın açıklarında ve kabaca fay doğrultusuna dik olan DOG1 profiline ait sismik yansıma kesiti ... 55
Şekil 4.5 Tuzla Fayı'nın DOG1 sismik yansıma kesiti yardımı ile çizilen denizdeki devamı ... 56
Şekil 4.6 Sığacık körfezinde yapılan sismik araştırma profil kesitlerinin yer bulduru haritası ... 56
Şekil 4.7 Tuzla Fayı'nı kapsayan Sef08-32, Sef08-46 ve Sef05-8 sismik yansıma kesitleri ... 57
Şekil 4.8 Tuzla Fayı'nın sismik yansıma kesitleri yardımı ile çizilen denizaltındaki devamı ... 58
Şekil 4.9 İzmir flişinde gözlenen sol yönlü doğrultu atımlı fay verileri ... 59
Şekil 4.10 Fayın taban bloğunda gözlenen İzmir flişine ait kayaçların uğradığı deformasyonlar ... 60

Şekil 4.11 Çatalca hendek güneyinde gözlenen Tuzla Fayı verileri (a) Fayın taban bloğunda gözlenen birimin doğrultu-eğimi (b) Fay düzlemi ölçüleri (c) Fay düzlemi üzerinde gözlenen rake açıları 61
Şekil 4.12 Tuzla hendek alanının batısında gözlenen Tuzla Fayı verileri (a) Ölçülen fay düzlemlerinin bulunduğu geniş yüzlek (b, d) Fay düzlemi ölçüleri (c) d fotoğrafı için yer bulduru..... 62
Şekil 4.13 Fay düzlemi üzerinde gözlenen kayma çizgilerine göre fay karakterinin sınıflaması..... 66
Şekil 4.14 Tuzla Fayı'na ait fay düzlem çözümleri, paleostres yönleri ve faylara ait ana asal gerilme konumları 68
Şekil 5.1 Türkiye ve çevresinin bölgesel tektonik yapı haritası..... 70
Şekil 5.2 Tuzla Fayı'nın İzmir Sismotektonik Haritası'ndaki yeri 71
Şekil 5.3 Tarihsel dönem depremlerin şiddet ve sayı ilişkisi..... 72
Şekil 5.4 Tuzla Fayı kaynaklı olabilecek aletsel dönem depremlerin (M>4) AFAD ve KOERİ kurumları tarafından çözümlenen deprem merkez noktaları ve büyüklüklerini karşılaştırmalı olarak gösterir harita. 82
Şekil 5.5 Kazı çalışmalarında kullanılan ekskavatör 84
Şekil 5.6 Hendek duvarı temizleme çalışmaları..... 85
Şekil 5.7 Karelajlama çalışması yapılmış hendek duvarı ve loglama çalışması 86
Şekil 5.8 Loglama çalışmaları ve yapısal unsuların ölçümü..... 86
Şekil 5.9 Kronolojik olarak fotomozaik çalışmasının sıralaması (a) Hendek duvarlarını birbirini aşmalı olarak fotoğraf çekimi (b) PhotoShop programı ile fotomozaik işleminin yapılması (c) CorelDraw programı ile fotomozaik işlemine son görünümünü kazandırmak 88
Şekil 5.10 (a) Radyokarbon örnekleme çalışması (b) OSL ve radyokarbon örnerklerinin alındığı yerler (c) Alınan radyokarbon örneklerinin hendek logu üzerindeki yeri..... 89
Şekil 5.11 OSL örnekleme çalışmaları (a, b) OSL tüplerinin hendek duvarlarına çakılması (c, d) Yıllık doz örnekleme çalışmaları (e) OSL örnek tüplerini hendek duvarından ayırma işlemi (f) Aynı örneklemede uygulanan OSL tüpünün ve yıllık doz örneklemesinin yeri 91

Şekil 5.12 Paleosismoloji çalışması yapılan hendeklerin Tuzla Fayı üzerindeki yerleri 92
Şekil 5.13 Çatalca hendek yeri 93
Şekil 5.14 Çatalca hendeği ve geometrik özellikleri 94
Şekil 5.15 Çatalca hendeğine ait kuzeydoğu duvarının bir bölümü (a) Fotomozaik (b)Hendek logu 95
Şekil 5.16 Çatalca hendeği kuzeydoğu duvarında ölçülen fayların eşit alan alt yarım küre stereoplotları 97
Şekil 5.17 Çatalca hendeğinde ölçülen fayların konumları 97
Şekil 5.18 Çatalca hendeğinde ölçülen fayların doğrultu ve eğim trendlerini gösteren gül diyagramları (a) Fayın doğrultusuna göre (b) Fayın eğim yönüne göre 98
Şekil 5.19 Arazide kronolojik olarak sıralanan Yeniköy hendek çalışmaları (a) Açılması planlanan hendek yeri (b) Hendek kazı işinin bitmesine yakın arazi fotoğrafı (c) Kazı ve karelajlama işlemi bitmiş Yeniköy hendek alanı ... 100
Şekil 5.20 Yeniköy hendek alanının geometrik özellikleri 101
Şekil 5.21 Yeniköy hendeğine ait arazi fotoğrafları ve hendek logu (a) Fotomozaik (b) Fotomozaik hazırlanan bölümün hendek logu (c) Hendek içinde gözlenen yumuşak sedimanter yapılar 103
Şekil 5.22 Yeniköy hendeği kuzeydoğu duvarındaki fay düzlemlerinin eşit alan alt yarım küre stereoplotları ve odak mekanizma çözümü 105
Şekil 5.23 Yeniköy hendeğinde ölçülen fay numaraları ve konumları 105
Şekil 5.24 Yeniköy hendeği güneybatı duvarında fay düzlemi ölçümleri (a) Güneybatı duvar metrede gözlenen 9 numaralı fay (b) Güneybatı duvarda gözlenen 11 numaralı fay 105
Şekil 5.25 Yeniköy hendeğinde ölçülen fayların doğrultu ve eğim trendlerini gösteren gül diyagramları (a) Fayın doğrultusuna göre (b) Fayın eğim yönüne göre 106
Şekil 5.26 Kronolojik olarak Tuzla hendek çalışmaları (a) Açılması planlanan Tuzla hendek yeri (b) Tuzla hendeği kazı çalışmaları (c) Tuzla hendeği loglama çalışmaları 108

Şekil 5.27 Tuzla hendeğine ait kuzeydoğu duvarının bir bölümü (a) Fotomozaik (b) Hendek logu..... 110
Şekil 5.28 Tuzla hendeği kuzeydoğu duvarındaki fay düzlemlerinin eşit alan alt yarım küre stereoplotları ve odak mekanizma çözümleri 111
Şekil 5.29 Tuzla hendeğinde ölçülen fay numaraları ve konumları..... 112
Şekil 5.30 Tuzla hendeğinde ölçülen fayların doğrultu ve eğim trendlerini gösteren gül diyagramları. a) Fay doğrultusuna göre, b) Fayın eğim yönüne göre 112
Şekil 5.31 Tuzla Fayı'nda gerçekleştirilen hendek kazılarından saptanan tüm verilerin Oxcal ve R programlamasında fayın kaynaklık ettiği deprem olaylarını gösteren istatistiki değerlendirme..... 117

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1 Tuzla Fayı'nın kestiği derelerin ötelenme miktarları 38
Tablo 3.2 Tuzla Fayı'nda hesaplanan sağ yönlü ötelenmiş dereler kullanılarak, fayın elde edilen yıllık kayma hızı. 46
Tablo 4.1 Tuzla Fayı üzerinde ölçülen fay düzlemi kayma verileri 64
Tablo 4.2 Tuzla Fayı'ndan alınan ölçümlerden hesaplanan asal gerilme konumları, türleri ve standartları 67
Tablo 5.1 Tuzla Fayı segmentlerinin maksimum deprem üretme potansiyelleri. 71
Tablo 5.2 Çalışma alanı ve yakın çevresinde meydana gelen tarihsel dönem depremleri 73
Tablo 5.3 Çalışma alanı ve yakın çevresinde meydana gelen aletsel dönem depremleri 77
Tablo 5.4 Tuzla Fayı'ndan alınan örneklerin optik uyarımlı lüminesans tarihlendirme sonuçları 115
Tablo 5.5 Tuzla Fayı'nın kaynaklık ettiği deprem olayları ve tekrarlanma aralıkları 118

BÖLÜM BİR
GİRİŞ

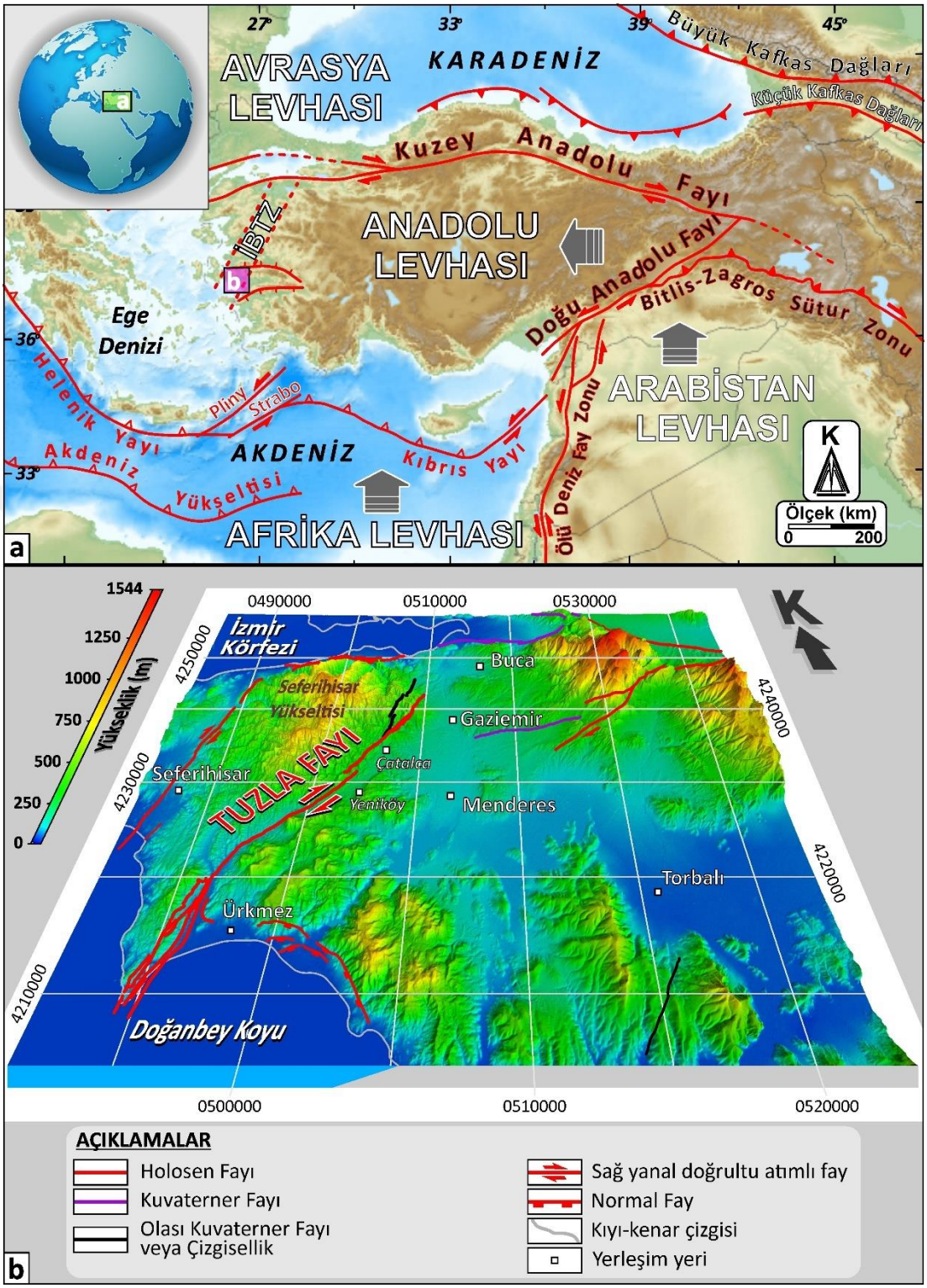
1.1 Çalışma Alanı

İzmir il merkezinin güneybatısında yer alan çalışma alanı, 1/100000 ölçekli L17 ve L18 paftasında, 4210000/4260000 enlemleri ve 485000/515000 boylamları ile sınırlanan yaklaşık 450 km^2'lik alanı kapsamaktadır (Şekil 1).

Çalışma alanını kapsayan ve yakınında yer alan üç büyük yerleşim yerleri batıdan doğuya sırasıyla Seferihisar, Menderes ve Gaziemir ilçeleridir. İzmir il merkezi, Seferihisar'a 47 km, Menderes'e 22 ve Gaziemir'e 14 km uzaklıktadır. Bölgeye ulaşım, ilçeden geçen Devlet Demiryolları ve karayolları ile sağlanmaktadır. Ayrıca Gaziemir ilçe merkezinin 5 km güneyinde çeşitli kapasitelerdeki uçakların inip kalkabileceği Uluslararası İzmir Adnan Menderes Havalimanı bulunmaktadır.

İzmir ilinde genel olarak Akdeniz iklimi hakimdir. Yaz mevsimleri kurak ve sıcak kış mevsimleri ılık ve yağışlı geçer. İl genelinde temmuz-ağustos ayları en sıcak, ocak-şubat en soğuk aylardır. Kar yağışı çok nadir veya yok denecek kadar azdır. Bölgelere göre değişiklik gösteren senelik yağış miktarı 700-1200 mm arasındadır. Sıcak yaz aylarında "imbat" ismi verilen rüzgar serinlik getirir. Kara ve denizin gece-gündüz arasındaki sıcaklık ve soğukluk farkından meydana gelen bu rüzgar sadece bu ile aittir. İzmir ili genelinde sıcaklık +42,7°C ile -8,4°C arasında değişkenlik göstermektedir (Coğrafya, b.t).

Bölgede bulunan Karaköse Dağı (276 m), Ilıkpınar Tepe (192 m), Kavacık Dağı (384 m), Kızılca Dağ (410 m), Temese Dağı (422 m), Dede Dağı (545 m), Karadağ (599 m) ve Güney Dağı (603 m) en önemli yükseltilerdir. Çalışma alanın en güney bölümünde olan dereler KD-GB uzanımlı olmak üzere güneye, orta bölümünde yer alan dereler KB-GD uzanımlı olarak doğuya ve kuzey bölümünde yer alan dereler ise KD-GB uzanımlı olmak üzere kuzeye drene olmaktadırlar ve en önemli coğrafik ögelerdir.



Şekil 1.1 Çalışma alanı yer bulduru haritası (a) Türkiye ve çevresinin bölgesel tektonik yapı haritası (Barka 1992, 1999; Bozkurt 2001a; Uzel, ve Sözbilir, 2008; Uzel, ve diğer., 2013'ten değiştirilmiştir) (b) Tuzla Fayı ve civarındaki ana yapısal elemanları gösteren 3 boyutlu SYM haritası (Diri faylar Emre ve diğer., 2018'den alınmıştır)

1.2 Çalışmanın Amacı

Yüksek Lisans Tez kapsamında gerçekleştirilen bu çalışma alanı içinde yer alan ve 2011 yılında güncellenen Türkiye Diri Fay Haritası'nda bulunan Tuzla Fayı yapısal jeolojik, paleosismolojik ve jeomorfolojik özelliklerinin ortaya konulması, elde edilen verilerin değerlendirilerek bu fayın deprem potansiyelinin saptanması amaçlanmıştır.

1.3 Yöntemler

1.3.1 Literatür Çalışması

Bu çalışmada, Seferihisar, Menderes, Gaziemir ve Buca (İzmir) çevresinde daha önce yapılmış olan jeolojik, jeomorfolojik ve depremsellikle ilgili çalışmalar gözden geçirilmiş, 1/100000 ve 1/25000 ölçekli topografik paftalar elde edilmiştir. Araziye çıkmadan önce bölgedeki kaya birimleri hakkında farklı kaynaklardan bilgiler toplayıp bölgenin stratigrafisi ilişkilendirilmiştir. Çalışma alanında bulunan ve ana yapısal öge olan Tuzla Fayı, Emre ve diğer., (2011; 2013) tarafından hazırlanan 1/250000 ölçekli Türkiye Diri Fay Serisi, 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, 1/1250000 ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası ve daha önce bölgede çalışan bilim insanlarının araştırmaları detaylı olarak incelenmiştir. Önceki yıllarda çalışma alanı ve yakın çevresinde meydana gelen depremler araştırılarak, bu depremlerin Tuzla Fayı ile olan ilişkisi irdelenmiştir.

1.3.2 Arazi Çalışması

Çalışma alanını içeren 1/25000 ölçekli topografik haritalara işlenen diri faylar gözlemlenip, faylara ait gerekli ölçümler yapılmıştır (doğrultu-eğim, rake açısı vb.). Bölgedeki en büyük yapısal unsur olan ve aynı zamanda tezin ana konusu olan Tuzla Fayı'nda toplam 3 adet hendek tabanlı paleosismoloji çalışması gerçekleştirilmiştir. Açılan hendeklerdeki duvarlarda açığa çıkan bütün fay ile ilgili yapısal veriler ve kaya birimleri arasındaki ilişkiler arazide milimetrik kağıtlara 1/25 ölçeğinde logları çizildikten sonra litolojileri işlenmiştir. Paleosismoloji çalışmaları sırasında, jeolojik

birimlerin litolojik tanımlamaları yapıldıktan sonra fayın geçmişte ürettiği deprem izlerini saptayarak fayın kimliği hakkında veriler toplanmıştır. Depremlerin yaşlandırılması ve geçmiş depremlerle bağlantı kurulması amacı ile jeolojik birimlerden, kolüvyal kamalardan ve paleotopraklardan OSL, C14 ve U örnekleri alınmıştır. Alınan örnekler; Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ndeki tarihlendirme için örnek hazırlama laboratuvarında, Çukurova Üniversitesi Fizik Bölümü'ndeki TL/OSL tarihlendirme laboratuvarında, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'ndeki jeokimyasal analiz laboratuvarlarında analiz edilmiştir.

Çalışma alanında yüzlek veren kaya türlerinin stratigrafik ilişkilerini anlamlandırmak için birimlerin konumları ölçülmüştür.

Son olarak, arazide çalışılan ve gözlem yapılan her yerden fotoğraf ve/veya video kayıtları alınmıştır.

1.3.3 Büro Çalışması

Arazi çalışması sırasında elde edilen tüm veriler bilgisayar ortamında düzenlenmiştir. Arazi çalışmalarında milimetrik kağıtlara çizilen hendek logları ve arazi kesitleri bilgisayar ortamında CorelDraw ve PhotoShop programlarında tekrar çizilmiştir. Kayıt altına alınan fotoğrafların daha anlamlı hale gelmesi için üzerinde çizimler yapılmıştır.

Arazide ölçülen fayların konumları kinematik analiz yapılmak üzere GeoRose, Stereonet ve FaultKin isimli programlar yardımı ile bölgedeki sıkışmaya ve genişlemeye neden olan kuvvetlerin yönü hesaplanmıştır.

1/25000 ölçekli topografik haritalardan yararlanılarak jeomorfolojik harita oluşturulup bölgedeki jeomorfolojik yapı ile diri faylar arasındaki ilişki saptanmaya çalışılmıştır. Oluşturulan haritalarda drenaj havza sınırları belirlenip, dere ötelenmeleri hesaplanmıştır. Hesaplanan dere ötelenmeleri sonucunda Tuzla Fayı'nın uzun dönem

yıllık kayma hızı hesaplanmaya çalışılmıştır. Fayların deprem üretme potansiyelleri, Wells ve Coppersmith, (1994)'e göre magnitüd(M) cinsinden hesaplanmıştır.

1.4 Önceki Çalışmalar

Eşder ve Şimşek (1975), Seferihisar jeotermal alanını anlatırken güney bölümünü Tuzla fayı ve Cumalı ters fayı olarak iki farklı fay olarak tanımlar. Bu fay zonunun jeotermal açıdan çok önemli olduğunu vurgular. Tuzla Fayı'nın halen aktif olup, sıcak suların derinlikten yüzeye taşınması için gerekli kanalları sağladığını söylemişlerdir.

Şaroğlu ve diğer. (1987, 1992), 1992 yılında yayımlanan Türkiye Diri Fay Haritası'nda Tuzla Fayı'nı Cumaovası çizgiselliği olarak tanımlamışlardır.

Eşder (1988), Tuzla Fayı'nı doktora tezi çalışması kapsamında, Cumalı ters fayı olarak tanımlamıştır. Neredeyse günümüze kadar geçerliliğini sürdüren bölgedeki litolojik tanımlamalar bu çalışma kapsamında yapılmıştır.

Emre ve Barka (2000), İzmir ile Doğanbey arasında, KD-GB doğrultusunda uzanan ve üç parçadan oluşan yapısal çizgiselliği Tuzla fayı olarak tanımlamışlardır. Cumalı kaplıcaları ve Ege Denizi arasındaki bölümünün 15 km uzunluğunda olduğunu, deniz morfolojisi ve sismik verilere göre fayın Ege Denizi içerisinde de devam ettiğini ve yaklaşık 35-40 km uzunluğa sahip olduğunu belirtir Araştırıcılar, fay tarafından kesilen en genç akarsu yataklarında 200-700 metre sağ yönlü ötelenmeler geliştiğini açıklar.

Genç ve diğer. (2001), Geç Miyosen'de KKD-GGB doğrultulu oblik atımlı Orhanlı fay zonunun aktif kontrolü altında yeni bir kıtasal havza oluşmaya başladığını ve havza geliştikçe yeni bir göl havzası kurulduğunu söyler. Üst Miyosen kalkerlerinin ve ince taneli kırıntılı kayaların çökelmesiyle kısmen eş zamanlı olarak asidik patlayıcı bir volkanik aktivite başlayıp sonrasında, K-G oblik atımlı faylanma, K-G genişleme rejimi ile ilişkili olabileceğini belirtir. Genişlemenin muhtemelen Pliyosen döneminde kesintiye uğradığını ve bunu şiddetli bir erozyon aşaması izlediğini söyler. Sonuç

olarak birimlerin üzerinde Üst Miyosen-Pliyosen'i de içine alan düz bir erozyon yüzeyi oluşmuştur. Bu olaydan sonra D-B gidişli büyük graben havzalarının oluşmaya başladığını ve D-B grabeni sınırlayıcı faylar Üst Miyosen Pliyosen istiflerini ve üstündeki erozyon yüzeyini kesip parçalara ayırdığını söylerler. D-B grabenlerinin gelişiminin başlangıcından bu yana, Çubukludağ Grabeni yeniden aktif hale gelen Orhanlı fay zonu boyunca çapraz graben olarak geliştiğini ve bölgesel jeolojik verilere göre Tuzla Fayı bölgenin Miyosen paleocoğrafyasını belirleyen ana yapısal unsurlardan olduğunu ve bu dönemde Çubukludağ havzasını batıdan sınırladığını söylerler.

Ocakoğlu ve diğer. (2004), Tuzla (veya Orhanlı) Fayı'nın deniz altındaki devamını incelemişlerdir. Buna göre, Tuzla (veya Orhanlı) Fayı üzerinde meydana gelen sağ-yanal (veya sol-yanal) doğrultu atımının, Seferihisar Sırtı'nın açık deniz devamı boyunca açık denizde devam etmesinin mümkün olduğunu, ancak bu sonucun daha fazla araştırma gerektirdiğini söylemektedirler. Bu durumda Kuzey Anadolu Fay Zonu ile Marmara Denizi'nin doğu ucuna yakın bir yerde kesişeceğini savunmaktadırlar. Böyle bir şemada bu fay zonu, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun ek bir kolu olarak kabul edilebilir olduğunu söylerler. Bu konuyla ilgili daha ayrıntılı çalışmanın açıkça gerekli olduğunu söylemektedirler.

Emre ve diğer. (2005)'ne göre, Tuzla Fayı'nın GB'da Ege Denizi tabanındaki devamı ile birlikte ele alındığında 50 km'yi geçen uzunluğa sahip olduğunu söylemişlerdir. Tuzla Fayı, Seferihisar yükseltisini oluşturan Bornova flişine ait metamorfik kayalar ile Cumaovası civarında yüzeyleyen Neojen yaşlı kaya birimlerini sınırlayan ve KD-GB doğrultulu yapısal sınır olan Tuzla Fayı'nı üç alt bölüme ayırmışlardır. Bunun sebebi ise fayın belirgin bir şekilde sıçrama ve büklümler ile birbirinden ayrılmasıdır. Kuzeyden güneye doğru bu bölümler Çatalca, Orhanlı ve Cumalı bölümleri olarak tanımlamışlardır. Tuzla fayı genelinde batı blok yani Bornova flişinin konumlandığı yer morfolojik olarak doğu blok geneline göre daha yüksek olduğunu söylemişlerdir. Tuzla civarından batıya doğru fay iki ana kola ayrıldığını ve büyük boyutlu basınç sırtı da iki kol arasında fay zonu ile aynı doğrultuda uzanan topografik yükselim arasına denk geldiğini söylemişlerdir. Basınç sırtını dikine kesen

derelerin antesedant yerleşimli oluşu sırt boyunca Kuvaterner'deki tektonik yükselmeye işaret ettiğini ve Tuzla ile Doğanbeyburnu arasında yani bu yükselimin batısında uzanan üç fay parçası aşmalı olarak birbirini tamamladığını söylerler. Tuzla mevkiinden batıya doğru uzanan doğudaki kol, birbirine koşut fay parçalarından oluşmaktadır. Ancak araştırmacılar bütün bulgulara rağmen, bu yapısal hat boyunca dört adet hendek tabanlı paleosismoloji kazısında genç (Holosen) çökelleri kesen diri bir faya rastlamamışlardır. Araştırıcıların toplanan saha verileri göz önünde bulundurulduğunda Tuzla Fayı'nın Kuvaterner'de sağ yönlü doğrultu atımlı hareket ettiğini açıklamaktadırlar.

Ocakoğlu ve diğer. (2005), K-G'den KD-GB doğrultulu atımlı faylar, hem açık deniz hem de karada birincil aktif faylar olarak yorumlanır. Bu faylar genellikle KD-GB yönlü Tuzla fayı (TF) gibi doğrultu atımlı fay karakterine sahiptir. Araştırıcılara göre doğrultu atımlı faylar, yönlerinin KB-GD veya KD-GB yönünden K-G yönüne değiştiği Karaburun Fayı (KF) gibi ters faylara dönüşür. Bölgedeki D-B sıkışması K-G doğrultulu ters faylara, D-B yönlü normal faylara, KD-GB yönlü sağ yanal faylara neden olur. Bu yoruma göre, İzmir Körfezi ve çevresi D-B yönünde uzanmaktadır, dolayısıyla Karaburun Yarımadası ve Seferihisar sırtında Karaburun ve Tuzla fayları boyunca bir miktar yükselme meydana gelmektedir. Bu tektonik çerçeve, çalışma alanındaki yapıların komşu alanlarla uyumlu olmadığını göstermektedir. Fay desenleri, Gediz ve Küçük Menderes gibi Batı Anadolu'nun doğu-batı yönlü grabenlerinin batıya doğru devam etmediğini göstermektedir. Aksine, inceleme alanında batıya doğru K-G ile KD-GB doğrultulu atımlı faylarla sınırlandırıldığını söylerler. Araştırmacılar Tuzla Fay Zonu'nun sadece yerel değil, aynı zamanda bölgesel öneme sahip olduğunu ve Tuzla Fay Zonu'nun muhtemelen kuzeyde İznik'e doğru uzandığını söylemişlerdir. Bir sismisite bölgesinin varlığı, kuzey Ege'yi güney Ege'den ayıran bu geçiş bölgesinin varlığını da desteklediğini açıklarlar.

Halıcıoğlu ve Özener (2008), Ege Bölgesi'ndeki yüksek hız vektörlerine dikkat çekmiştir. Özellikle Tuzla Fayı yakınında yüksek hız oranlarından bahsetmektedir. Bu projelere büyük ölçekli arıza temelli deformasyon izleme çalışması yapılarak katkıda bulunmak amacıyla Tuzla Fayı ve çevresi yüksek sismik riski göz önünde

bulundurularak seçilmiştir. Tuzla fayı bölgenin merkezinde bulunmaktadır ve büyük metropol İzmir'e çok yakındır. Bu nedenle, çalışmanın kökeni bu fayın yakınında seçilir. Ocakoğlu ve diğer. (2005) ve Zhu ve diğer. (2006), Tuzla Fayı da dahil olmak üzere bölgenin yüksek sismik riskinden bahsettiğini söyler. Öte yandan, alanın sürekli çalışan GPS istasyonları ile daha büyük ve yoğun bir ağ tarafından izlenmesi gerektiğini kesin olarak söylemişlerdir. Sonuç olarak bu çalışma, ağ tasarımı ve optimizasyonu da dahil olmak üzere jeodezik teknikleri kullanan deformasyon izleme çalışmaları için bir plan hazırlanmıştır. Bu çalışmanın bir sonraki adımı, tasarlanan ağ üzerinde iki periyotta üç GPS çalışması olacaktır. GPS tekniğine ek olarak, hassas nivelman tekniği gibi geleneksel jeodezik teknikler, küçük düşey deformasyonların belirlenmesi için bir seçim olacaktır. Bu çalışmada tanıtılan bilgi ve teknikler üzerine ileri çalışmalar yapılacaktır. Jeodezik tekniklerin, yer bilimleri için oldukça değerli bilgiler olan küçük hareketleri belirleyebileceğinin kesin olduğu ve ayrıca jeodezik sonuçlar, çalışma alanının jeolojik özelliklerinin özelliklerine dayalı karar verme açısından yönetim sistemleri için değerli bilgiler olacağını söylemişlerdir.

Uzel ve Sözbilir (2008), Batı Anadolu'daki aktif doğrultu atımlı fayların ilk ayrıntılı saha bazlı incelemesi olduğunu söylemişlerdir. Alan odaklı jeolojik çalışmalar, listelenen depremlerden sorumlu olabilecek doğrultu atımlı bir zayıflık bölgesini (İzmir-Balıkesir Transfer Bölgesi) desteklediği söylerler. Stratigrafik, sedimantolojik ve yapısal verilere dayanarak Cumaovası havzasını doğrultu atımlı havza olarak tanımlamışlardır. Normal fay popülasyonu yaklaşık olarak D-B doğrultulu iken, doğrultu atımlı popülasyon baskın olarak KD-GB doğrultulu bir desene sahiptir. Bölgesel olarak önemli olan Orhanlı Fay Zonu, ötelenmiş dereleri ve fay izleri dahil olmak üzere kendine özgü sol ve sağ yönlü doğrultu atımlı jeomorfik özelliklere sahiptir. Jeomorfik kanıtlar Orhanlı Fay Zonu'nun aktif olduğunu göstermektedir. Araştırıcılar fay düzlemleri üzerindeki kinematik analizlerini, karşıt kinematik göstergelere sahip iki farklı hareket önermektedir. Daha önceki sol yanal doğrultu hareketi, sonraki sağ yanal doğrultu işaretleriyle kesildiğini söylemişlerdir. Nehir kanallarının ötelenmesi ve basınç sırtları gibi jeomorfolojik göstergeler de Orhanlı Fay Zonu boyunca iki farklı hareketi desteklemektedir. Alternatif bir yorum olarak, zamanla değişen bir stres rejimi olasılığını önermişlerdir. Neojen sedimanlar ve

volkanitlerin yanı sıra Plio-Kuvaterner sedimanlarında Neojen öncesi temelde hem doğrultu atımlı hem de normal fay boyunca 17 bölgeden toplam 140 fay düzlemi ölçülmüştür. Bu büyük faylar boyunca alan verileri ve kinematik analizler, doğrultu atımlı ve normal faylanmanın eşzamanlı olarak geliştiğini göstermişlerdir. Angelier yöntemi kullanılarak elde edilen kinematik veriler, bölgedeki ilk hareketin, K-G yönde sıkışma ve bununla ilişkili yaklaşık D-B genişleme ile ilişkili olduğunu göstermişlerdir. Öte yandan, aktivitenin sonraki aşaması, D-B yönde sıkışma ile ilişkili yaklaşık olarak K-G genişleme ile tutarlı olduğunu söylerler.

Özener ve diğer. (2013), Ege bölgesi ve çevresindeki kabuk deformasyonu için çok sayıda araştırma yapılmış olsa da bu çalışma hem GPS hem de hassas tesviye yöntemlerini bir arada uygulayan ilk çalışmadır. Bu çalışmadaki gözlemler, çok nüfuslu bir şehir olan İzmir yakınlarındaki tek bir aktif faya odaklanmıştır. Araştırmacıların sonuçları Aktuğ ve Kılıçoğlu, (2006) ile uyumlu olduğunu ve Tuzla fayı boyunca maksimum kayma oranını bulmuşlar ve bunun aktif durumunu doğruladığını belirtmişlerdir. GPS gözlemlerinin ilk sonuçları, hız vektörlerinin 21±2 mm/yıl ile 25±2 mm/yıl arasında olduğunu göstermektedir. Üstelik, ilk hassas tesviye gözlemi ile ikincisinin karşılaştırılmasından sonra, dikey yer değiştirmenin sadece dokuz aylık bir aralık için yaklaşık 7 mm olduğunu bulmuşlardır. Araştırıcılar, bu sonuçların beklenenden daha yüksek çıktığını ve gözlemlenen deformasyonun nedenini aydınlatmak için daha fazla araştırma yapılması gerektiğini söylerler.

İşintek ve diğer. (2014), İzmir'in (Batı Türkiye) güneyinde "Orhanlı fay zonu" içinde yer alan Cumalı ve Tuzla fayları Çubukludağ Grabeni'nin batı kenarında yer aldığını ve "Orhanlı fay zonu" çevresinde son yıllarda oluşmuş depremlerin odak mekanizması çözümleri bu zonun sağ yönlü doğrultu atımlı olarak çalıştığını gösterdiğini belirtirler. Saha gözlemlerine dayanarak, bu zon içinde, eski fay zonu ve aktif fay zonu olmak üzere iki fay grubu tanımlanabildiğini, eski fay zonunun KKD-KKB uzanımlı, çok sayıda fay parçalarından oluştuğunu söyler. Eski fay zonu genel olarak "Orhanlı fay zonunun" batı sınırını oluşturan ana fayla (Cumalı fayı) simgelenir. Bu fay zonunun morfolojik ve kinematik verileri sol yönlü doğrultu atımlı bir fayı destekler. Aktif fay zonu ise sıcak su çıkışlarına, güncel alterasyon ve traverten

oluşuklarına neden olur, ayrıca güncel morfolojiyi kontrol eder. Bu faylar olasılıkla alandaki depremlerin de nedenidir ve en son çalışmalardaki kinematik veriler bu fayların sağ yönlü doğrultu atımlı faylar olduğunu gösterir. Eski fay zonunun Ürkmez Formasyonu'nu kestiğini ve Bornova Karmaşığı içinde 250-300 m uzunluğunda genel olarak 3-5 m, yer yer 50 m genişliğe ulaşan bir riyolit daykı, eski fay zonuna ait Salıngaçgediği fay parçası içine yerleştiğini söylerler. Riyolit daykı, eski fay sistemini kullanarak sokulmuş olabileceği gibi, riyolitin çok katlı işlenmiş breşik dokusu, eski fay sisteminin riyolitik volkanizmanın yerleşimi sırasında ve/veya sonrasında aktif olduğunu söylerler.

Emre ve diğer. (2018), İzmir güneyindeki çalışmanın konusu olan fayı, Tuzla Fayı olarak tanımlamışlardır. Çalışmalarındaki fay kimlik tablosunda Tuzla Fayı'nı iki segment altında incelemişler ve sırasıyla segmentlerin uzunluklarını 16 ve 24 km olarak belirtmişlerdir. Tuzla Fayı'nı Holosen yaşında ve sağ yanal doğrultu atımlı fay olarak tanımlamışlardır. Ayrıca fayın doğrultusu sağ el kuralına göre minimum 11°, maksimum 59° arasında olduğunu söylemişlerdir.

Eyubagil ve diğer. (2021), Bölgedeki en küçük gerilmelerin Tuzla Fayı üzerinde olduğunu açıklar. Tuzla Fayı'nın batı bloğundaki sahaların nispi hızlarının aşağıda 1 mm/yıl'dan düşük olduğunu ve deprem periyodunu 100 yıldan fazla olarak hesaplamışlardır. Tuzla Fayı bölgesinde, M_w>6 için deprem tekrarlama süresi yaklaşık 150-250 yıl, ancak Tuzla Fayı'nın güneydoğu açıklarında 64 yıllık aralıklarla 2 ayrı deprem meydana geldiğini ve bunların sırasıyla 1928 ve 1992 yıllarında M_w:6,2 ve M_w:6 olan depremler olduğunu söyler. Bu durum, bölgedeki enerji birikiminin bu depremlerle deşarj olmuş olabileceğini ve bölgenin bu bölümünde öngörülen daha uzun tekrarlama süresine uyduğunu gösterdiğini açıklamışlardır.

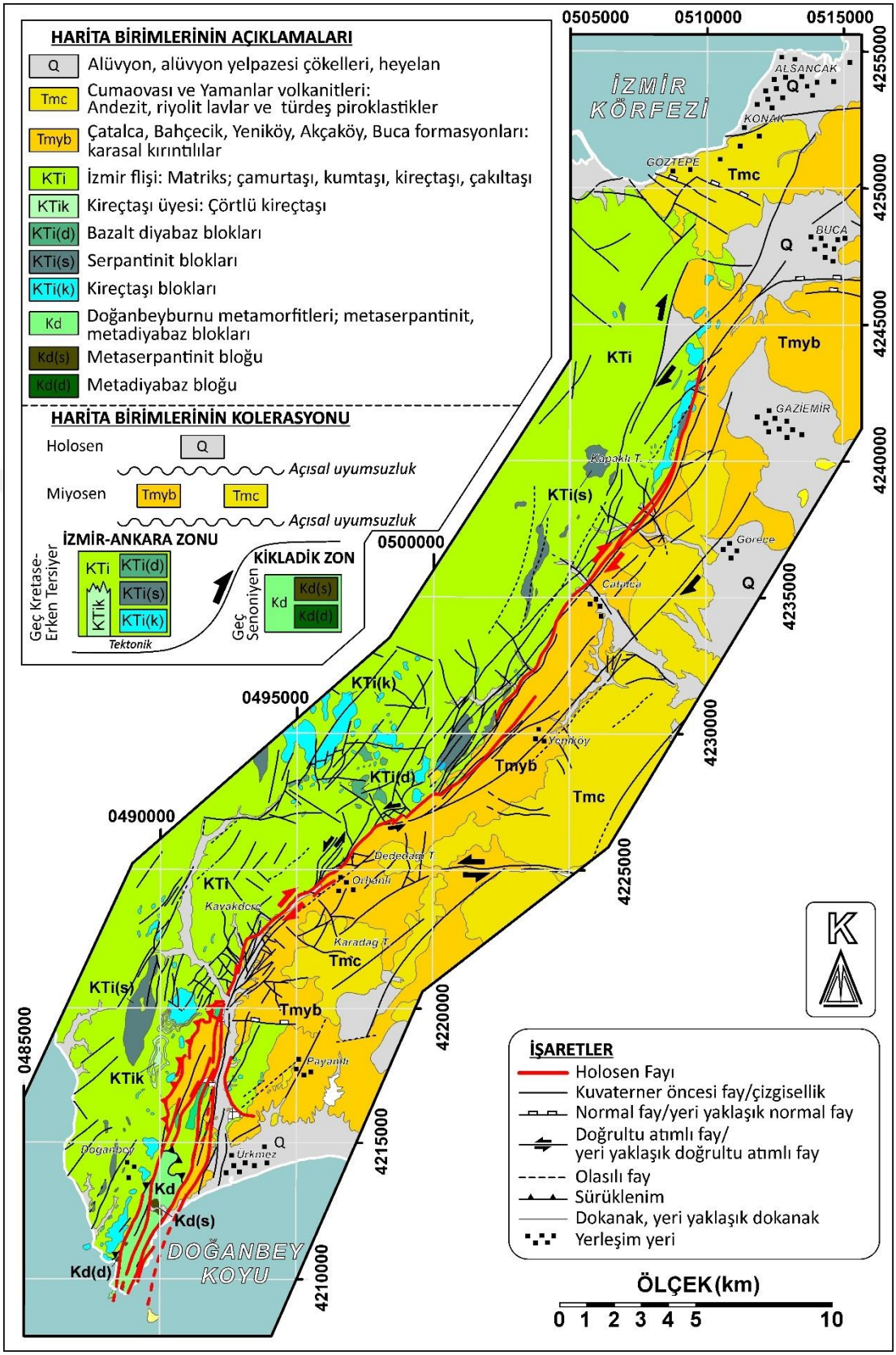
BÖLÜM İKİ
STRATİGRAFİ

İnceleme alanındaki birbirleriyle tektonik ilişkili Neojen öncesi kaya birimleri, alttan üste doğru Doğanbeyburnu metamorfitleri ve İzmir flişi şeklinde konumlanır. Geç Senoniyen yaşlı Doğanbeyburnu metamorfitlerinin üzerinde; Geç Kretase- Erken Tersiyer yaşlı, matriksinde çamurtaşı, kumtaşı, kireçtaşı ve çakıltaşı bulunan ve kireçtaşı, bazalt, serpantinit blokları içeren "İzmir flişi" tektonik olarak yer alır. Bütün bu tektono-stratigrafik birimler, Miyosen yaşlı çökeller tarafından açısal uyumsuzlukla örtülür. Miyosen yaşlı tortul çökelleri yaşlıdan gence doğru sırasıyla; Çatalca, Bahçecik ve Yeniköy formasyonları olarak tanımlanır. Bölgedeki Miyosen volkanizması ise yaşlıdan gence doğru sırasıyla; Yamanlar ve Cumaovası Volkanitleri olarak tanımlanır. Bu birimler Geç Miyosen-Erken Pliyosen yaşlı Akçaköy ve Buca formasyonları tarafından uyumsuzlukla örtülür. Daha sonra bütün neojen birimleri geç Pliyosen-Kuvaterner yaşlı Görece formasyonu tarafından uyumsuzlukla örtülür ve onun üzerine yine açısal uyumsuzlukla güncel alüvyon gelmektedir. (Şekil 2.1, 2.2).

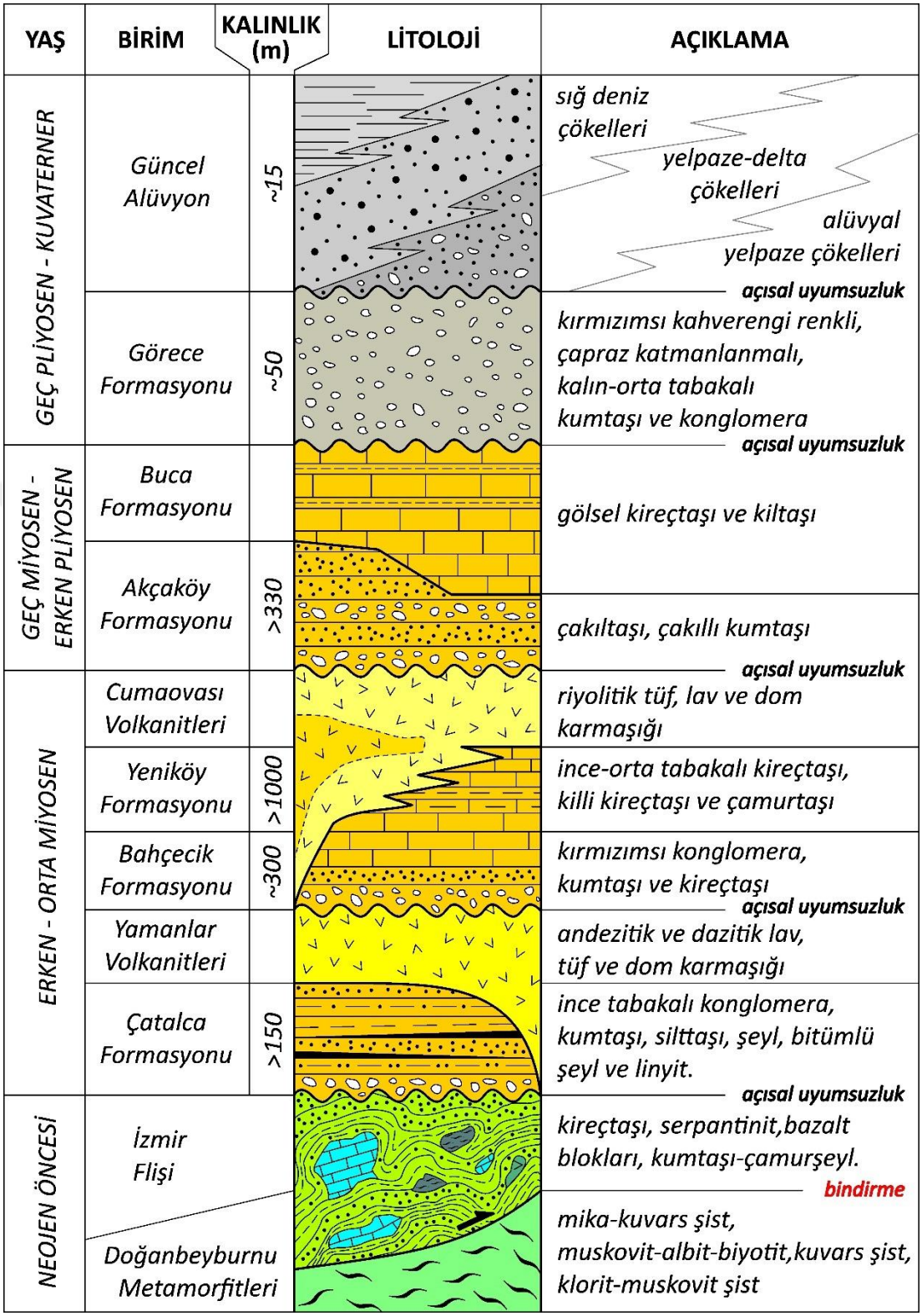
2.1 Kaya Birimleri

2.1.1 Kikladik Zon

Anadolu'nun batısında, Bornova Fliş Zonu (Okay ve Siyako, 1993) ile Menderes Masifi arasında (Likya napları altında) yayılımı bulunan ve esas olarak yüksek basınç-düşük sıcaklık metamorfitlerinden oluşan Kikladik Zon, inceleme alanında Doğanbeyburnu metamorfitleri (Kd) ile temsil edilir. İzdar (1975), Yunanistan ana karasının doğusu ve Ege adaları üzerinden Batı Anadolu'ya uzanan Attika-Kiklad (Ege) Masifi'ne, öncü çalışmalarda, "Attika-Kykladen Massiv" (Trikkalinos, 1955) adlarıyla değinildiğini bildirir (Göktaş ve Çakmakoğlu, 2017).



Şekil 2.1 Çalışma alanının jeoloji haritası (Göktaş ve Çakmakoğlu, 2017; MTA 1/100 000'lik L18 jeoloji haritasından değiştirilmiştir)



Şekil 2.2 Çalışma alanının genelleştirilmiş litostratigrafik kolon kesiti (Uzel ve Sözbilir, 2008; Göktaş, 2019'dan değiştirilmiştir)

2.1.1.1 Doğanbeyburnu Metamorfitleri

Mika-kuvars şistlerin egemen olduğu pelitik bir matriks içerisinde, değişik boyutlarda ve stratigrafik düzeylerde metabazit-metaultrabazit olistolitleri ve/veya tektonik dilimleri kapsayan birim, Eşder (1988) tarafından Menderes Masifi'nin "Dış Örtü şistleri" kapsamında tanımlanmış ve "Doğanbeyburnu metamorfitleri" olarak adlanmıştır.

Genel olarak açık/koyu gri, sarımsı/mavimsi yeşil baskın renklerdeki pelitik şistlerden oluşan matrikse, muskovit-kuvars şist, muskovit-albit-biyotit-kuvars şist, kuvarsşist, klorit-muskovit şistler egemendir. Eşder (1988), yaklaşık 6 km^2'lik bir alanda ayırtladığı Doğanbeyburnu metamorfitlerini oluşturan kaya türlerini, aktinolitşist, kloritşist, kloritfels, klorit-serizit şist, kuvarsit, metaserpantinit, krizotilli metaserpantinit, talkşist, metabazit, muskovit-klorit şist, kuvarsit, muskovit-klinozoisit-aktinolit-albit kuvars şist, muskovit-kloritoyid-klorit kuvars şist, epidot-klorit şist, kalsit-kuvars-albit-muskovit-kloritoyid tremolit şist, kalk-klorit-serizit-albit şist, klorit fels, aktinolit fels olarak belirtir. Ayrıca, değişik boyutlardaki metabazit ve metaultrabazit kütlelerini tanımlar, diyoritik kayaların varlığına değinir. Metaserpantinit (Kd(s)) ve metadiyabaz (Kd(d)) bloklarını ayırtlayan araştırmacı, jeotermal sondaj verilerine göre istifin 730 metreden daha kalın olduğunu belirtir. Eşder (1988), fosil saptayamadığı birimi olasılıkla Geç Paleozoyik-Erken Triyas yaşlı kabul eder. Birimin olası eşleniği kabul edilen "Selçuk formasyonu" için Erdoğan ve Güngör (1992), Geç Kretase (Kampaniyen-Maastrihtiyen), Candan ve diğer. (1998) Paleosen(?), Çetinkaplan (2002) metaolistostrom için Paleosen(?), Çakmakoğlu (2005, 2007) deneştirimsel olarak Geç Senoniyen, Çetinkaplan ve diğer. (2007) olası Geç Kretase yaşlarını belirtirler. Bu çalışmada Doğanbeyburnu metamorfitleri Geç Senoniyen yaşlı kabul edilmiştir. Doğanbeyburnu metamorfitleri, Kikladik Zon içinde, yaygın ve tipik olarak Selçuk-Söke çevresinde görülen yüksek basınç/düşük sıcaklık metamorfitlerini kapsayan "metaflişin" ("Selçuk formasyonu": Erdoğan ve Güngör, 1992; "metamorfik olistostrom": Candan ve diğer., 1997; Candan ve Dora, 1998; "Kikladik mavişist ünitesi" kapsamında "Selçuk melanjı": Gessner ve diğer., 2001 ve Çetinkaplan, 2002; "Ofiyolitik Selçuk melanjı": Ring ve Layer, 2003; "Şirince

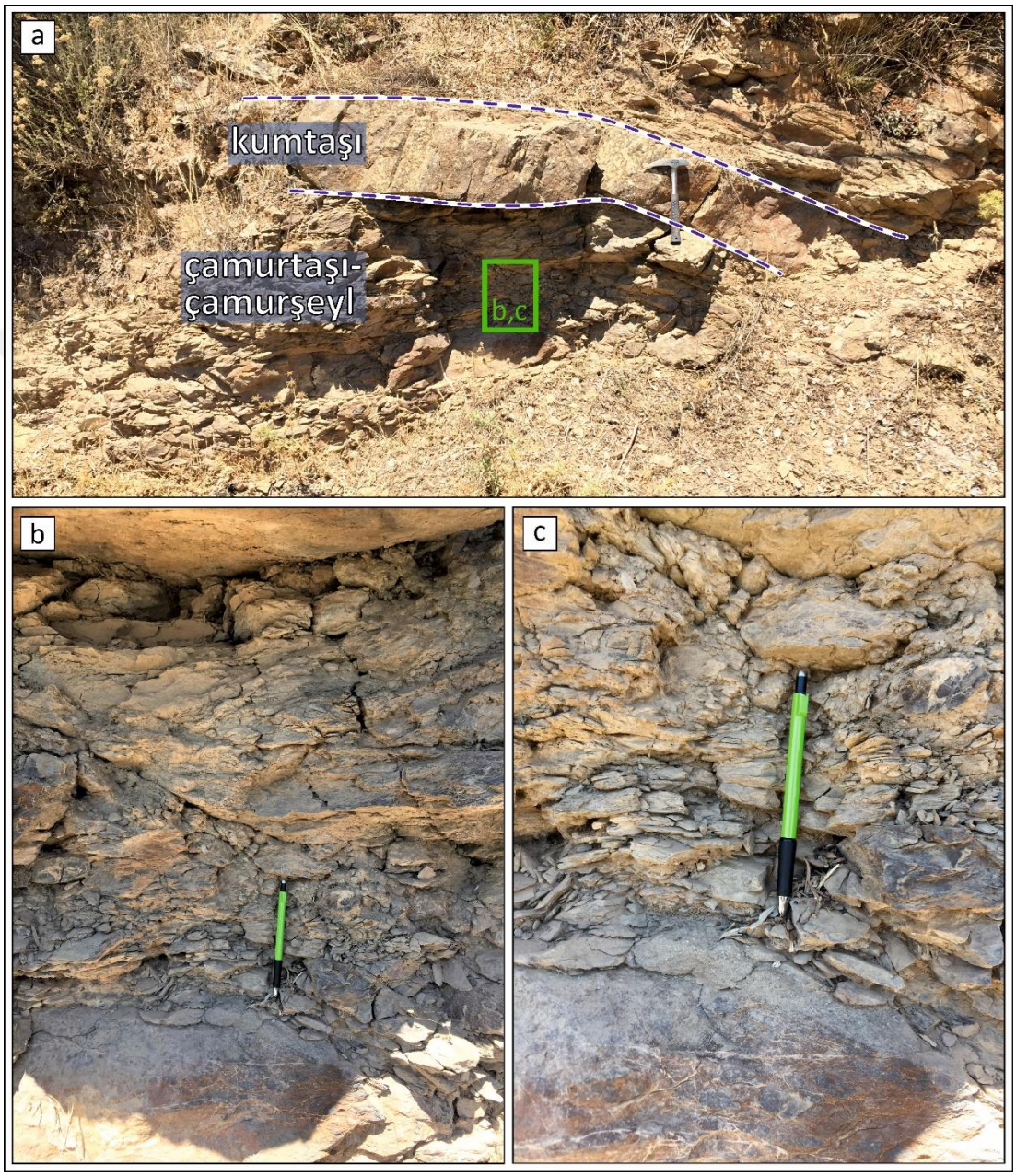
metaflişi": Çakmakoğlu, 2005, 2007) ve Çetinkaplan ve diğer. (2007) tarafından tanımlanan "metaolistostrom'un eşleniği kabul edilmiştir (Göktaş ve Çakmakoğlu, 2017).

2.1.2 İzmir Flişi

İnceleme alanında yüzeyleyen İzmir flişi (Eşder ve Şimşek, 1975), genel olarak çamurtaşı ve kumtaşından oluşan bir matriks ile çeşitli kaya türlerindeki bloklardan oluşur. İzmir flişi, Karaburun Kuşağı ile Bornova Fliş Zonu'nu (Okay ve Siyako, 1993) oluşturan "Bornova flişi" kapsamındaki "bloklu fliş" çökellerinden oluşur ve egemen kaya türü bileşimine göre "ofiyolitik melanj" topluluğundan ayrılır. Birim, "İzmir fliş formasyonu" adıyla ilk kez Öngür (1972a) tarafından tanımlanmıştır. Bölgesel ölçekteki önceki çalışmalarda, "Kretase flişi/Belkahve ve Kavaklıdere flişi" (Parejas, 1940), "Fliş" (Akartuna, 1962; Verdier, 1963; Oğuz, 1966), "Kretase flişi" (Brinkmann, 1966; Brinkmann ve İzdar, 1971), "İzmir-Eskişehir-Ankara Zonu" (Dürr, 1975), "Bornova fliş formasyonu" (Konuk, 1977), "Eydemirçay formasyonu", (Konak ve diğer., 1980), "Filiş toplulukları" (Yağmurlu, 1980), "Kretase-Paleojen flişi" (Başarır ve Konuk, 1981), "Belkahve" ve "Çaldağ" formasyonları (Akdeniz ve diğer., 1986) olarak adlanmıştır. Ayrıca, İzmir-Ankara Zonu kapsamında "Bornova karmaşığı" (Erdoğan, 1985, 1990*a, b*; Erdoğan ve Güngör, 1992), "En Geç Kretase Volkanik Olistostrom Zonu (Kaya, 1995) veya daha sonra birçok araştırmacı tarafından yaygın olarak kullanıldığı gibi, Sakarya Zonu ile Menderes ve Kikladik masifler arasında uzanan "Bornova Fliş Zonu" (Okay ve Siyako, 1993) kapsamında "Bornova flişi" olarak tanımlanmaktadır (Okay ve diğer., 2011, 2012).

İzmir flişinin, yeşil, kahvemsi yeşil, kahvemsi sarı, pembemsi bej, siyahımsı gri renklerdeki çamurtaşı-kumtaşı egemen makaslanmış matriksi, Eşder (1988)'e göre gri, kirli beyaz renklerde, kalın tabakalı, çörtlü rekristalize kireçtaşı ara düzeyleri (Kireçtaşı üyesi [KTik]) kapsayan fillit ve metakumtaşlarından oluşur (Şekil 2.3). Öngür (1972a), İzmir flişinin matriksinin, değişik derecelerde metamorfik kumtaşı, kiltaşı, az oranda kireçtaşı, çakıltaşı, radyolarit ve denizaltı volkanitlerinden oluştuğunu bildirir. Erdoğan (1990a), Seferihisar bölgesinde gözlenen Bornova

karmaşığı matriksinin, son deformasyon fazında (Menderes Masifi üzerine itilme sürecinde) kataklastik etkiyle yapraklanmış fillatlardan oluştuğunu, içindeki kireçtaşı düzeylerinin şiddetli kristalleşme geçirerek yarı mermere dönüştüğünü belirtir.



Şekil 2.3 İzmir flişine ait yüzlek (a) Kumtaşı-çamurtaşı-çamurşeyl ardalanması (b,c) Çamurtaşı-çamurşeyl ardalanması (Koordinat: 0505490/4235563) (Kişisel arşiv, 2020)

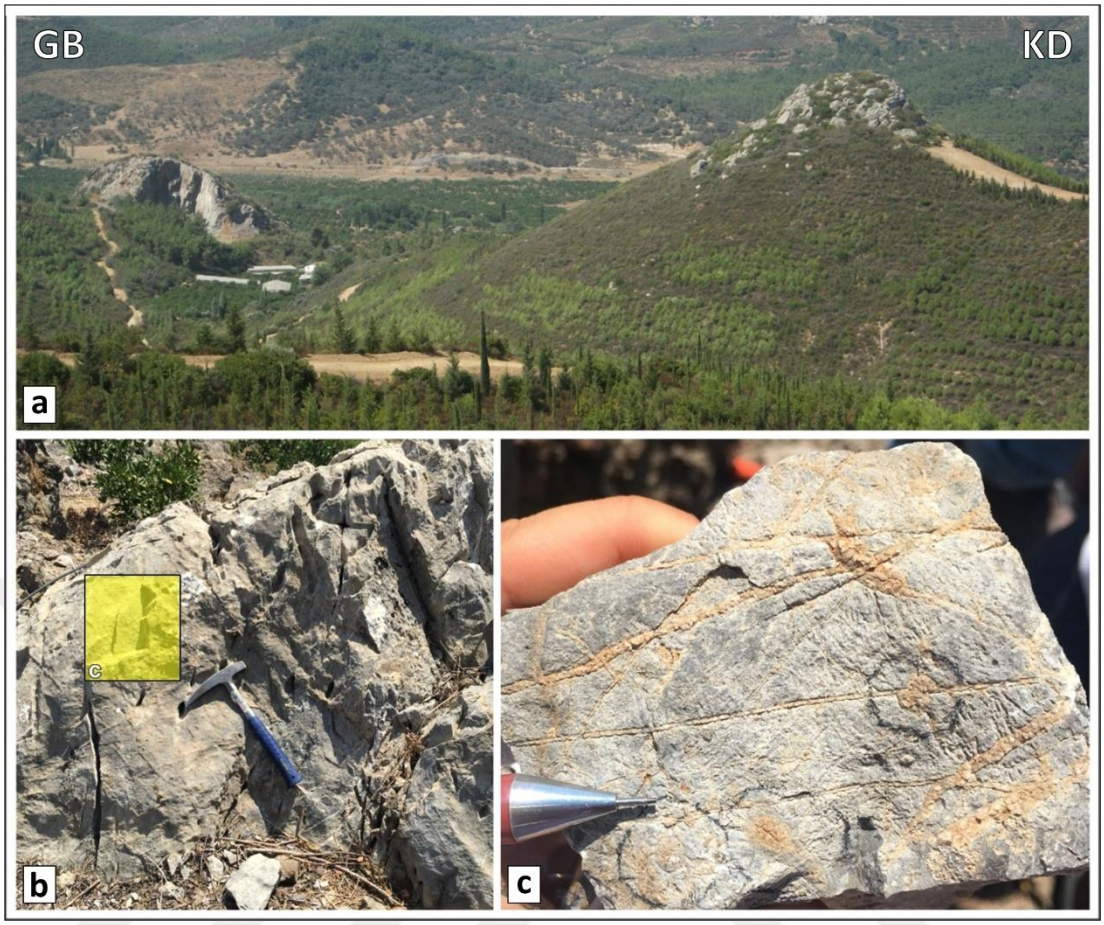
İzmir flişinin bloklu yapısını irdeleyen çok sayıda ayrıntılı çalışma bulunur. Erdoğan (1990a, 1900b), Bornova karmaşığının, Karaburun Kuşağı'na ait Triyas-

Kampaniyen-orta Maastrihtiyen arasında değişen yaşlarda ve farklı fasiyeslerdeki kireçtaşları ile serpantinit, mafik volkanit gibi çeşitli bloklar/megabloklar kapsadığını saptamıştır. Okay ve Siyako (1993), Bornova Fliş Zonu içinde, Triyas, Jura ve pelajik Geç Kretase yaşlı kireçtaşı blokları ile spilit, şeyl, radyolarit ve ultramafit blokları ayırtlamışlardır. Okay ve diğer. (2011, 2012) Bornova Fliş Zonu'nda, Geç Triyas"tan Kretase'ye kadar değişen yaşlarda sığ denizel platform tipi karbonat blokları, Üst Triyas sığ denizel karbonatları üstünde yer alan ve Jura'dan Kretase'ye kadar değişen yaşlardaki pelajik karbonat blokları, radyolaryalı çört (Orta Triyas-Kretase arası değişen yaşlarda), ultramafik kaya, gabro ve diyabaz blokları bulunduğunu bildirirler. Flişin matriksi içinde yer alan değişik yaşlarda denizel kireçtaşı (KTi[k]), genellikle altere diyabaz, bazalt-spilit, (KTi[d]), serpantinit (KTi[s]) blokları/megablokları; olası bir tektonik dilim olarak çalışma alanı haritasında gösterilmiştir (Göktaş ve Çakmakoğlu, 2017).

2.1.2.1 Kireçtaşı Blokları

Bloklar, farklı denizel ortamların ürünü olan ve Geç Permiyen'den Maastrihtiyen'e kadar değişen yaşlardaki karbonat kayalarından oluşur. Eşder (1988), yaşları Geç Permiyen ile Senomaniyen-Maastrihtiyen arasında değişen ve çoğunluğu Triyas-Jura yaşlı olan blokları haritalamıştır.

Kumtaşı-çamurşeyl biriminden yapılı kırıntılı matriks içerisinde yer alan ve matrikse göre dayanımı daha yüksek olduğu için inceleme alanındaki yüksek kotlu tepeler ile dik yamaçlarda yüzlek veren gri-koyu gri renkli birim olarak gözlenir. Kireçtaşı birimi, belirtilen bu alanlarda bloklar halinde gözlenir (Şekil 2.4a). Bu birimden alınan el örneği makroskobik ölçekte incelendiğinde yüksek rekristalizosyona uğradığı görülür. Rekristalizasyondan az da olsa korunmuş kesimlerinde mercan fosillerine rastlanılmıştır (Şekil 2.4b, c) ve mercan fosillerin varlığı, birimin çökelim ortamının sığ denizel özellikte olduğunun yorumlanmasına kaynaklık etmiştir. Ayrıca Erdoğan (1990a), İzmir çevresinde yapmış olduğu çalışmada Bornova Karmaşığı olarak isimlendirdiği bu kayaların içerisindeki blok konumlu bazı kireçtaşlarının da "platform türü kireçtaşı" olduğunu belirtmiştir.



Şekil 2.4 (a, b) Kumtaşı-çamurşeyl biriminde yüksek kotlu tepelerde gözlenen kireçtaşı blokları (c) Kireçtaşı bloklarının içerdiği mercan fosilleri (Koordinat: 0492798/4217128) (Kişisel arşiv, 2016)

2.1.3 Çatalca Formasyonu

Çubukludağ grubunun gözlenebilen en alt bölümünde yer alan Çatalca formasyonu (Genç ve diğer., 2001), kömürlü bataklık düzeyleri içeren gölsel süspansiyon çökelleriyle başlar ve esas olarak deltaik çökellerden oluşur (Şekil 2.5). Formasyon, ilk kez Eşder ve Şimşek (1975)'te "Alt horizon" başlığı altında yöntemsiz tanımlanmıştır. Tortul istif, Eşder (1988)'in tanımladığı Bahçecik formasyonunun alt bölümüne karşılık gelir. Çatalca formasyonu, havzanın kuzey bölümünün batı kenarında, Tuzla fayının KD-GB uzanımına koşut olarak yanal süreksiz dar bir koridor şeklinde yüzeylenir. Fayın günümüze kadar süren etkinliğine bağlı olarak, havzanın güney bölümünde Bahçecik formasyonu altına gömülerek sıfırlanır. Aynı nedenle stratigrafik tabanı gözlenemeyen istifin görünür kalınlığı, 185 metre ile 145 metre arasında değişir (Göktaş, 2019).



Şekil 2.5 Çatalca formasyonunda gözlenen kumtaşı-çamurtaşı-çakıltaşı sekansı (Koordinat: 0504276/4233098) (Kişisel arşiv, 2020)

Çatalca formasyonu istifinin alt bölümlerinde kömürlü bataklık düzeyleri içeren ince kırıntılı gölsel çökellerden oluşur. Büyük ölçek çapraz katmanlı çakıltaşı-kumtaşı topluluğu ile simgelenen kaba kırıntılı delta çökellerinin egemen olduğu üst bölümün, tatlı su algli bir kireçtaşı düzeyi ile sonlandığı kabul edilmiştir. İstif genelinde alttan üste, su altı dağıtım kanalları ve/ya da küçük ölçekli delta lobları olarak yorumlanan çapraz katmanlı kırıntılı düzeylerin giderek artan oranda tortullaşmaya katılması, ortalama tane boyu üste doğru kabalaşan regresif bir istif oluşturur. Birimin yayılım alanı içinde, KD'dan GB'ya doğru kumtaşı-çakıltaşı topluluğunun kümülatif kalınlığında belirgin artış görülür. Ölçülü stratigrafi kesitlerine göre, Kurbağalı Dere'de ince kırıntılı çökellerin egemen olduğu gölsel istif içinde %25 oranında bulunan çapraz katmanlı kumtaşı-çakıltaşı topluluğu, GB'daki Balaban Dere'ye doğru %50 oranına yaklaşır (Göktaş, 2019) (Şekil 2.6).

Tortul istifin yaklaşık 80 metre ile 47 metre arası görünür kalınlıklardaki alt bölümünde, çapraz katmanlı kumtaşı-küçük çakıltaşı seyrek arakatkıları içeren gölsel çökeller egemendir. Gölsel çökeller, baskın olarak kil-silt karmaları ile az oranda ince taneli kumtaşlarından oluşur ve seyrek olarak killi kireçtaşı arakatmanları kapsar.



Şekil 2.6 Çatalca formasyonunda gözlenen türbiditik kumtaşı-çamurşeyl ardalanması (Koordinat: 0504266/4233097) (Kişisel arşiv, 2020)

Bataklık çökelleri ile başlayan gölsel istifin gözlenebilen en alt bölümünde, 80-110 cm arasında değişen kalınlıklarda üç ayrı kömür düzeyi bulunur. İstifin kalan bölümü, az belirgin yatay katmanlı ince kumtaşı ve değişen oranlarda kil-silt karmalarından yapılı çamurtaşı-marn düzeylerinden oluşur. Az belirgin yatay katmanlı kumtaşı düzeyleri içinde, seyrek olarak desimetrik kalınlıklarda masif çamurtaşı arakatmanları bulunur. Tortul istifin üst bölümleri, ağırlıklı olarak deltaik çökellerden oluşur ve çapraz katmanlı çakıltaşı aradüzeyleri kapsayan kumtaşı egemen istifiyle simgelenir. Kalınlık artışı gösteren ve toplam 90 metre ile en yüksek kalınlık değerine ulaşan çapraz katmanlı kumtaşı egemen istifin %70'i kumtaşı, %30'u çakıltaşı ağırlıklıdır. Delta çökeliminin başlangıcı kabul edilen ilk çakıltaşı düzeyi yoğun karbonat çimentoludur ve topoğrafyada çıkıntı yaparak Kurbağalı Dere ile Sarımustafa Dere arasında yanal sürekli uzanır. Kumtaşı-çakıllı kumtaşı topluluğu genellikle kaba taneli, yüksek dokusal olgunlukta (tane destekli, iyi boylanmış) ve büyük ölçek çapraz

katmanlıdır. Sarımustafa Dere vadisindeki soluk sarı renkli kumtaşları zayıf pekişmiş ve dayanımsız olduklarından çok az yüzlek verirler. Tortul istifi üstten sınırladığı kabul edilen kireçtaşı düzeyinin altındaki kaba-çok kaba taneli kumtaşı düzeyi, kalınlığı, topografik çıkıntı yapması ve yanal sürekliliği ile diğer kumtaşı düzeylerinden ayrılır. İyi boylanmış, tane destekli paketlenmiş ve taneler arası birincil gözeneklilik korunmuştur. Kum taneleri karbonatla çimentolanmış olduğundan iyi pekişmiştir. Başlıca kaya türü bileşenleri, Bornova Fliş Zonu içinde blok olarak bulunan Mesozoyik karbonatlarından türemiştir (Göktaş, 2019).

Kaba taneli delta çökelimini yansıtan çakıltaşı litofasiyesi, büyük ölçek çapraz katmanlı ya da içyapısı belirgin olmayan ara düzeyler olarak kumtaşı egemen istif içinde yer alır. Kalınlıkları 3-5 metre arasında değişen düzeyler çok katlıdır ve karbonat çimentoyla tutturulmuş olduklarından kumtaşı egemen istif içinde topografik çıkıntı yaparak yanal yönde izlenirler. Taze kaya rengi açık gridir. Yersel olarak alacalı kırmızı kesimlerine rastlanır. Tane büyüklükleri 2-20 mm arasında değişmekle birlikte, 5-10 mm arasındaki çakıllar çoğunluktadır ve boylanma genel olarak iyidir. Küçük çakıl sınıfının üst sınırına (64 mm) yaklaşan boyutlardaki çakıllara seyrek olarak rastlanır. Çakıllar genellikle iyi yuvarlanmıştır. Çakılların büyük çoğunluğu, Mesozoyik yaşlı karbonat kayalarından türemiştir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Çatalca formasyonunda gözlenen kumtaşı içinde çapraz tabakalı çakıltaşı seviyeleri (Koordinat: 0504595/4232751) (Kişisel arşiv, 2020)

Diğer çakıllar flişin matriksinden aktarılmıştır. Paketlenme hamur desteklidir. Hamur, tane destekli, iyi boylanmış ve sıkı pekişmiş kaba kumla simgelenir. Yanal ve düşey yönde, küçük çakıltaşından ince çakıltaşına, ok kaba ve kaba kumtaşına derecelenmeler olağandır. Çakıltaşı litofasiyesi içinde yer alan kaba-çok kaba kumtaşı mercekleri içinde, genellikle çapraz katmanlanmaya uygun dizilim gösteren küçük çakıl ve çakılcık içerikleri yaygın olarak bulunur (Göktaş, 2019).

İzmir flişi ile sınır oluşturacak şekilde havzayı batıdan sınırlayan Tuzla Fayı'nın düşey bileşenleri nedeniyle, Çatalca formasyonu istifinin stratigrafik tabanı gözlenmez. Bahçecik formasyonu, Çatalca formasyonu üzerine açık olmayan bir uyumsuzlukla gelir. Çatalca formasyonu tortullaşmasını yaşlandırabilecek dolaysız kronolojik veri yoktur. Tortul istifi uyumsuzlukla üzerleyen Bahçecik formasyonunun Kocaçay havzasındaki korelanlarında Kaya ve diğer., (2007) tarafından tanımlanan MN4 biyozonuna ait küçük memeli bulgularına dayanılarak, çökelimin geniş anlamda Erken Miyosen'de geliştiği kabul edilmiştir. Genç ve diğer., (2001), birimin bölgesel eşleniklerine göre Erken-Orta Miyosen yaşlı olabileceğini önermişlerdir (Göktaş, 2019).

2.1.4 Yamanlar Volkanitleri

Batı Anadolu'da Miyosen'de volkanizma İzmir-Edremit arasında geniş bir alanda etkinlik göstermiştir. Miyosen'de göl havzalarında sedimantasyon devam ederken bir yandan da volkanik aktiviteler meydana gelmiştir. Sonuç olarak flüviyal ve gölsel fasiyese sahip Miyosen yaşlı formasyonlar, kırıntılı ve karbonatlı birimlerden ve birimlere karışmış bir volkanizmadan yapılıdır. Bölgesel özellikleri üzerinde yoğun çalışmalar yapılan Miyosen volkanizması Erken Miyosen'de başlayarak çeşitli evrelerle Geç Miyosen sonlarına kadar devam etmiştir (Ercan ve diğer., 1996). Kaya (1981)'de volkanizmanın iki ayrı dönemde gerçekleştiğini ve bunlardan ilk evre olan Erken Miyosen volkanizmasının ortaç karakterde olduğunu, Geç Miyosen'de ise silisik karakterde olduğunu belirterek bu iki aktif volkanik evre arasında (16,2-12,5 milyon yıl arası) durgun bir dönemin varlığını belirtmektedir. Volkanik birimleri çeşitli bileşimdeki lav örtüleri ve tüfler oluşturmaktadır. Literatürde Yamanlar

volkanitleri olarak tanımlanan Erken-Orta Miyosen yaşlı volkanitler genellikle kalk-alkalen niteliktedir. Bunlar dasit, andezit bileşimli lav akıntılarından, piroklastik kayaçlardan, dayklardan, dasitik, andezitik ve riyolitik bileşimdeki domlardan, tüf ve aglomeralardan oluşmaktadır. Özellikle andezitler, dik konumlu soğuma çatlakları ve yatay/eğik düzgün yüzeyli akma yapılarına sahiptir. Andezitler ileri derecede ayrışmış, kaolinize olmuş, yersel olarak da az ayrışmış konumdadır. Genellikle kalınlığın fazla olduğu yerlerde yapılaşma açısından olumlu zemin oluşturmaktadır. Miyosen öncesi birimlerin üzerine geldikleri yerlerde volkanik kayaların tabanında ince bir çakıltaşı veya çakıllı tüf seviyesi yer almakta ve kalın tabakalı tüflerden sonra aglomaralara ve lav örtülerine geçilmektedir. Çoğu kesimlerde düzensiz tabakalar şeklinde akma gösteren lavlar, tüfler ile ardalanmalıdır (Akdeniz ve diğer., 1986).

Yamanlar volkanizmasının yaşını belirlemeye yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar, volkanizmanın yaklaşık 19-15 milyon yıl aralığında gerçekleştiğini göstermiştir (Borsi ve diğer., 1972; Savaşçın, 1978; Ercan ve diğer., 1996).

2.1.5 Bahçecik Formasyonu

Çubukludağ bölümünde ilk kez Eşder, (1988) tarafından tanımlanan Erken Miyosen yaşlı Bahçecik formasyonu, tortul istifin inceleme alanında yüzeyleyen üst bölümünü oluşturur ve kumtaşı arakatkıları içeren çakıltaşı egemen istifiyle simgelenir ve gölsel kireçtaşı ara düzeyleri kapsar (Şekil 2.8).

İstif içinde, çakıltaşı-kumtaşı ardışık bölümlere de rastlanır. Kızıl-bordo renk dağılımı karakteristiktir. Çökeller, genellikle karbonat, kısmen demir bileşikleriyle çimentolanmış ve sıkı pekişmiştir. Çok katlı tortullaşma birimleri oluşturan çakıltaşları genellikle masif, daha az oranda çapraz katmanlıdır (Şekil 2.9). Çapraz katmanlanmanın belirginleştiği küçük çakıltaşı düzeyleri, alacalı renkli ve kaba-çok kaba taneli kumtaşı mercekleriyle birlikte bulunur. Çakılların çoğu, İzmir flişi içindeki kireçtaşı bloklarından türemiştir. Flişin matriksinden türemiş çakıllar ve beyaz kuvars çakılları az orandadır. Gölsel kireçtaşı ara düzeyleri, tatlı su algli ve/veya mikritiktir. Koyu gri renkli ve orta-kalın katmanlı olan kireçtaşlarındaki tatlı su alg içeriklerinin

çoğu ince dallı alg parçalarının oluşturduğu yığışımlarla simgelenir. Mikritik kireçtaşı düzeyleri düzgün ince katmanlıdır. İzmir flişi üzerinde açılı uyumsuzlukla çökelen birimin üzerine, düşük açılı uyumsuzlukla Yeniköy formasyonu gelir (Göktaş ve Çakmakoğlu, 2017).



Şekil 2.8 Bahçecik formasyonuna ait içinde intraklastlar bulunan mikritik kireçtaşı düzeyleri (Koordinat: 0503341/4231044) (Kişisel arşiv, 2020)

Bahçecik formasyonu tortullaşmasını yaşlandıran biyokronolojik literatür verisi yoktur. Tortul istifin üst bölümündeki çökellerin Kemalpaşa-Torbalı havzasındaki olası karşılıklarında, MN4 biyozonu (17-18 My arası) ile deneştirilen küçük memeli fosillerinin tanımlandığı bilinmektedir (Kaya ve diğer., 2007). Bu dolaylı veriye dayanılarak, Bahçecik formasyonu tortullaşmasının geniş anlamda Erken Miyosen'de geliştiği ve tortullaşmanın Orta Miyosen'e çıkmadığı kabul edilmiştir. Bahçecik formasyonu, gölsel yelpaze deltası çökelimini yansıtan su altı akarsu çökellerinden oluşur ve tatlı su algli kireçtaşı ara düzeyleri kapsar (Göktaş ve Çakmakoğlu, 2017).

Tortul istifin kızıl-bordo renkli çakıltaşı-kumtaşı ardalanmasından oluşan ve gölsel kireçtaşı ara düzeyleri kapsayan üst bölümü, Kemalpaşa-Torbalı alt havzasındaki yelpaze deltası çökellerinin ("Kemalpaşa formasyonu": Kaya ve diğer., 2007;

"Dereköy formasyonu": Sözbilir ve diğer., 2011; "Kesmedağı formasyonu": Göktaş, 2012) zaman-kaya stratigrafik korelanıdır (Göktaş ve Çakmakoğlu, 2017).



Şekil 2.9 Bahçecik formasyonuna ait masif çakıltaşı birimi (Koordinat: 0503366/4230665) (Kişisel arşiv, 2020)

2.1.6 Yeniköy Formasyonu

Eşder (1988)'in önerisi doğrultusunda Bahçecik formasyonu üzerine uyumsuzlukla geldiği kabul edilen Yeniköy formasyonu, Çubukludağ havzasını batıdan sınırlayan eski Tuzla Fayı önünde gelişmiş kompozit yelpaze deltası çökelleri ve yanal ilişkili gölsel çökellerden oluşur. Birimin adı Eşder, (1988)'den alınmıştır. Tortul istifin toplam kalınlığı yaklaşık 1000 metrenin üzerindedir (Göktaş, 2019).

Yeniköy formasyonunun çökelim yaşı, Cumaovası volkanitlerinin jeokronolojisine göre (13,8 My ile 12,5 My arası) belirlenmiş ve tortullaşmanın dar anlamda erken Orta

Miyosen'de geliştiği kabul edilmiştir. Genç ve diğer., (2001)'nin tanımladığı ve Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı kabul ettiği Yeniköy formasyonu, erken Orta Miyosen'den Erken Pliyosen'e kadar yaşlandırılan stratigrafi birimlerini harita birimi olarak topluca kapsamaktadır. Bölümün genelleştirilmiş stratigrafisinde, çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kiltaşı topluluğundan oluşur (Şekil 2.10). Cumaovası volkanitlerinin sinsedimanter yerleşimiyle tortullaşması sona eren Yeniköy formasyonu, esas olarak erken Orta Miyosen çökelimini yansıtır (Göktaş, 2019).



Şekil 2.10 Yeniköy formasyonuna ait kumtaşı birimi (Koordinat: 0503938/4230630) (Kişisel arşiv, 2020)

Birimin alt bölümü, kanal dolgusu çakıltaşı-kumtaşı topluluğundan oluşur. İzmir filişinden türeme bileşenlerden oluşan istif, genel olarak kızıl-bordo renklidir. İstif içinde seyrek olarak birkaç desimetre kalınlığında gölsel kireçtaşı ara düzeyleri yer alır (Göktaş, 2019) (Şekil 2.11).

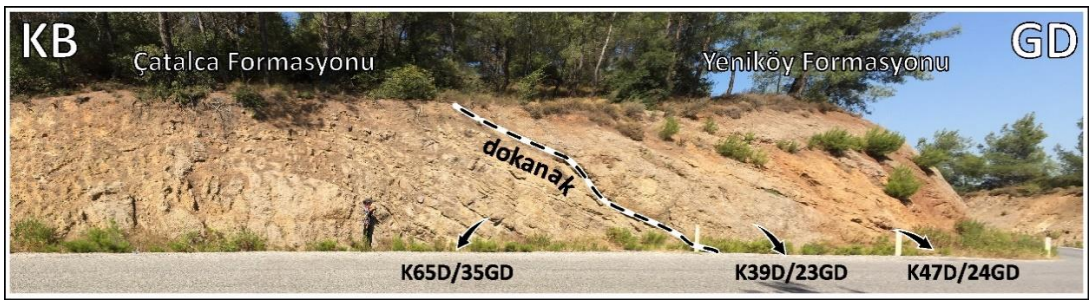
İnceleme alanı kuzeyinde (Yeniköy çevresi), birimin üst bölümündeki gölsel şeyl istifine yanal giriklikle yerleştiği gözlenir. Yeniköy formasyonu, akarsu egemen

yelpaze deltası çökellerinden oluşur. İstifin alt bölümü su üstü (subaerial), daha yaygın olan üst bölümü su altı çökelimini yansıtır (Göktaş ve Çakmakoğlu, 2017).



Şekil 2.11 Yeniköy formasyonu içinde gözlenen kireçtaşı merceği (Koordinat: 0503959/4230648) (Kişisel arşiv, 2020)

Çalışma alanının orta bölümlerinde Yeniköy formasyonu, Çatalca formasyonunu açısal uyumsuzlukla üzerlediği yüklek net bir şekilde gözlenip, ölçülmüş ve fotoğraflanmıştır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 Yeniköy formasyonu ve Çatalca formasyonu arasındaki ilişkiyi gösteren yüzlek (Koordinat: 0504595/4232751) (Kişisel arşiv, 2020)

2.1.7 Cumaovası Volkanitleri

Altta piroklastikler ile üstte domlar/dom-akıntılar şeklinde yerleşmiş lavlardan oluşan Cumaovası volkanitleri, Çubukludağ alt havzasında geç Orta Miyosen başlarında etkinleşen kalk-alkali riyolitik volkanizmayı yansıtır. Çubukludağ alt

havzasındaki riyolitik volkanitlerin varlığına ilk kez Akartuna (1962) değinmiştir. Öncü çalışmalar Zucchi (1970) ile başlamış, Innocenti ve Mazzuoli (1972), Borsi ve diğer. (1972) ile devam etmiştir ("Izmir-Lebedos rhyolites"). Riyolitik volkanizma ürünleri, Eşder ve Şimşek (1975)'ten itibaren "Cumaovası volkanitleri" adıyla anılmıştır (Eşder ve Şimşek, 1976; Özgenç, 1975, 1978; Eşder, 1988; Genç ve diğer., 2001; Wipp, 2006; Uzel ve Sözbilir, 2008; Karacık ve Genç, 2009, 2011, 2012; Karacık, 2011; Karacık ve diğer., 2011).

2.1.7.1 Piroklastik Üyesi

Cumaovası volkanitlerinin alt bölümlerine, temel türbülansı, kül döküntüsü ve zayıf kaynaklı ignimbirit fasiyesleri ile simgelenen piroklastikler egemendir. İzleyen bölümlerde, temel türbülansı ara düzeyleri ile ayrılan ignimbirit üniteleri baskındır. Kaba volkanoklastlı piroklastik yoğunluk akıntısı fasiyeslerinden oluşan üst bölümler, ignimbirit ve bloklu kül akması ünitelerinden yapılıdır. İstif genelinde, fasiyes değişimine bağlı olarak piroklastik düzeylerin tekil ve tümel kalınlıkları ile içerdikleri türdeş lav klastlarının kül matrikse oranı ve boyutları alttan üste doğru artış gösterir (Göktaş, 2013; Göktaş ve Çakmakoğlu, 2017).

2.1.7.2 Lav Üyesi

Cumaovası volkanizmasını ekstrüzif evresi, domlar ve dom-akıntılar şeklinde yerleşmiş riyolit lavları ile simgelenir. Genellikle bloksu ayrışmalı olan riyolit lavları, mavimsi koyu gri, pembe, kızıl, bordo ve soluk sarımsı gri renkli, akma yapılı ya da masiftir. Yer yer yaygınlaşan gaz boşluklarının çoğu opal ve kalsedonla dolgulanmıştır. Opal dolguları çoğunlukla beyaz ve krem renklidir. Petrografik incelemelerde riyolit olarak tanımlanan lavlar vitrofirik ya da porfirik dokuludur. Başlıca fenokristaller kuvars ve sanidindir; az oranda plajiyoklaz ve biyotite rastlanır. Kuvars fenokristalleri, genellikle iri ve çatlaklı, özşekilli ya da yenmiştir. Genellikle karlsbad ikizlenmeli ve glomeroporfirik dokuda gözlenen sanidinler, yer yer magmatik korozyona uğramış ve yenmiştir. Az oranda gözlenen plajiyoklazlar, çoğunlukla polisentetik ikizlenmeli ve glomeroporfirik dokuludur. Seyrek olarak elek dokusu

gösteren plajiyoklazlara rastlanır. Nadiren gözlenen biyotit fenokristalleri, kenar ve dilinimlerinden itibaren yer yer tamamen opaklaşmıştır. Hamurda devitrifikasyon, akma dokusu ve sferülitik doku özellikleri yaygın olarak gözlenir. Ana element oksit bileşimlerinin yansıtıldığı Le Bas ve diğer., (1986)'nin toplam alkali-silis diyagramında riyolit olarak adlanan lav örneklerinin tümü subalkali bölümde yer alır ve kalk-alkali karakterlidir (Göktaş ve Çakmakoğlu, 2017).

Göktaş (2013), lavlardan aldığı 13,8 My ile 13,0 My arasında değişen K/Ar yaşlarına göre Cumaovası volkanizmasını geç Orta Miyosen yaşlı olduğunu ileri sürer (Aynı çalışmada, Urla-L17 paftasına giren Karadağ Tepe kompozit domundan 13,5±0,4 My K/Ar yaşı alınmıştır). Genelleştirilmiş stratigrafide Cumaovası volkanitleri, erken Orta Miyosen yaşlı Yeniköy formasyonu çökellerini sinsedimanter olarak üstler (Göktaş ve Çakmakoğlu, 2017).

2.1.8 Akçaköy Formasyonu

Cumaovası volkanitlerinden türeme bloktaşı, çakıltaşı, çakıllı kumtaşı topluluğundan oluşan ve alttan üste tane boyu incelmesi gösteren tortul istif, Geç Miyosen tortullaşmasının başlangıcını belgeler ve alüvyon yelpazesi ortamında çökelimi yansıtır. Akçaköy formasyonu, Geç Miyosen havzasının çalışma alanı içine giren batı kenarındaki tortullaşmayı temsil eder. Bölgenin stratigrafisinde, Gaziemir Geç Miyosen havzasının doğu kesiminde çökelen Ayrancılar formasyonunun (Göktaş, 2012) batıdaki korelanı olarak yorumlanmıştır. Birimin başlıca yüzlekleri Menderes (Cumaovası) ilçe merkezi çevresindedir. Menderes-Kemalpaşa Mahallesi'nde DSİ tarafından yapılan araştırma sondajı (DSİ-0023) verilerine göre Akçaköy istifinin maksimum kalınlığı 330 metrenin üzerindedir (Göktaş, 2019).

Tortul istif alttan üste ve Tuzla fayının sınırladığı havza kenarından doğuya doğru tane boyu incelmesi gösterir. Akçaköy-Görece hattının batısında, daha çok örgütlenmemiş bloktaşı ve bloklu iri çakıltaşı ile simgelenen moloz akması fasiyesindeki proksimal çökeller yüzeylenir. Proksimal kesimde, başlıca bileşenleri Cumaovası volkanitlerinden aktarılmış olan kaba taneli çökeller, gri renkli ve belirsiz

katmanlıdır. Stratigrafik olarak üste ve genel sedimantasyon yönüne uygun olarak GD'ya doğru, moloz akması düzeyleri içinde yer alan blok ve iri çakıl boyutları giderek küçülür ve boylanmamış çakılcıktaşıkaba kumtaşı karmalarından oluşan matriks oranı artar. Aynı yönde, alüviyal çökelimin medyal kesimlerine doğru, kanal dolgularıyla simgelenen örgülü akarsu çökelleri egemenlik kazanır ve ayrışma rengi genel olarak soluk kırmızıya döner. Genelleştirilmiş stratigrafide, geç Orta Miyosen yaşlı Cumaovası volkanitleri üzerinde yer alan Akçaköy formasyonu, Menderes batısındaki yayılım alanı içinde Bahçecik formasyonu, Yeniköy formasyonu ve Cumaovası volkanitlerini açılı uyumsuz dokanaklarla örter (Göktaş, 2012).

Birimin üzerine, yanal-düşey geçiş ilişkisiyle Buca formasyonunun gölsel çökelleri gelir. Pancar-Yenibulgurca-Oğlananası çevrelerindeki arazi gözlemleri ve DSİ sondaj verilerine göre, Akçaköy alüviyal çökellerinin Buca gölsel istifine alttan üste yanal girik gelişim gösterdiği değerlendirilmiştir (Göktaş, 2019).

2.1.9 Buca Formasyonu

Buca formasyonu gölsel kireçtaşı ve yeşil renkli kiltaşı istiflerinden oluşur. Birim, çalışma alanının KD kesiminde yüzlek verir. Kireçtaşı-dolomitik kireçtaşının ayrışma yüzeyi beyazımsı gri, taze kaya ise bej ya da açık gri renklidir. Genellikle orta-kalın katmanlı olan kireçtaşı istifin altından üstüne doğru katmanlanma giderek kalınlaşır ve katmanlanma düzlemlerine koşut yoğunlaşmış algal düzeyler ortaya çıkar. Kireçtaşlarının bölümsel ve tümsel silisleşmiş kesimleri belirsiz kalın katmanlıdır ve düzensiz çört nodülleri kapsar. Tortul istif, genellikle yeşil renkli kiltaşı aradüzeyleri kapsar. Kiltaşı katmanları çoğunlukla masif ve desimetrik kalınlıklardadır. Metrik kalınlıklara ulaşan kiltaşı düzeyleri içinde killi kireçtaşı-dolomitik kireçtaşı arakatmanları bulunur (Göktaş, 2019) (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 Yol yarmasında gözlenen Buca formasyonuna ait kireçtaşı arakatmanlarına sahip kiltaşı birimi (Koordinat: 0518066/4249878) (Kişisel arşiv, 2015)

2.1.10 Pliyo-Kuvaterner Birimler

Plio-Kuvaterner birimleri, açısal uyumsuzluk ile ayrılmış iki karasal istiften oluşur. Bunlar yaşlıdan gence; Görece formasyonu ve güncel alüvyon olarak sıralanmıştır.

2.1.10.1 Görece Formasyonu

Uzel ve Sözbilir (2008)'de tanımlanan Görece formasyonu, Cumaovası havzasının genel olarak orta kesiminde, Görece, Gaziemir ve Buca yerleşimlerinin yakınlarında yüzeylemektedir. Tüm istif 50 m'den daha kalın ve üç tortul fasiyese bölünebilir. Bunlar; Matriks destekli masif breş, masif/ince tabakalı çakıltaşı ve masif kumtaşı merceklerine sahip çapraz tabakalı çakıltaşıdır (Uzel ve Sözbilir, 2008).

Matriks destekli masif breş fasiyesi, genellikle kırmızı renkli, kötü boylanmış, orta ila kalın tabakalı ve gevşek çimentolu çakıltaşlarıyla karakterizedir. Birkaç metre kalınlığa kadar. Görece köyünün doğusundaki bir birimden alınan bir referans bölümüne göre, çakıllardan kayaya kadar çakılların boyutları değişmektedir. Klastlar kahverengimsi çamur matrisinde geniş bir şekilde dağılmışlardır ve rastgele yönelim gösterirler. Masif/kötü tabakalı konglomera fasiyesleri, iyi sıralanmış kırmızımsı kahverengi kum ve silt matriksine veya klast destekli kumaşa sahiptir. Cumaovası köyünün kuzeyindeki birimden alınan bir referans kesitine göre boyut olarak granülden kayaya kadar değişmektedir. Çoğu klip rastgele yönler gösterir, ancak bazıları akış yönüne yöneliktir. Sırada genellikle normal ve/veya ters derecelendirme gözlenir. Bazı birimler nadiren tabakalanma ve küçük ölçekli çapraz tabakalanma

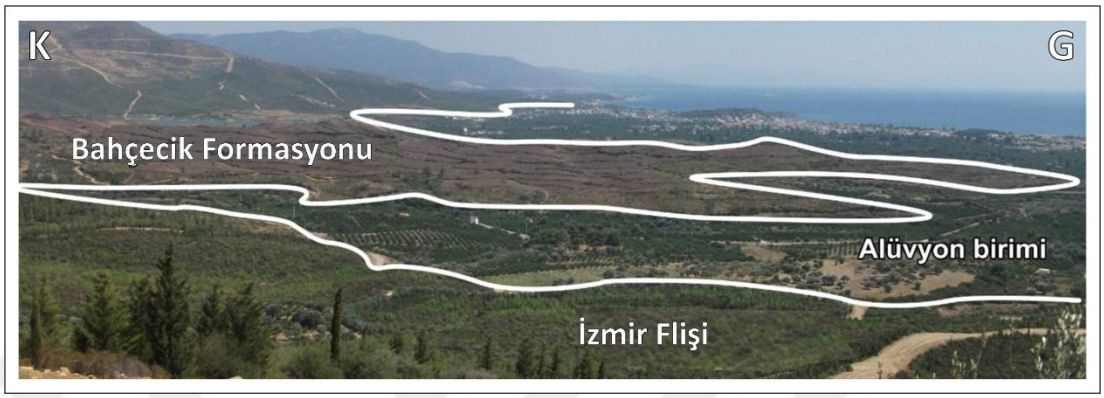
içerir. Fasiyesler genellikle çapraz tabakalı konglomera (fasiyes IIB) ve masif kumtaşı (fasiyes III) ile ara tabakalıdır. Masif kumtaşlarına sahip bazı sınırlar da aşınmaktadır. Masif kumtaşı fasiyesi (FIII), az miktarda konglomera ve silttaşı içeren masif, kötü-orta boylanmış, sarımsı kırmızı kumtaşı birimleri ile karakterizedir. Pakette, bazı izole çakıllı kumtaşı mercekleri ve yükseliş eğilimi gösteren tabakalar bulunur. Bazı birimler kanal dolgu çakıltaşı içerir ve ayrıca nadiren organik parçalar içerir. Bu fasiyes genellikle masif/zayıf tabakalı (fasiyes IIA) ve çapraz tabakalı konglomeralarla (fasiyes IIB) ara tabakalıdır. Büyük konglomeralarla sınırı da erozyona uğramıştır (Uzel ve Sözbilir, 2008).

Görece formasyonu eski havza dolgu birimlerini uyumsuz olarak örter ve yakın zamana ait alüvyon çökelleri tarafından uyumsuz olarak üzerlenir. Çalışma alanına yakın, Sözbilir ve diğer. (2004) Kemalpaşa-Torbalı havzasında muhtemelen Görece formasyonu ile ilişkili olan Plio-Pleyistosen Sütçüler formasyonunu tanımlamıştır. Batı Anadolu grabenlerinin çoğu boyunca yüzeylenen Plio-Pleyistosen çökelleri de Görece formasyonu ile ilişkilendirilebilir (Koçyiğit ve diğer., 1999; Yazıcıgil ve diğer., 2000; Yılmaz ve diğer., 2000; Sarıca 2000; Seyitoğlu ve diğer., 2002; Koçyiğit 2005; Rojay ve diğer., 2005; Emre ve Sözbilir, 2007; Ersoy ve Helvacı, 2007). Batı Anadolu grabenlerindeki stratigrafik karşılığı, Emre (1996)'de tanımlanan Gediz Grabeni'nin güney kesimindeki Asartepe formasyonu, Emre ve diğer., (2006); Sarıca (2000)'da anlatılan Büyük Menderes Grabeni'ndeki Hüseyinciler formasyonu ve Gürer ve diğer., (2001); yaş olarak Plio-Pleistosen olarak kabul edilebilir (Ünay ve diğer., 1995; Ünay ve de Bruijn, 1998; Uzel ve Sözbilir, 2008).

2.1.10.2 Alüvyon Birimi

Değişen oranlarda blok, çakıl ve kum gibi çeşitli boyutlardaki tutturulmamış çökellerden oluşan alüvyonlar çökelme ortamlarına göre ayrılmamıştır. İnceleme alanında belirlenen başlıca alüvyonlar, İzmir Körfezi ile güneydeki Sığacık Körfezi'ne açılan günümüz örgülü akarsularının yardığı vadi tabanlarında, Karaburun Kuşağının Mesozoyik yaşlı karbonat kayaları içinde açılmış karstik çöküntülerde, kıyı gerisinde ve az oranda kumsal fasiyeslerinde depolanmaktadır. Orta-kötü boylanmış çakılların

ve az orandaki kaba kum merceklerinin simgelediği örgülü akarsu çökellerinden oluşan en geniş alüvyonlar, havzayı Sığacık Körfezi'ne boşalan Azmak Dere ve besleyici yan kollarında dolgulanmaktadır (Şekil 2.14).



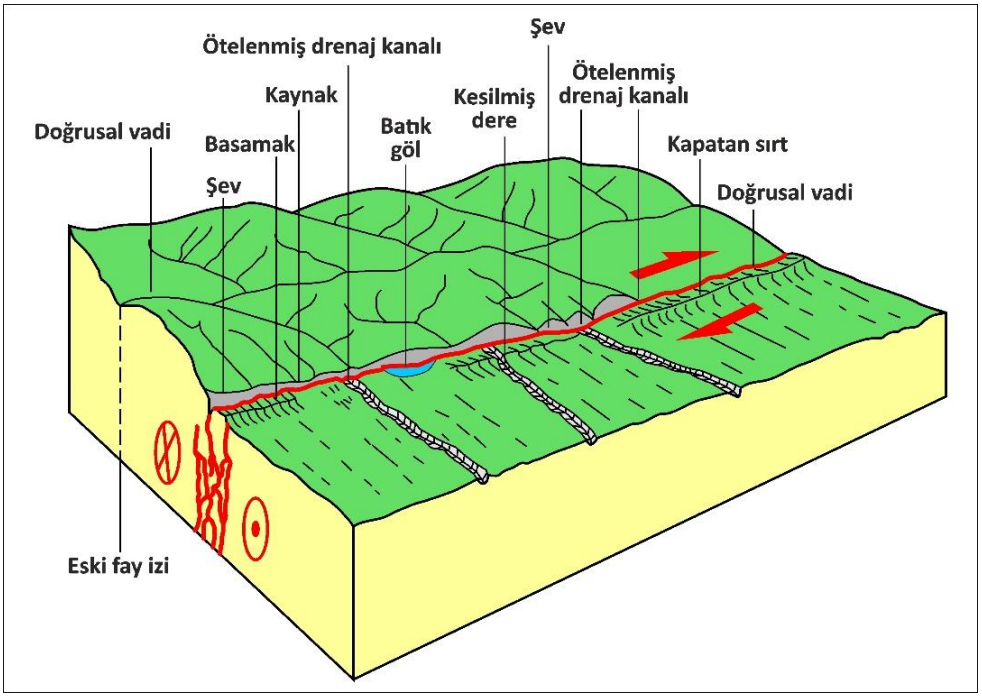
Şekil 2.14 Çalışma alanının güneyindeki alüvyon biriminin yayılımı (Koordinat: 492758/4215191) (Kişisel arşiv, 2016)

Güncel alüvyon normal fayların önünde ve havzanın orta kısmında oluşmuştur. Birim alüvyon yelpaze çökelleri, alüvyon düzlüğü çökelleri ve akarsu çökellerinden oluşur. Alüvyal yelpaze çökelleri, kırmızı-gri, sıralanmamış, gevşek çimentolu, kaya-çakıl boyutlu çökeller ile karakterize edilir. Kırıntılar çoğunlukla Bornova karmaşığının kireçtaşlarından ve Neojen birimlerinden elde edilmiştir. Yelpaze birikintileri alüvyal düz ve alüviyal birikintilere karışır. Alüvyal ova çökelleri Cumaovası ovasında Yobaz Nehri boyunca takip edilebilir. Alüvyal düz çökeller, kil ve silt, matris destekli, gevşek çimentolu kumlar ve organik madde bakımından zengin çamur ve killerden oluşur. Akarsu çökelleri Cumaovası ovasında akarsu kanalları boyunca çökeltilmiş çakıl veya kaya kütlesi çakılları ve kumları ile karakterizedir. Bunlar bölgedeki günümüz drenaj sistemi ile kontrol edilmektedir (Uzel ve Sözbilir, 2008).

BÖLÜM ÜÇ
TEKTONİK JEOMORFOLOJİ

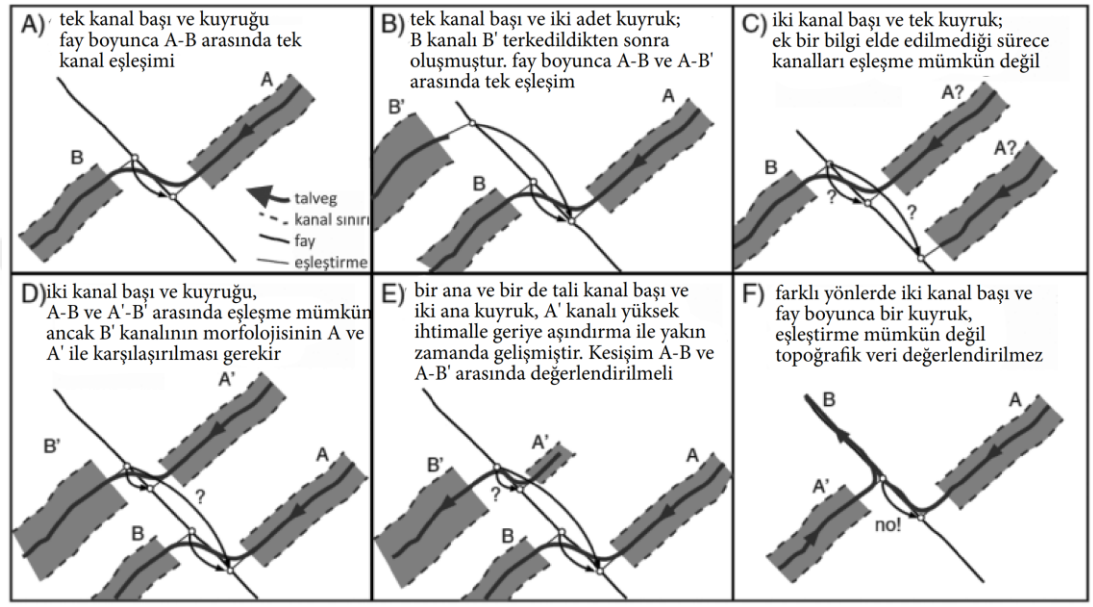
Tektonik olarak aktif bölgelerde yer şekilleri, yer kabuğunun yatay ve düşey hareketleri ile aşınma ve depolanma süreçlerinin karmaşık etkileşimi sonucu gelişirler. Tektonik jeomorfoloji, farklı hız ve etkinlikte yeryüzünü yükseltmeye ve aşındırmaya çalışan iç ve dış kuvvetlerin süregelen rekabetinin anlaşılmasını ve anlamlandırılmasını amaçlayan bir yerbilimi disiplinidir (Burbank ve Anderson, 2012).

Daha yakından bakıldığında, doğrultu-atımlı faylanmanın yükselimi sınırladığı bölgelerde çok karakteristik yer şekillerinin oluştuğu gözlenmektedir. Şekil 3.1'de sunulan şematik çizimde, sağ-yönlü doğrultu atımlı bir fay üzerinde gelişen yer şekillerinin anlatılması amaçlanmıştır. Sağ yönlü doğrultu atımlı fay üzerinde depremler sonucu gelişen deformasyon ve toplam atım, belirgin fay şevlerini, çizgisel vadileri, uzamış sırtları, bel verme ya da çek-ayır çöküntülerini, ötelenmiş akarsu kanallarının gelişimini kontrol etmektedir.



Şekil 3.1 Doğrultu atımlı faylarda gelişen yapılar (Sylvester, 1988; Wallace, 1990'dan değiştirilmiştir)

Tuzla Fayı özelinde bu jeomorfolojik ögelerden doğrusal vadi, ötelenmiş akarsu kanalları, fay şevi ve kapatan sırt yapıları saptanmıştır. Diri bir fayın dik ya da verev bir açıyla kestiği vadilerin ve sırtların dereler boyunca bölgedeki fayların türü ve nitelikleri konusunda bilgi sunarlar. Bununla birlikte fay ile kesilen ve ötelenen derelerin kesiştirilmesi belirli morfolojik kurallara bağlıdır (Şekil 3.2).



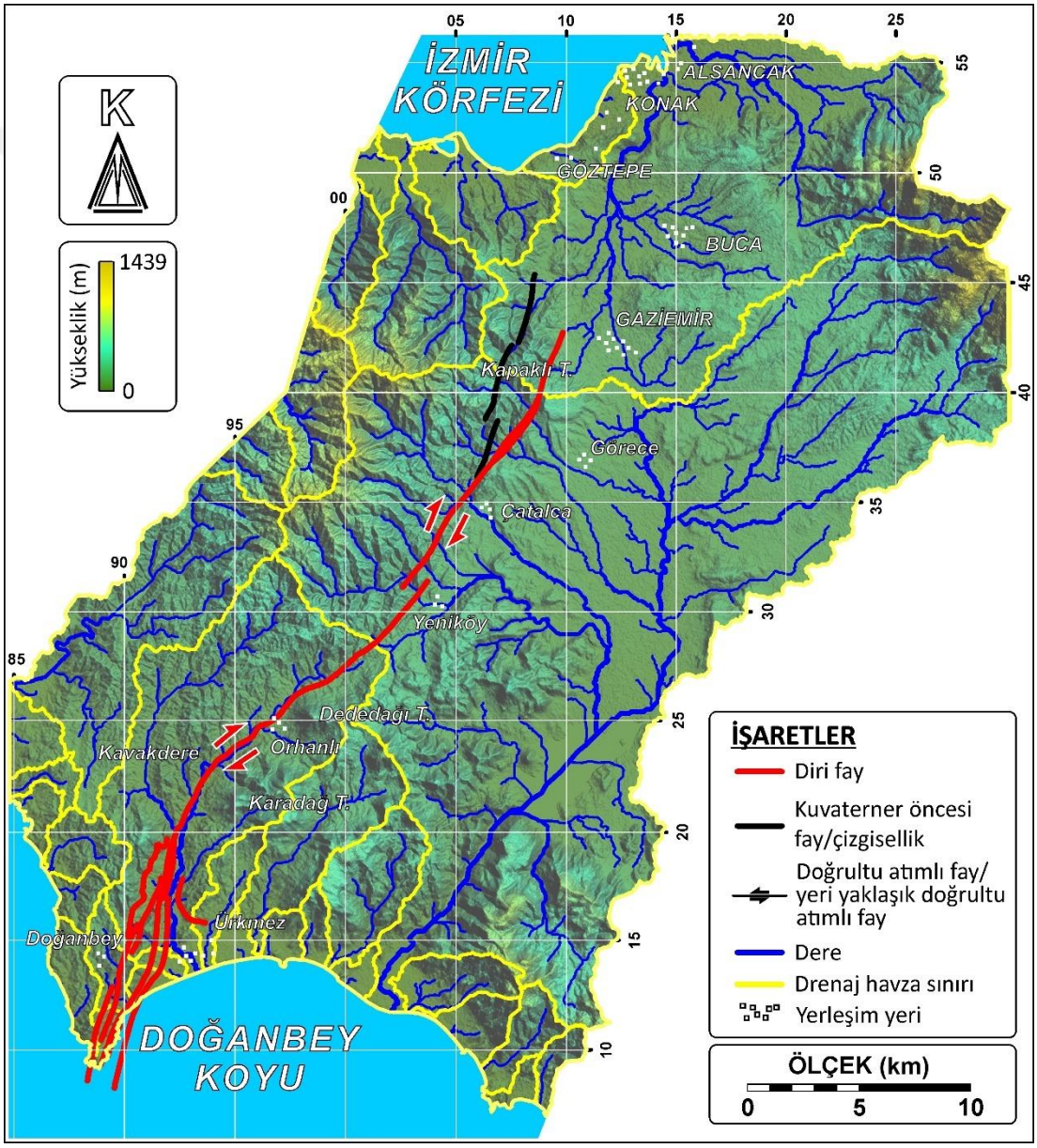
Şekil 3.2 Yatay yönde ötelenen çizgisel yapıların ve akarsu kanallarının ölçülmesi (Zielke ve diğer., 2015; Erturaç, 2016)

Bu bölümde, Tuzla Fayı doğrultusu boyunca gözlenen dere ötelenmeleri ve önceki araştırmalarda saptanan GPS hız vektör verileri yardımıyla bölgenin aktif tektoniğinin açıklanması amaçlanmıştır.

3.1 Jeomorfik Veriler

Bu çalışmada, Tuzla Fayı etki alanındaki drenaj sistemleri haritalanmış olup jeomorfolojik analiz çalışmaları yorumlanmıştır. Dağ önü sinüslüğü, vadi tabanı genişliği-yüksekliği oranı, asimetri faktörü gibi jeomorfik indisler dışındaki, sadece dere ötelenmeleri detaylı bir şekilde hesaplanmıştır.

İlk olarak 12,5 metre çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli haritaları ile Tuzla Fayı'nın sayısal veri seti üst üste çakıştırılarak, fayın morfoloji üzerindeki etkisi gözlenmiştir. Daha sonra ArcGIS programı kullanılarak Tuzla Fayı'nın içinde olduğu drenaj havzaları üretilmiştir. Fay genel anlamda 3 farklı drenaj havzasından geçmektedir. Bu havzaların drene yönleri sırasıyla; Fayın güney bölümündeki havza güneye, orta bölümündeki havza güneydoğu ve güneybatıya, son olarak kuzey bölümündeki havza ise kuzeye drene olduğu saptanmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Tuzla Fayı ve çevresinin drenaj ağı (Diri fay Emre ve diğer., 2018'den alınmıştır)

3.1.1 Dere Ötelenmeleri

Dere ötelenmeleri, doğrultu atımlı fayları tanımlamak ve ötelenmelerin fay atımından kaynaklandığı varsayımı ile jeolojik fay atım hızlarını tahmin etmek için jeomorfik bir gösterge olarak kullanılmaktadır. Ancak, yüzeysel süreçler akış kanallarını da değiştirebilir. Doğrultu atımlı fayların jeolojik kayma oranlarını tahmin etmek için akarsu kanalı ötelemelerini kullanırken yüzeysel süreçlerin daha dikkatli irdelenmesi gerekmektedir.

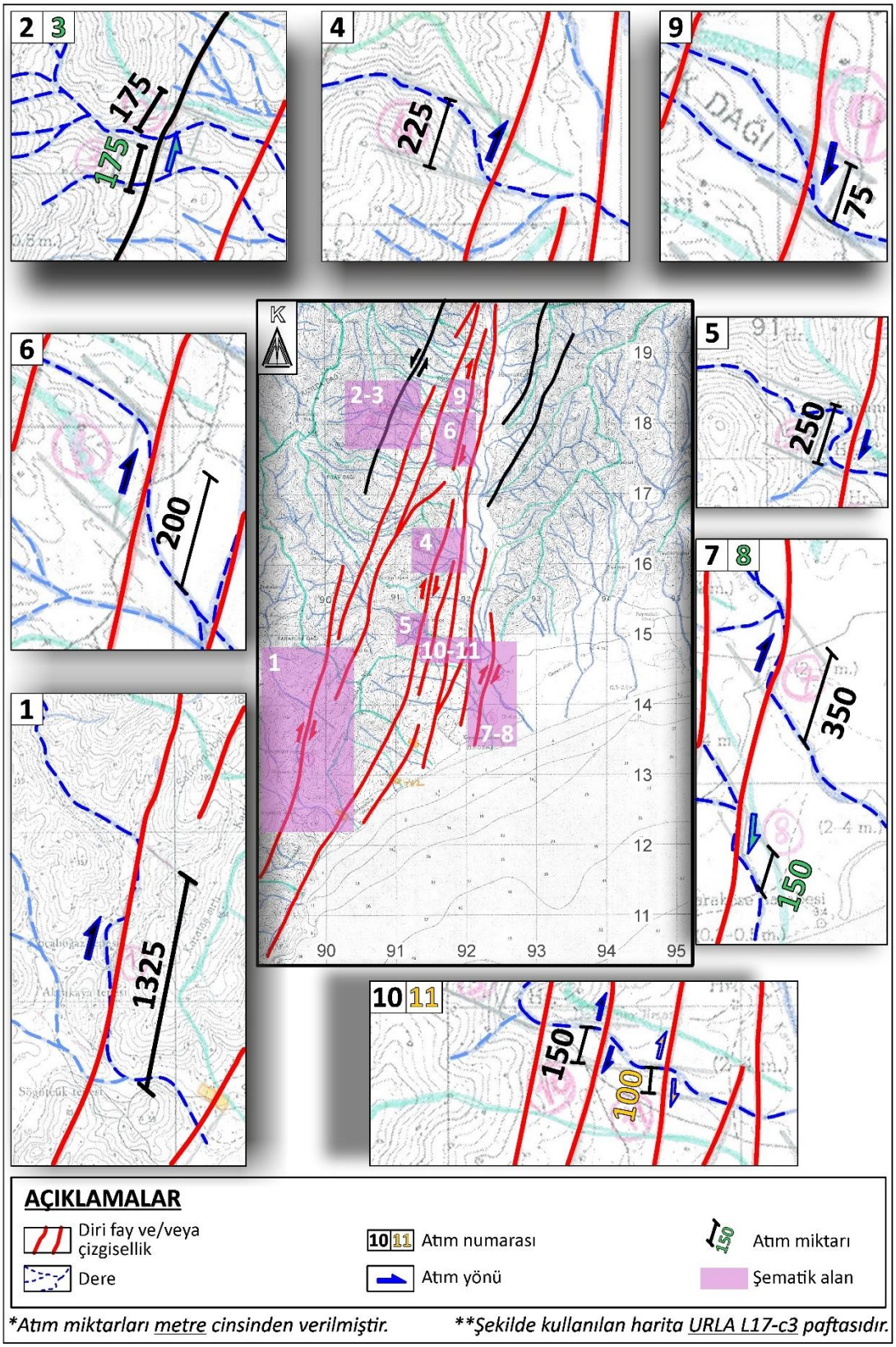
Dere kanallarının ötelenme miktarlarının hata payları gözetilerek büyük ölçekli atım ölçülmesi mümkün olmaktadır. Hata payının anlamı, dere ötelenmelerinin tek sebebi fayın hareketi olmaması ile ilişkilendirilebilir. Ölçülen ve hesaplanan dere ötelenmelerinin sebepleri; fayın hareketi, derenin kapılması, derenin farklı litolojilerde farklı davranış göstermesi gibi olasılıklar olabilmektedir. Kısacası, ölçülen her dere ötelenmesi fayın aktivitesine doğrudan ilişkilendirilmemelidir. Buradaki amaç, fayın hareketine ilişkin bir yaklaşım yapmaktır.

Bu çalışma özelinde Tuzla Fayı'nın bulunduğu 1/25000 ölçekli topografik haritalar seçilerek, fay detaylı olarak işlenmiştir. Paftalar güneyden kuzeye sırasıyla; L17-c3, L17-c2, L18-d1 ve L18-a4 şeklindedir. Çalışmada doğrultu atımlı fay niteliğindeki Tuzla Fayı boyunca sistematik dere ötelenmeleri analizi yapılmıştır. Fay üzerinde toplamda 38 adet dere ötelenmesi ölçülmüştür. Tuzla Fayı boyunca yapılan dere ötelenmesi ölçümlerinde; 14 tanesi sol yönlü ötelenmeyi işaret ederken, 24 tanesi fayın güncel hareketi olan sağ yönlü ötelenmeyi göstermektedir (Tablo 3.1).

L17-c3 paftasında, toplamda 11 adet ötelenme ölçülmüştür. Bunlardan 2 tanesi sol yönlü, 9 tanesi de sağ yönlü harekete işaret etmektedir. Maksimum atım miktarı 1 numaralı ölçü kodu ile 1325 m sağ yönlü atımı işaret eden ötelenmedir. Pafta içinde sağ yönlü ötelenmeler 75-1325 m arasında değişkenlik gösterirken, 2 adet sol yönlü ötelenme 175 metredir (Şekil 3.4).

Tablo 3.1 Tuzla Fayı'nın kestiği derelerin ötelenme miktarları

Pafta	No	Koordinatlar		Dere Adı	Harita (mm)	Ötelenme Miktarı (m)	Yön
		X	Y				
L17-c3	1	489650	4213250	*Esen Deresi*	53	**1325**	Sağ
	2	491100	4218200	*Kızılcadağ Deresi kuzeyi*	7	**175**	Sol
	3	490950	4217950	*Kızılcadağ Deresi kuzeyi*	7	**175**	Sol
	4	491575	4216250	*Sırtlan Deresi*	9	**225**	Sağ
	5	491325	4215125	*Hamam Deresi*	10	**250**	Sağ
	6	491950	4217875	*Karakoç Deresi*	4	**200**	Sağ
	7	492375	4214500	*Karakoç Deresi*	14	**350**	Sağ
	8	492175	4213825	*Karakoç Deresi güneyi*	6	**150**	Sağ
	9	492075	4218325	*Karakoç Deresi*	3	**75**	Sağ
	10	491600	4214875	*Hamam Deresi*	6	**150**	Sağ
	11	491825	4214750	*Hamam Deresi*	4	**100**	Sağ
L17-c2	12	492875	4220725	*Basılıca Deresi*	15	**375**	Sağ
	13	492550	4220550	*Basılıca Deresi*	6	**150**	Sağ
	14	492625	4220100	*Basılıca Deresi*	8	**200**	Sağ
	15	493275	4220525	*Basılıca Deresi*	13	**325**	Sol
	16	493300	4221525	*Basılıca Deresi*	5	**125**	Sol
	17	492675	4221175	*Basılıca Deresi*	2	**50**	Sağ
	18	493900	4221400	*Basılıca Deresi*	10	**250**	Sol
	19	493625	4221350	*Basılıca Deresi*	10	**250**	Sol
	20	493075	4221750	*Basılıca Deresi*	7	**175**	Sağ
	21	497875	4228000	*Emgeç Deresi*	8	**200**	Sağ
	22	496375	4227125	*Karapınar Deresi*	3	**75**	Sağ
	23	497200	4225200	*Pamukcuk güneybatısı*	13	**325**	Sol
	24	498525	4227200	*Eyciköy Dere*	12	**300**	Sağ
	25	499075	4227175	*Eyciköy Dere*	10	**250**	Sağ
L18-d1	26	500375	4228200	*Hasankuyu Dere*	6	**150**	Sağ
	27	502150	4228250	*Akselvi Dere*	7	**175**	Sağ
	28	504850	4230900	*Darı Dere*	5	**125**	Sol
	29	506075	4232125	*Darı Dere*	4	**100**	Sol
	30	504350	4230525	*Darı Dere*	5	**125**	Sol
	31	502625	4230025	*Alaca Dere*	4	**100**	Sol
	32	500875	4228000	*Hasankuyu Dere*	3	**75**	Sağ
	33	500700	4228450	*Hasankuyu Dere*	3	**75**	Sağ
	34	502375	4229875	*Alaca Dere*	4	**100**	Sol
L18-a4	35	504900	4235000	*Pekmezci Dere*	44	**1100**	Sol
	36	506750	4237500	*Çamur Dere*	27	**675**	Sol
	37	508550	4239250	*Bahçe Dere*	13	**325**	Sağ
	38	506750	4236325	*Sandı Dere*	9	**225**	Sağ



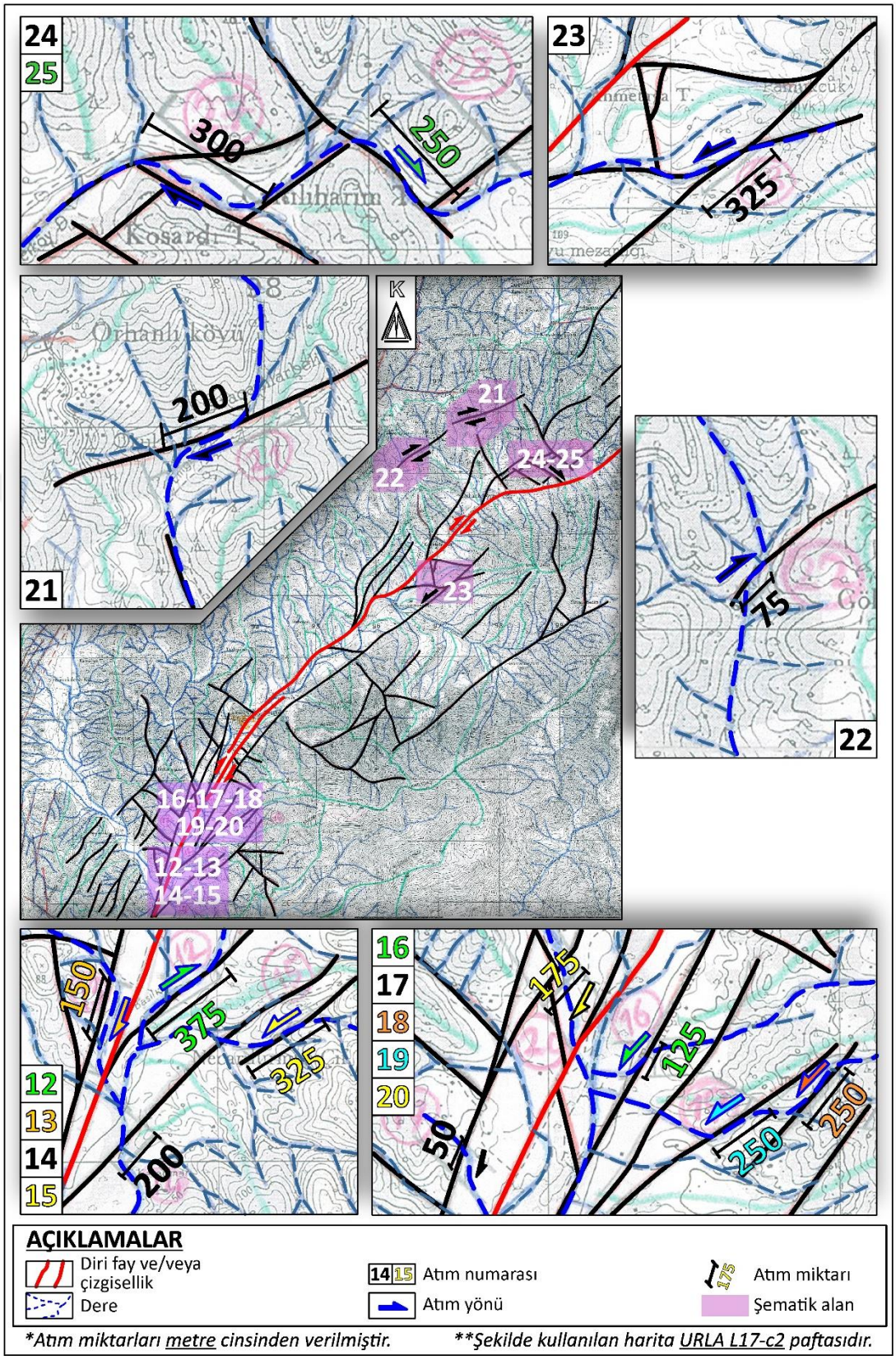
Şekil 3.4 Tuzla Fayı'nın Urla L17-c3 paftasında kestiği derelerin atım miktarları

L17-c2 paftasında toplamda 14 adet ötelenme ölçülmüştür. Bunlardan 5 tanesi sol yönlü, 9 tanesi de sağ yönlü harekete işaret etmektedir. Maksimum atım miktarı 12 numaralı ölçü kodu ile 375 m sağ yönlü atımı işaret eden ötelenmedir. Pafta içinde sağ yönlü ötelenmeler 50-375 m arasında değişkenlik gösterirken, 5 adet sol yönlü ötelenme 125-325 m arasındadır (Şekil 3.5).

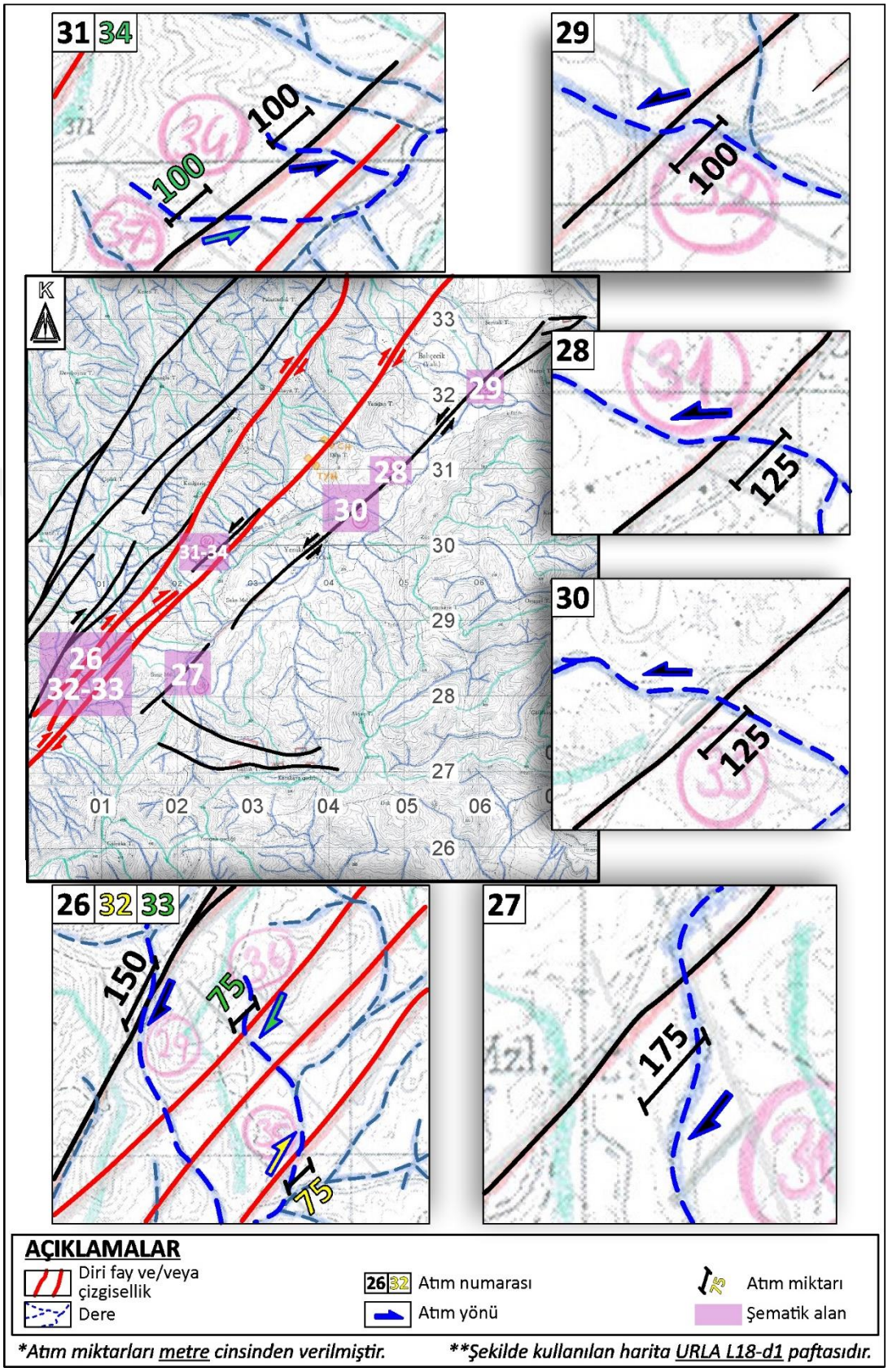
L18-d1 paftasında, toplamda 9 adet ötelenme ölçülmüştür. Bunlardan 5 tanesi sol yönlü, 4 tanesi de sağ yönlü harekete işaret etmektedir. Maksimum atım miktarı 26 ve 27 numaralı ölçü kodu ile 150 ve175 m sağ yönlü atımı işaret eden ötelenmedir. Pafta içinde sağ yönlü ötelenmeler 75-175 m arasında değişkenlik gösterirken, 5 adet sol yönlü ötelenme 100-125 metre arasında değişmektedir (Şekil 3.6).

L18-a4 paftasında, toplamda 4 adet ötelenme ölçülmüştür. Bunlardan 2 tanesi sol yönlü, 2 tanesi de sağ yönlü harekete işaret etmektedir. Maksimum atım miktarı 35 numaralı ölçü kodu ile 1100 m sol yönlü atımı işaret eden ötelenmedir. Pafta içinde sağ yönlü ötelenmeler 225-325 m arasında değişkenlik gösterirken, 2 adet sol yönlü ötelenme 625-1100 metre arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 3.7).

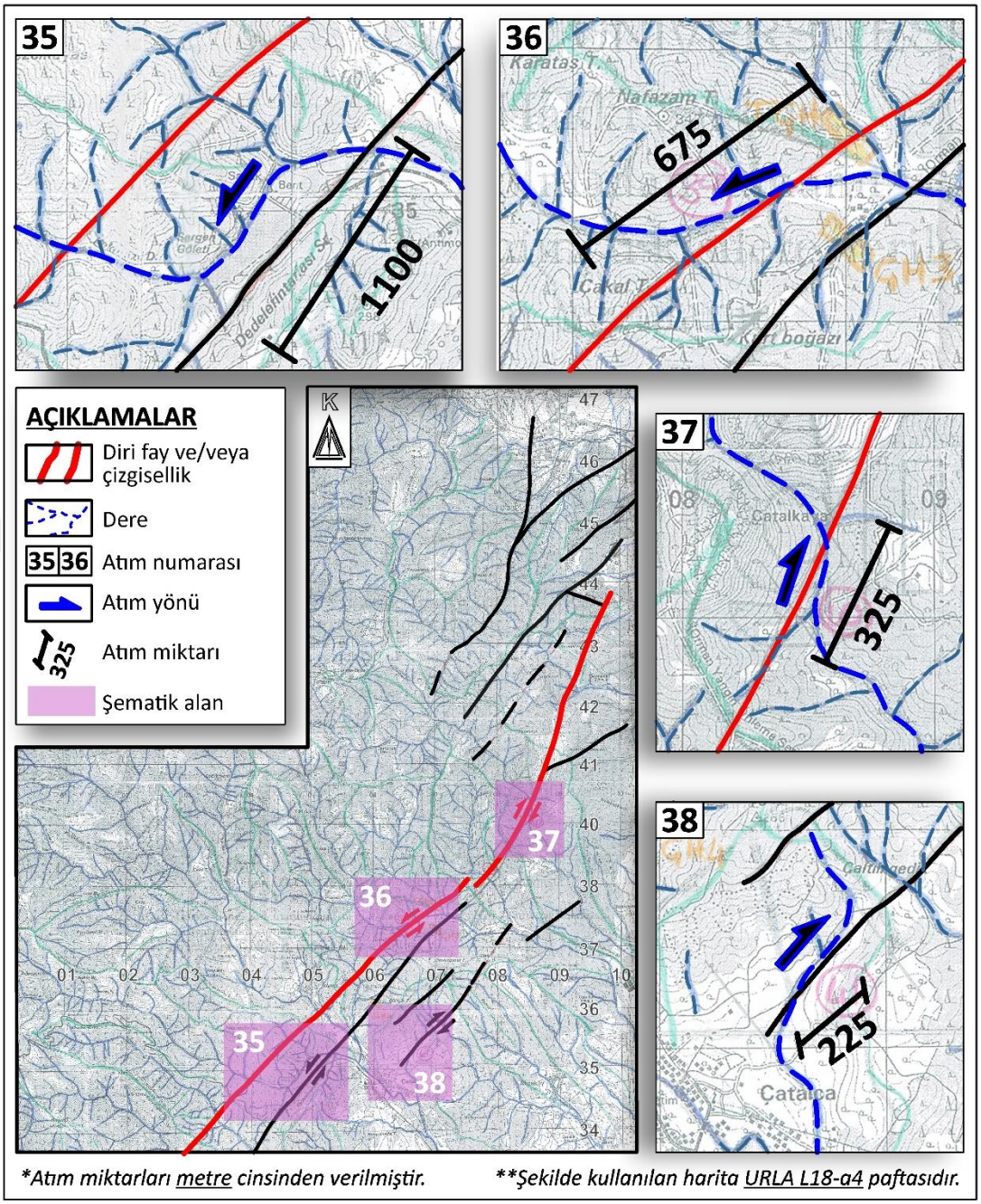
Sonuç olarak, Tuzla Fayı üzerinde ölçülen dere ötelenmeleri fayın hareket yönü ile bilgiler vermesi amaçlanmıştır. Geçmiş dönemde sol yanal çalışıp, günümüzde sağ yanal doğrultu atımlı fay olarak hareket eden fayın, 1/250000 ölçekli topografik haritalarda her iki hareketini görmek mümkün hale gelmiştir. Ayrıca, fay üzerinde yapılacak uzun dönem kayma hızı çalışması için öncül çalışma niteliği kazanmıştır.



Şekil 3.5 Tuzla Fayı'nın Urla L17-c2 paftasında kestiği derelerin atım miktarları



Şekil 3.6 Tuzla Fayı'nın Urla L18-d1 paftasında kestiği derelerin atım miktarları



Şekil 3.7 Tuzla Fayı'nın Urla L18-a4 paftasında kestiği derelerin atım miktarları

3.1.2 Uzun Dönem Kayma Hızı

Bu başlık altında Tuzla Fayı'nın uzun dönem kayma hızı belirlenme çalışılmıştır. Çalışma alanının jeomorfolojik evrimini yansıtır. Bölgesel jeomorfolojiden dere ötelenmeleri ve memba uzunluğu hesaplanarak elde edilmiştir. Bu amaç doğrultusunda 1/25000 ölçekli topografik haritalardan hesaplanan dere ötelenmeleri

kullanılmıştır. Bu çalışmada fayın, sadece dere ötelenmeleri göz önünde bulundurularak uzun dönem kayma hızından bahsedilmiştir.

Drenaj sistemlerinin sistematik olarak yön değiştirdiği ve akarsu kanallarının boyutu ile ötelenme miktarlarının arttığı gerçeği, dünyadaki birçok büyük dağ içi aktif doğrultu atımlı faylarda rapor edilmiştir. Örneğin; Japonya'da Atotsugawa fayı, Atera fayı, MTL ve ATTL (Matsuda, 1966, 1975; Sangawa, 1978; Okada, 1980); Çin'deki Haiyuan fayı ve Qinling Range Fault sistemi (Deng ve diğer., 1986; Zhang ve diğer., 1995). Matsuda (1966), akarsu kanalının ötelenmesi "D" ile faya kadar memba uzunluğu "L" arasında doğrusal bir ilişki olduğunu göstermiştir (Maruyama ve Lin, 2000). D ve L arasındaki ilişki şu şekilde tanımlanır:

$$D = a \cdot L \tag{3.1}$$

(D: toplam ötelenme miktarı, a: katsayı, L: ötelenen nehrin memba kısmı uzunluğu; Maruyama ve Lin, 2000)

Burada hem "D" hem de "L" metre cinsinden ölçülür. Hesaplanan dere ötelenmeleri ve derenin memba uzunluğu değerleri kullanılarak "a" katsayısının değeri bulunur. Bulunan "a" katsayısı değeri ile kayma oranı "S" arasında istatistiksel verilere dayanan oran kullanılmaktadır. S ve a arasındaki ilişki şu şekilde tanımlanır:

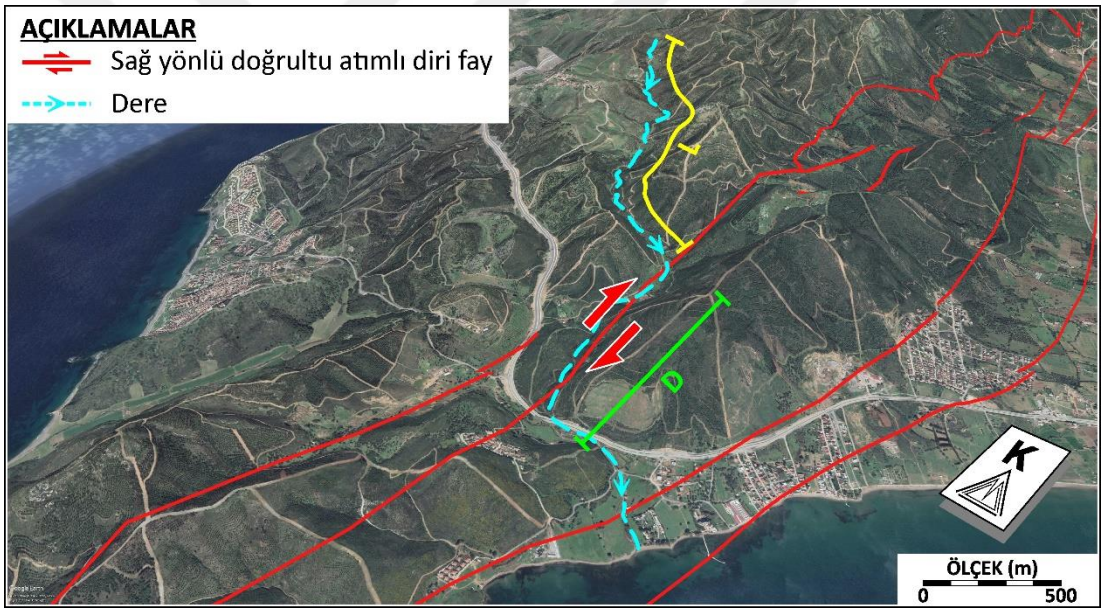
$$S = 10 \cdot a \tag{3.2}$$

(S: yıllık kayma hızı, a: katsayı; Maruyama ve Lin, 2000)

Japonya'daki bazı aktif doğrultu atımlı faylardan, kayma oranları "S" ile "a" katsayısı arasında da doğrusal bir ilişki olduğu gösterilmiştir. Arima–Takatsuki Tektonik Hattı (Sangawa, 1978) ve Luonan-Danfeng fayları (Zhang ve diğer., 1995) aktif faylardır ve yaşlandırma teraslarının ayrı ayrı kayması kullanılarak geç Kuvaterner'de 1 mm/yıl mertebesinde doğrultu-atım oranı elde edilmiştir. Matsuda (1975) tarafından gösterilen 1-10 mm/yıl aktif faylarla tutarlı olarak, bu üç fayda

değerlerin 0,1-1,0 mertebesinde değiştiği açıkça gösterilmiştir. Japonya ve Çin'deki ana aktif doğrultu atımlı faylarda yer değiştirmiş teras yüzeyi veya hendek incelemeleri ile bağımsız olarak belirlenen “a” ve “S” arasındaki ilişkiyi göstermektedir (Maruyama ve Lin, 2000).

Uzun dönem kayma hızını hesaplamak için ilk olarak derenin faya kadar olan memba uzunluğu topografik eğim dikkate alınarak hesaplanır. Daha sonra fayın üzerinden geçen ve fayın doğrultusu yönünde ötelenen derelerin metre cinsinden uzunlukları hesaplanarak memba uzunluğu, toplam ötelenme miktarına bölünerek “a” katsayısı bulunur. Bulunan “a” katsayısı “h=10” ile çarpılarak fayın o konumdaki yıllık kayma oranı “mm/yıl” cinsinden bulunur (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Uzun dönem kayma hızı hesaplanırken kullanılan parametrelerin ve sağa ötelenmiş derenin ilişkisi (Diri fay Emre ve diğer., 2018’den alınmıştır; D: derenin toplam ötelenme miktarı, L: faya kadar olan memba uzunluğu)

Bu çalışma, Tuzla Fayı özelinde Tablo 3.1’deki fayın güncel hareketi olan sağ yönlü ötelenmeler kullanılarak yapılmıştır ve atım numaraları Tablo 3.1’dekiler ile aynıdır. Dere ötelenmelerinin yer bulduruları için Şekil 3.4, 3.5, 3.6 ve 3.7 kullanılabilinir. Ötelenme miktarları ve memba uzunlukları her dere için ayrı ayrı hesaplanmış ve sonuç olarak “S” değerinin (yıllık kayma hızı) büyüklüğü daha kolay anlaşılabilmesi için kırmızı renkli gradyan veri çubuğu şeklinde sunulmuştur.

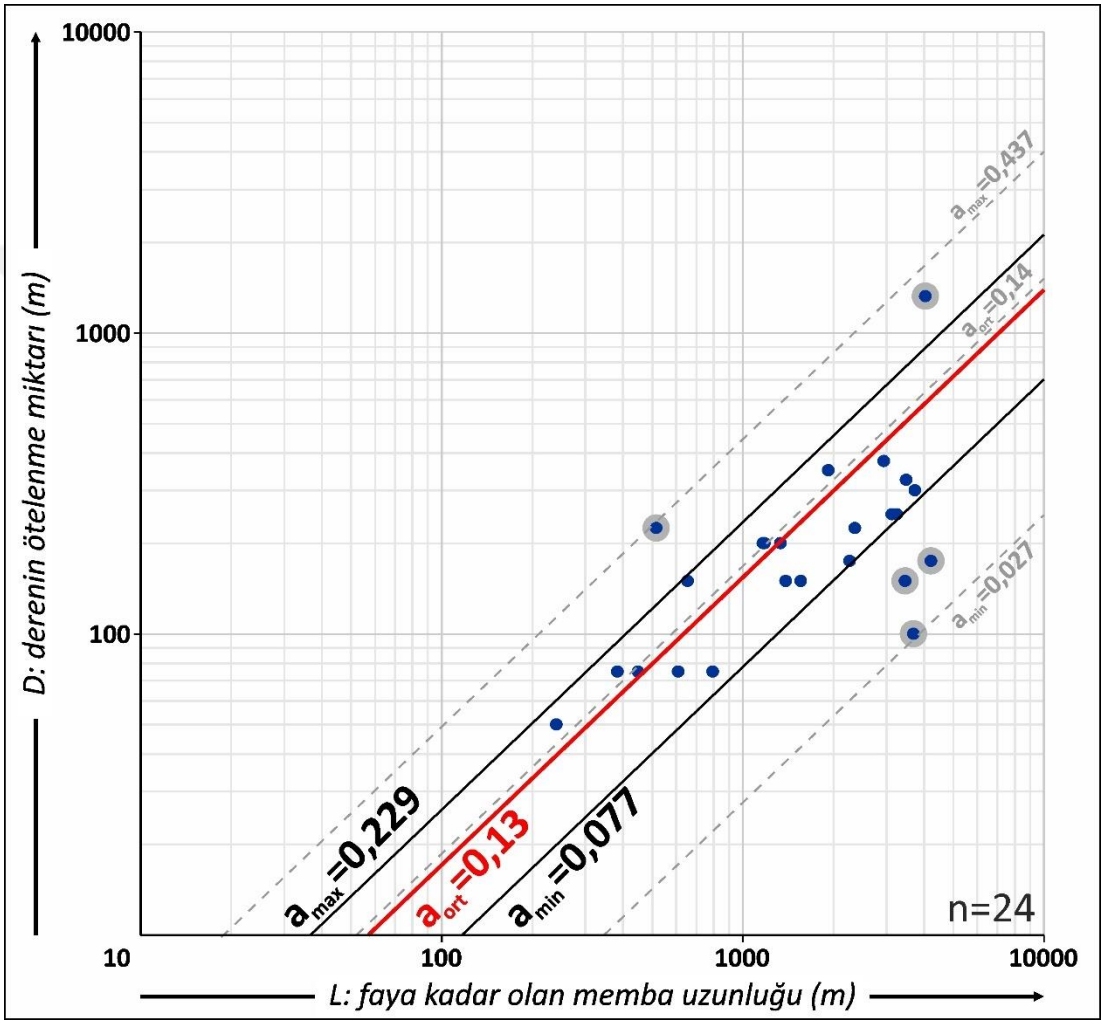
Formüller kullanılarak elde edilen sonuçlara göre maksimum kayma hızı 4,36893 mm/yıl, minimum kayma hızı 0,271 mm/yıl ve fayın genel olarak ortalama kayma hızı 1,4 mm/yıl olarak bulunmuştur (Tablo 3.2).

Tablo 3.2 Tuzla Fayı'nda hesaplanan sağ yönlü ötelenmiş dereler kullanılarak, fayın elde edilen yıllık kayma hızı.

No	D (m)	L (m)	a	h	S (mm/yıl)
	toplam ötelenme miktarı	faya kadar memba uzunluğu	katsayı	katsayı	yıllık kayma hızı
1	1325	4035	0,328	10	3,28417
4	225	2357	0,095	10	0,95460
5	250	3244	0,077	10	0,77065
6	200	1332	0,150	10	1,50150
7	350	1920	0,182	10	1,82292
8	150	1555	0,096	10	0,96463
9	75	448	0,167	10	1,67411
10	150	3456	0,043	10	0,43403
11	100	3690	0,027	10	0,27100
12	375	2937	0,128	10	1,27681
13	150	656	0,229	10	2,28659
14	200	1166	0,172	10	1,71527
17	50	240	0,208	10	2,08333
20	175	4215	0,042	10	0,41518
21	200	1178	0,170	10	1,69779
22	75	610	0,123	10	1,22951
24	300	3725	0,081	10	0,80537
25	250	3125	0,080	10	0,80000
26	150	1386	0,108	10	1,08225
27	175	2260	0,077	10	0,77434
32	75	795	0,094	10	0,94340
33	75	383	0,196	10	1,95822
37	325	3484	0,093	10	0,93284
38	225	515	0,437	10	4,36893

Son olarak hesaplanan "D" ve "L" değerleri iki eksenli logaritmik abak üzerine işlenmiştir. Veriler abak üzerinde lacivert nokta şeklinde konumlandırılmıştır. Abak üzerine konumlanan verilerin doğruluğu ve tutarlılığı için verilerin doğrusal bir hat

içinde yoğunlaşması beklenir. Doğrusal yoğunluğun dışında kalan veriler Maruyama ve Lin (2000)'e göre menderes ya da kapılma olarak yorumlanmıştır. Bu yorum esas alınarak işlem yapıldığı zaman ötelenme numaraları 1, 10, 11, 20 ve 38 olan dereler devre dışı kalmıştır ve abak üzerinde gri daire içinde lacivert nokta olarak işlenmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Tuzla Fayı'nda ölçülen derelerin memba uzunluğu ve ötelenme miktarları arasındaki ilişkiyi gösteren ve "a" katsayısının belirlendiği logaritmik abak.

Yapılan işlemler sonrasında elde kalan veriler ışığında fayın maksimum kayma hızı 2,29 mm/yıl, minimum kayma hızı 0,7 mm/yıl ve fayın ortalama uzun dönem kayma hızı 1,3 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Abak üzerine işlenen "a" değerleri "h=10" ile çarpılarak kolaylıkla yıllık kayma hızları elde edilir.

3.2 Jeodezik Veriler

Fay zonunun sahip olduğu kayma hızı değeri, GPS ve uydu ölçümleri sonucunda hesaplanabilinir. Bu hıza jeodezik veya kısa dönem kayma hızı da denebilir. Jeodezik veriler için, çalışma alanı ve civarındaki en güncel çalışma olan Eyubagil ve diğer. (2021)'den yararlanılmıştır. Jeodezik verilerin ölçüm tarih aralığı 2017-2020 yılları arasındadır ve 30 Ekim 2020 tarihinde olan 6,9 büyüklüğündeki Samos Depremi'nin etkileri bu verilere dahil değildir.

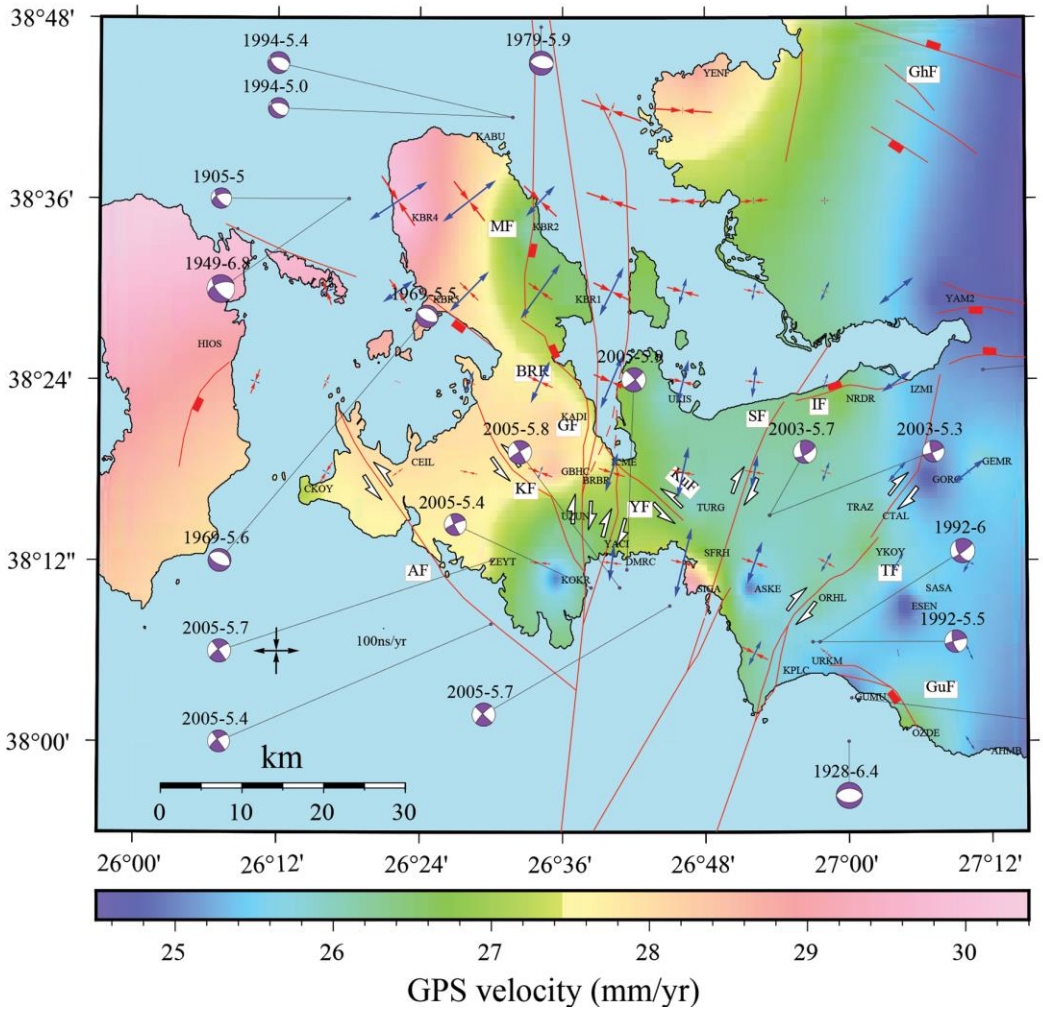
3.2.1 Kısa Dönem Kayma Hızı

Özellikle doğrultu atım karaktere sahip faylar üzerinde yapılan jeolojik ve GPS verilerine dayalı olarak yapılan jeodezik ölçümlere bakıldığında aralarında hız farkı olduğu görülmektedir. Bunun nedeni; jeolojik ve jeodezik ölçümlerin sistematik hatalar içermesi veya ölçümleri yapan araştırıcıların verileri yanlış değerlendirilmesinden kaynaklanabilmektedir.

GPS ve uydu ölçümleri yapılırken sonuçların doğruluğu ve tutarlılığı için çok sayıda istasyondan ölçümler yapılarak veriler toplanır. Doğrultu atım karakterli faylar özelinde hareket eden her iki bloktan da ölçüler alınır ve blokların birbirleri arasındaki görece hız farkı kullanılarak bu çalışma gerçekleştirilir. Daha bölgesel bir sonuç elde etmek için ise çok daha fazla sayıda istasyondan ölçümler alınır ve herhangi bir istasyon sabit kabul edilerek çalışmak istenen bölgenin o sabit noktaya göre kayma hızları verilir.

Tuzla Fayı'nı kapsayan ve jeodezik anlamda en güncel çalışma Eyubagil ve diğer. (2021)'de çalışma alanı Karaburun yarımadası ve İzmir güneyidir. Araştırıcılar, Tuzla Fayı'nın batısında kalan istasyonları kullanarak bölgenin genel anlamda görece kısa dönem kayma hızlarını bulmuşlardır. Bu çalışma kapsamında sadece Tuzla Fayı'nı ilgilendiren bilgiler alınmış ve değerlendirilmiştir.

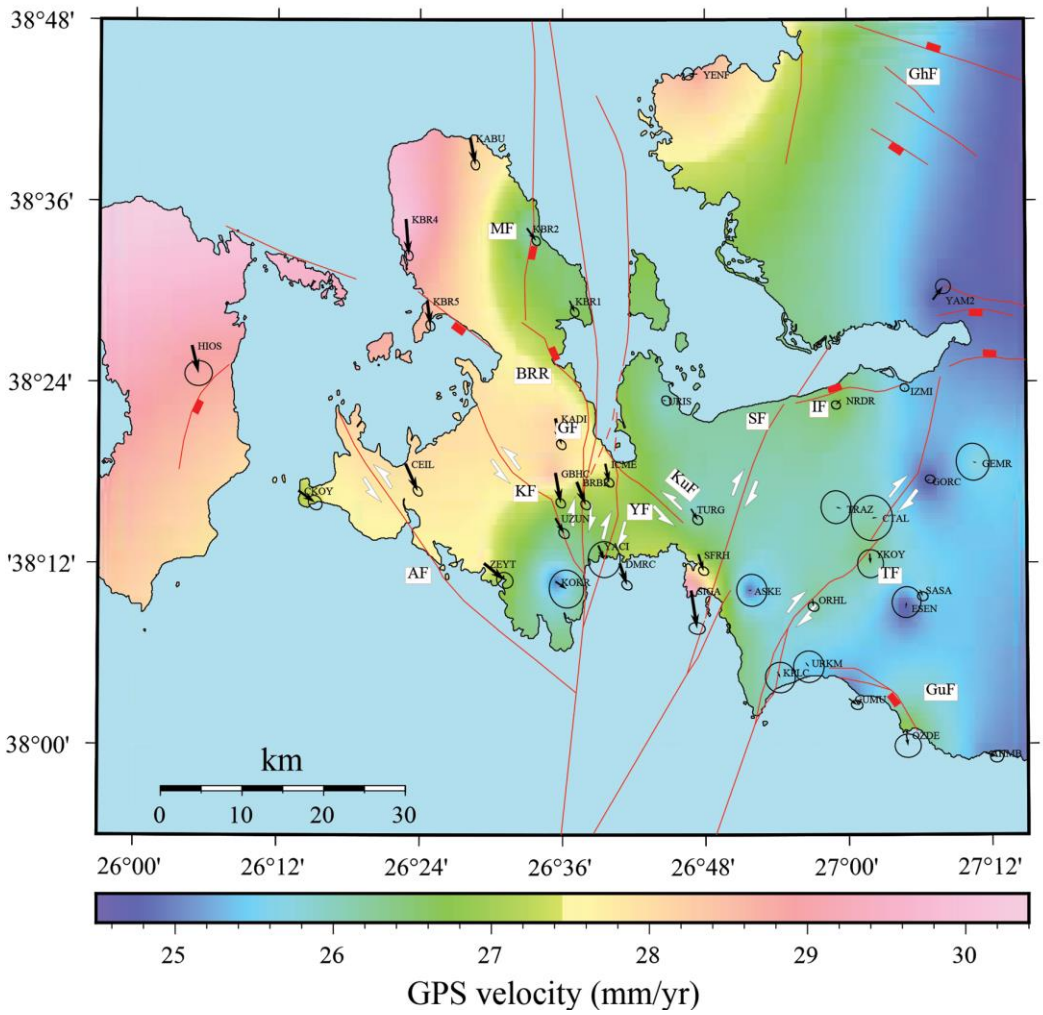
Kuzeyden güneye incelendiğinde bölgedeki en büyük gerinim birikimi Karaburun Yarımadası'nın (KABU-KBR1) kuzeyindedir. Bölgede KD-GB genişlemesinin ve KB-GD sıkıştırma rejiminin baskın olduğu görülmüştür. CEIL-GBHC sahalarının çevresi incelendiğinde, gerinim alanlarının küçüldüğü ve KD-GB yönlü sıkıştırmanın olduğu görülmüştür (Eyubagil ve diğer., 2021) (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Bölgesel tektonik hareketler kapsamında gerinim alanı ve aletsel dönemde bölgede meydana gelen M_w> 5 yerel depremler (Eyubagil ve diğer., 2021)

Bölgedeki en küçük gerilmelerin Tuzla Fayı üzerinde olduğu gözlenmiştir. Bölgedeki fayların hareketleri hakkında daha fazla bilgi elde etmek ve toplamak için bağıl hız kombinasyonları kullanılmıştır. Gerilmelerin minimum olduğu Tuzla Fayı'nın doğusunda yer alan SASA-GEMR-ESEN sahaları referans alındığında, Tuzla

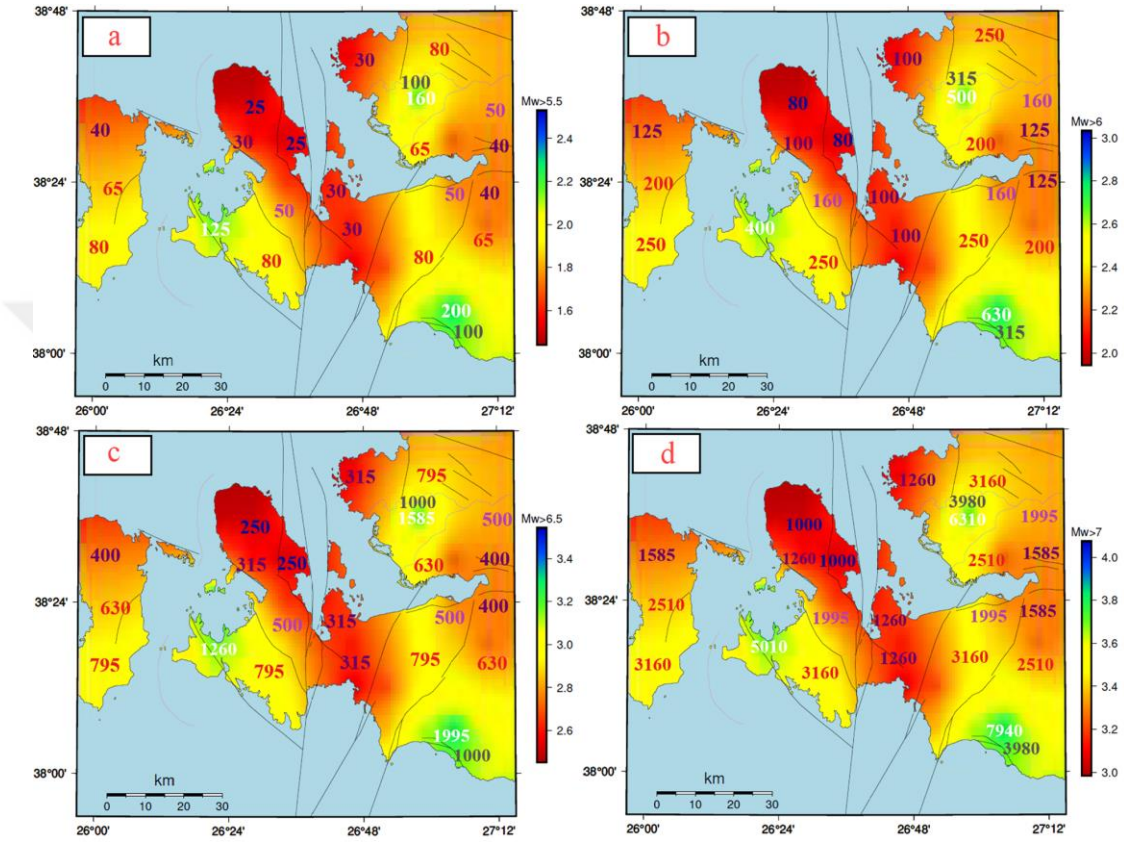
Fayı'nın batı bloğundaki sahaların nispi hızlarının aşağıda 1 mm/yıl'dan düşük olduğu görülmüştür (Eyubagil ve diğer., 2021) (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 SASA-GEMR-ESEN bölgelerine göre göreceli hızlar (Eyubagil ve diğer., 2021)

Tuzla Fayı civarında deprem periyodu 100 yıldan fazla olarak hesaplanmıştır. Bölgenin deprem geçmişi incelendiğinde, en son 2012 yılında Karaburun Yarımadası (KD) açıklarında M_w:5 büyüklüğünde bir depremin meydana geldiği ve depremin tekrarlama süresi yaklaşık 25 yıl olarak belirlendiği görülmüştür. Yine Gülbahçe Fayı ve Yağcılar Fayı güneyinde deprem yineleme süresi 20 yıl olarak belirlenmiş ve 2005 yılında M_w:5-5,9 büyüklüğünde 4 deprem meydana gelmiştir. Aynı yıl içinde meydana gelen bu depremler, fayların bölgedeki enerji birikimini boşaltıtığını ve bu nedenle öngörülen tekrarlama süresi bölgenin geri kalanına göre daha uzun olduğu söylenmiştir. Karaburun Yarımadası (Batı) açıklarında M_w:6,8 büyüklüğünde bir

depremin meydana geldiği ve depremin tekrarlama süresi yaklaşık 80 yıl olarak hesaplandığı görülmektedir. Yine 1909 yılında Gülbahçe Fayı'nın güney açıklarında Mw:6 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiş ve deprem tekrarlama süresi yaklaşık 100 yıl olarak belirlenmiştir (Eyubagil ve diğer., 2021) (Şekil 3.12).

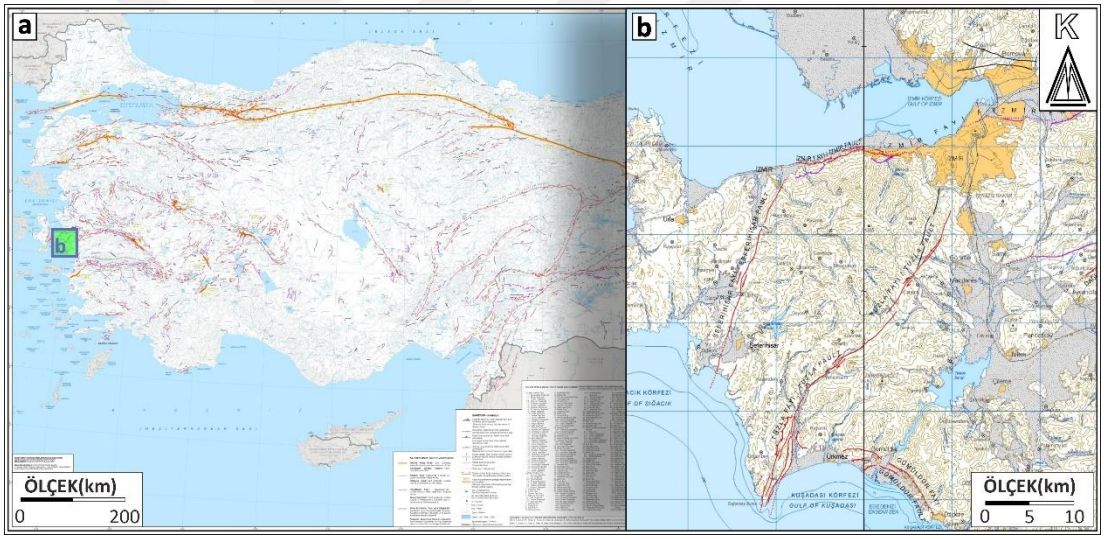


Şekil 3.12 Karaburun Yarımadası ve çevresi için jeodezik deprem yineleme haritaları (a-d) sırasıyla M_w> 5.5, 6, 6.5 ve 7 için deprem yinelemelerini gösterir. Birimler yıl cinsinden ortalama deprem tekrarlama süresi olarak verilmiştir (Eyubagil ve diğer., 2021)

Tuzla Fayı bölgesinde, M_w>6 için deprem tekrarlama süresi yaklaşık 150-250 yıldır, ancak Tuzla Fayı'nın güneydoğu açıklarında 64 yıllık aralıklarla 2 ayrı deprem meydana gelmiştir. Bunlar sırasıyla 1928 ve 1992 yıllarında M_w:6,2 ve M_w:6 olan depremlerdir. Bu durum, bölgedeki enerji birikiminin bu depremlerle deşarj olmuş olabileceğini ve bölgenin bu bölümünde öngörülen daha uzun tekrarlama süresine uyduğunu göstermiştir (Eyubagil ve diğer., 2021).

BÖLÜM DÖRT
YAPISAL JEOLOJİ

Bu bölümde Tuzla Fayı yapısal anlamdaki konumu tanımlanmış ve tez kapsamında fay zonu boyunca elde edilen arazi verileri ve literatür verileri ışığında değerlendirilmiştir. Bilindiği gibi, İzmir ilinin çevresinde güncel jeomorfolojinin ana hatları neotektonik dönemde gelişen hareketler ile şekillenir. Bu dönemde Batı Anadolu K-G doğrultusunda gerilecek şekilde deformasyona uğramış ve böylece yaklaşık D-B uzanımlı normal fayların oluşumu gerçekleşmiştir. Bu oluşum sırasında ana gerilme eksenine paralel/yarı paralel olacak şekilde transfer fayları da gelişerek söz konusu gerilmeyi karşılamaya çalışmıştır. Tuzla Fayı bu transfer faylarından biri olarak kabul edilmektedir (Şekil 4.1).



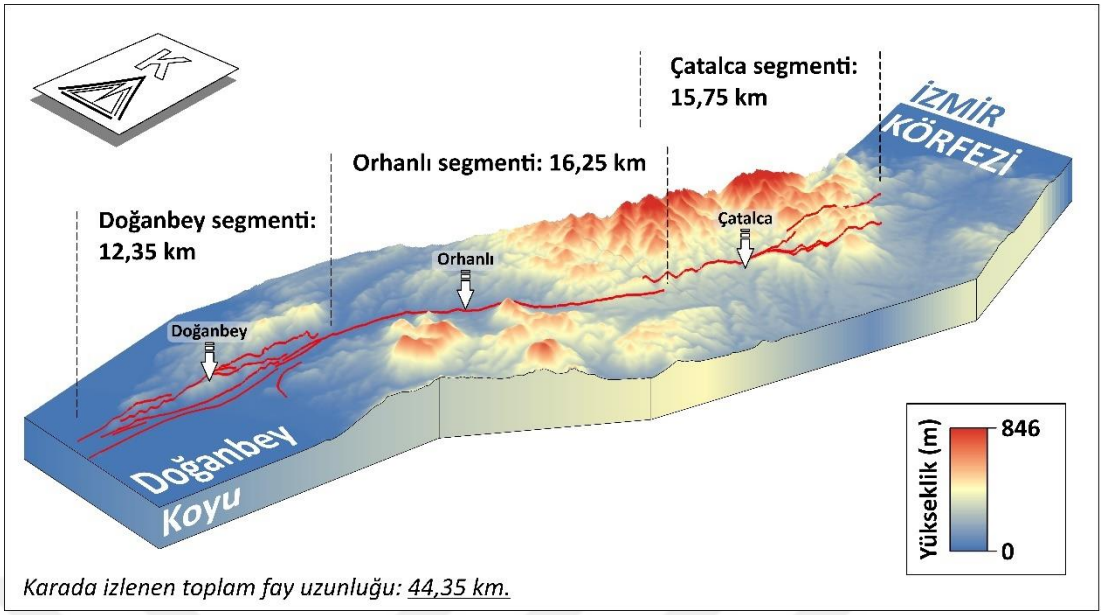
Şekil 4.1 Tuzla Fayı'nın Türkiye Diri Fay Haritası'ndaki konumu (Emre ve Özalp, 2011; Emre ve diğer., 2011; 2013'ten alınmıştır)

4.1 Tuzla Fayı

Çalışmanın ana konusu olan Tuzla Fayı araştırıcılar tarafından farklı isimlerle anılmaktadır. Eşder ve Şimşek (1975), Seferihisar jeotermal alanını anlatırken "Tuzla fayı" ismiyle tanımladıktan sonra fayın aktif olduğunu söylemişlerdir. Kaya (1981), Seferihisar ve Çubukludağ bölümlerini sınırlayan yapısal çizgisellik olarak tanımlamaktadır. Tanımlanan yapısal çizgiselliğe; Şaroğlu ve diğer., (1987, 1992)'de

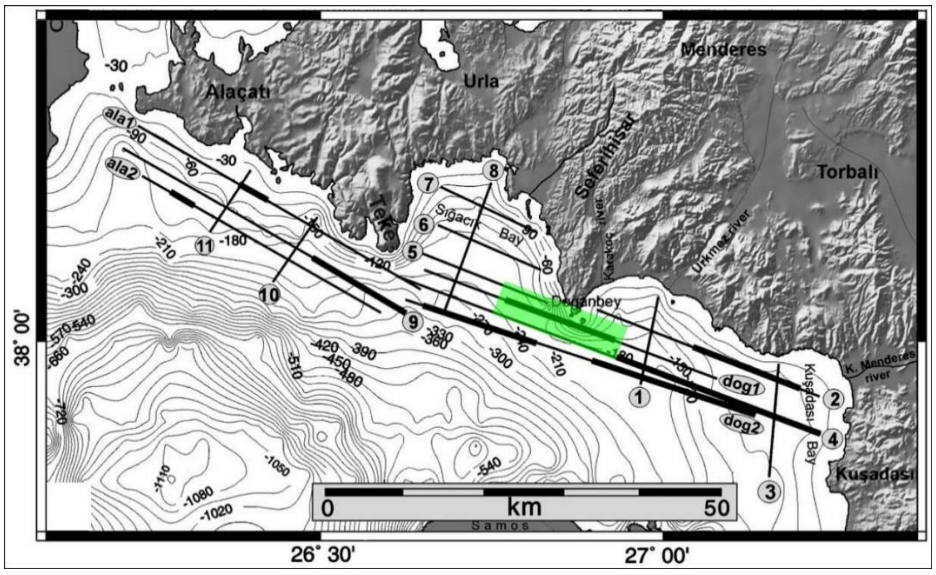
Cumaovası çizgiselliği, Eşder (1988)'de Cumalı Ters Fayı, Emre ve Barka (2000) ve Emre ve diğer., (2011a)'da Tuzla Fayı, Genç ve diğer., (2001) ve Uzel ve Sözbilir (2008)'de Orhanlı Fay Zonu olarak tanımlamışlardır. Emre ve Barka (2000), İzmir ile Doğanbey Burnu arasında, KB-GB doğrultusunda uzanan ve üç parçadan oluşan yapısal çizgiselliği Tuzla fayı olarak tanımlamışlardır. Cumalı kaplıcaları ve Ege Denizi arasındaki bölümü 15 km uzunluğunda olduğunu ve deniz morfolojisi ve sismik veriler, fayın Ege Denizi içerisinde de devam ettiğini ve yaklaşık 35-40 km uzunluğa sahip olduğunu söyler. Fay tarafından kesilen en genç akarsu yataklarında 200-700 metre sağ yönlü ötelenmeler geliştiğini açıklar. Uzel ve Sözbilir, (2008)'de Orhanlı Fay Zonu olarak tanımladıkları fay sistemini, İBTZ'nin ana yapısal sınır olarak tanımlar. Araştırıcılar fayın toplam uzunluğunun 45 km olduğunu belirtmektedirler. Yine aynı çalışmada, fay üzerinde yaptıkları detaylı kinematik analiz çalışmalarda, fayın Miyosen'de sol yönlü ve günümüzde ise sağ yanal doğrultu atımlı fay şeklinde çalıştığına ilişkin verileri ortaya koymuşlardır. Emre ve diğer., (2005), Tuzla fayının Seferihisar yükselimini oluşturan Bornova flişine ait metamorfik kayalarla Cumaovası-Ege Denizi arasında yüzeyleyen Neojen yaşlı kaya toplulukları arasında tektonik dokanak oluşturduğunu söyler. KD-GB genel doğrultulu olan Tuzla fayı biri birinden belirgin sıçrama veya büklümlerle ayrılan ve farklı doğrultularda uzanan üç alt bölümden oluştuğunu ortaya koymuşlardır. Kuzeyden güneye doğru bunlar Çatalca, Orhanlı ve Cumalı bölümleri olarak tanımlamışlardır. Araştırıcılar bu çalışmada, çizgisellik boyunca yapılan dört hendek kazısında Holosen çökellerini kesen bir faya rastlamadıklarını ve toplanan saha bulguları Tuzla fayının Kuvaterner'de sağ yönlü doğrultu atımlı hareket ettiğini gösterdiğini söyler.

Tuzla Fayı, bu çalışma kapsamında 3 farklı segmente ayrılmıştır. Bunun sebebi, fayın kuzey bölümünün belirgin bir şekilde sola sıçraması ve fayın güneyde farklı kollara ayrılmasıdır. Bu segmentlere anlamlı olması için segmentlerin kabaca merkezine yakın yerleşim yerlerinin isimleri verilmiştir. Bu isimlendirmeler kuzeyden güneye sırasıyla; Çatalca, Orhanlı ve Doğanbey segmentleridir. Bunun sonucunda, Çatalca segmenti 15,75 km, Orhanlı segmenti 16,25 km, Doğanbey segmenti ise 13,35 km olarak ölçülmüştür. Dolayısı ile Tuzla Fayı'nın karada gözlenen uzunluğu 44,35 km olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.2).



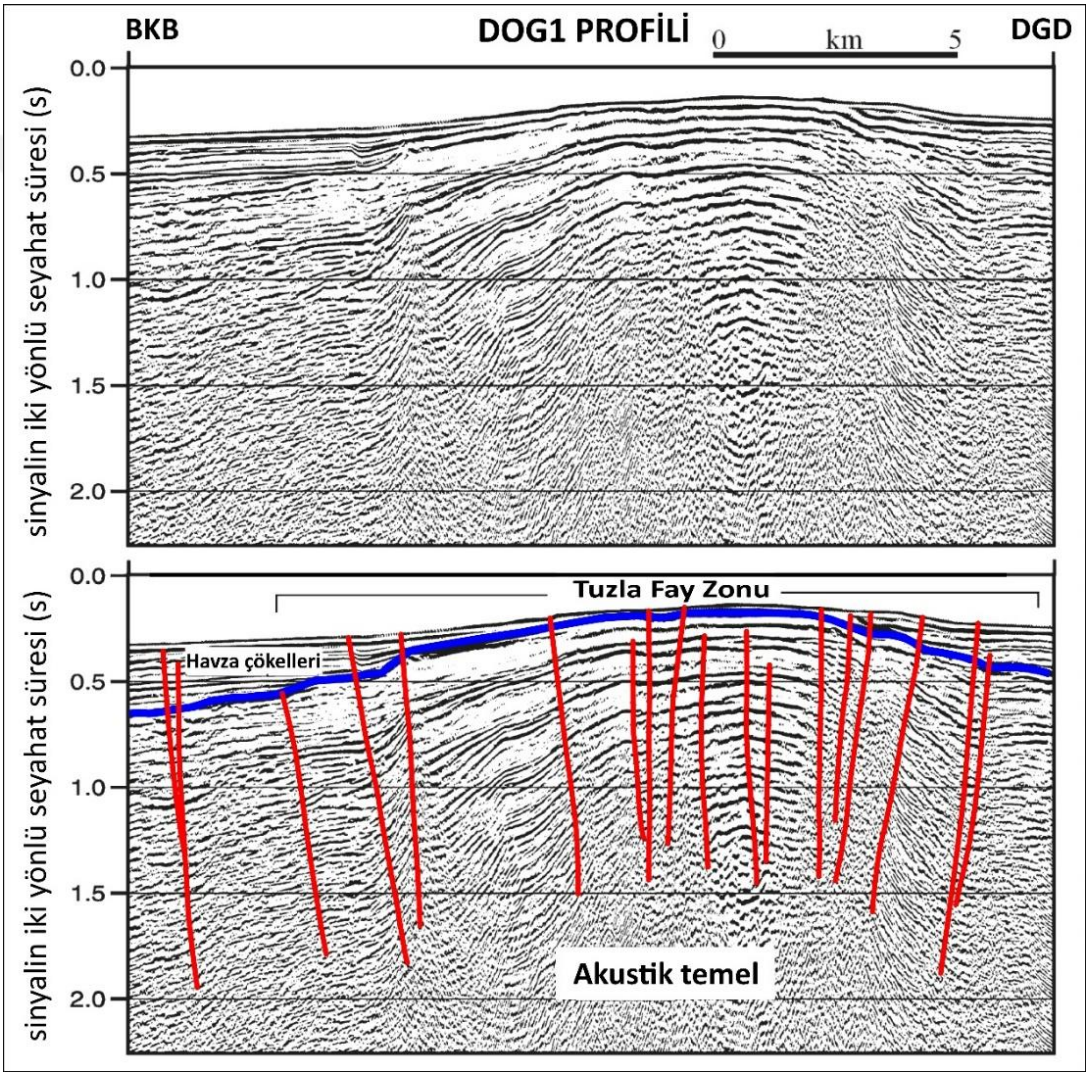
Şekil 4.2 Tuzla Fayı segmentleri (Diri fay Emre ve diğer., 2018'den alınmıştır)

Önceki çalışmalarda Tuzla Fayı'nın denizdeki devam niteliği taşıyan uzantıları olduğu öngörülmekteydi fakat Ocakoğlu ve diğer., (2004)'te sunulan veriler fayın denizdeki devamlılığını ispatlar niteliktedir. Ocakoğlu ve diğer., (2004)'te araştırıcılar denizaltındaki jeolojik yapıları açığa kavuşturmak için Doğanbey ve Sığacık koylarında yapısal ögelere dik ve koşut sismik yansıma profillerini oluşturmuşlardır (Şekil 4.3).



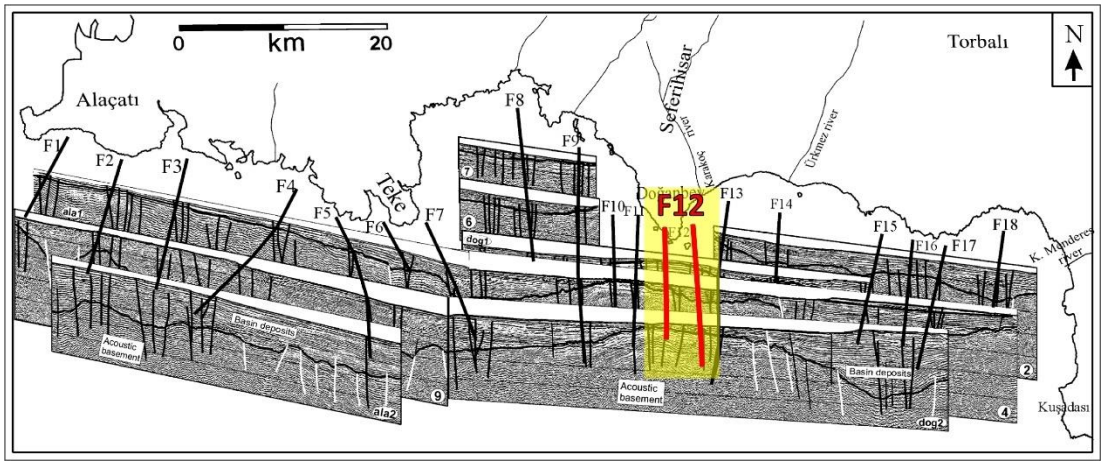
Şekil 4.3 Doğanbey, Kuşadası ve Sığacık koylarında çalışılan sismik yansıma profillerini gösteren harita (Ocakoğlu ve diğer., 2004'ten alınmıştır)

Ocakoğlu ve diğer., (2004)'de, Tuzla Fayı'nı ilgilendiren sismik yansıma kesiti "DOG1" olarak isimlendirilmiştir. Söz konusu sismik profil 20-25 km arasındadır ve fayın doğrultusuna kabaca dik olarak tasarlanmıştır. Elde edilen sismik yansımaların kırılma noktalarındaki düzlemler birleştirilmiş ve düzlemsel yapıların varlığı ortaya konulmuştur. Bu yapılar Tuzla Fayı'nın açıklarında ve onunla aynı doğrultuda yer almakta olup, bu fay üzerinde sağ yanal kayma ile ilişkili pozitif bir çiçek yapısı olma ihtimalini akla getirmektedir (Şekil 4.4).



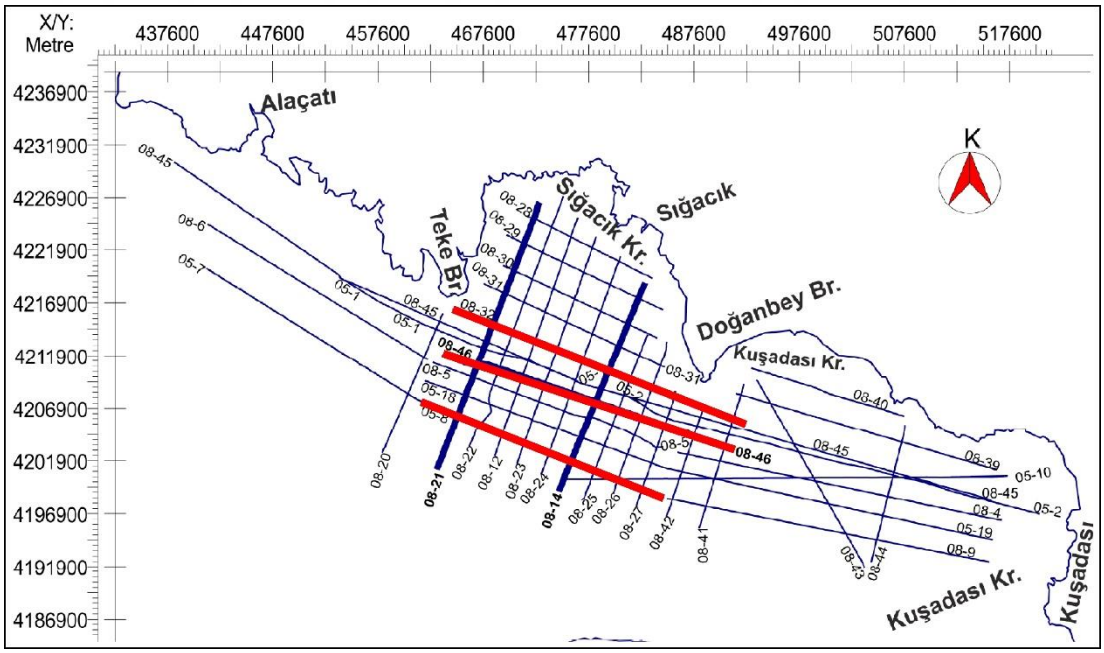
Şekil 4.4 Tuzla Fayı'nın açıklarında ve kabaca fay doğrultusuna dik olan DOG1 profiline ait sismik yansıma kesiti (Ocakoğlu ve diğer., 2004'ten alınmıştır)

Bu çalışmada orta koyulan Tuzla Fayı'nın denizaltındaki devamı 10-15 km uzunluğunda çizilmiştir (Şekil 4.5).



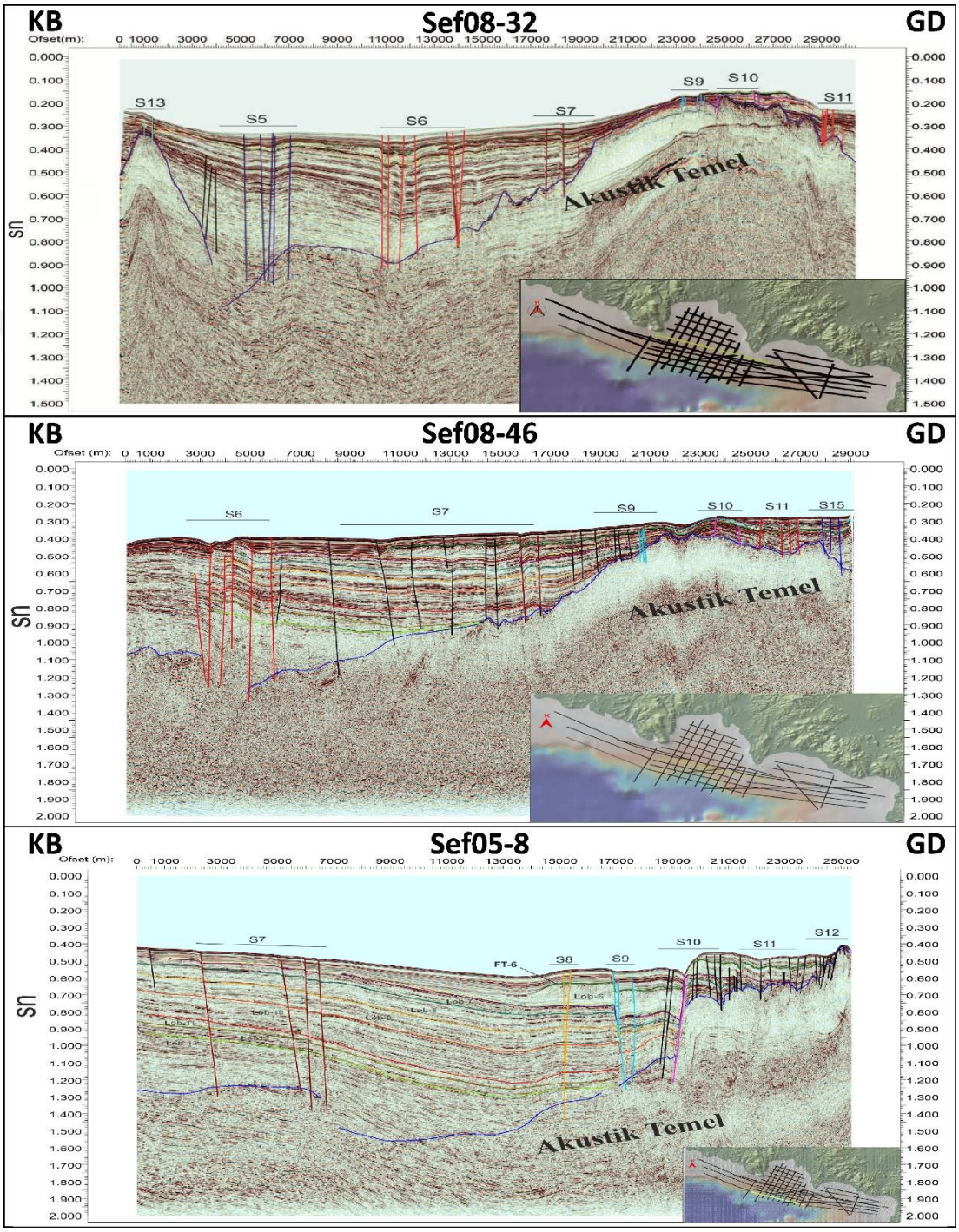
Şekil 4.5 Tuzla Fayı'nın DOG1 sismik yansıma kesiti yardımı ile çizilen denizdeki devamı (Ocakoğlu ve diğer., 2004'ten alınmıştır)

Sığacık Körfezi'nde yapılan bir başka sismik araştırmaya örnek olarak Gürçay, (2014) sunulmuştur. Sismik yansıma profilleri, karadaki yapısal profillere kabaca koşut ve dik olarak tasarlanmıştır (Şekil 4.6). Araştırıcı çalışmasında karadaki fayların denizaltındaki devamlılığını sismik yansıma kesitleri yardımı ile yeniden yorumlamıştır.



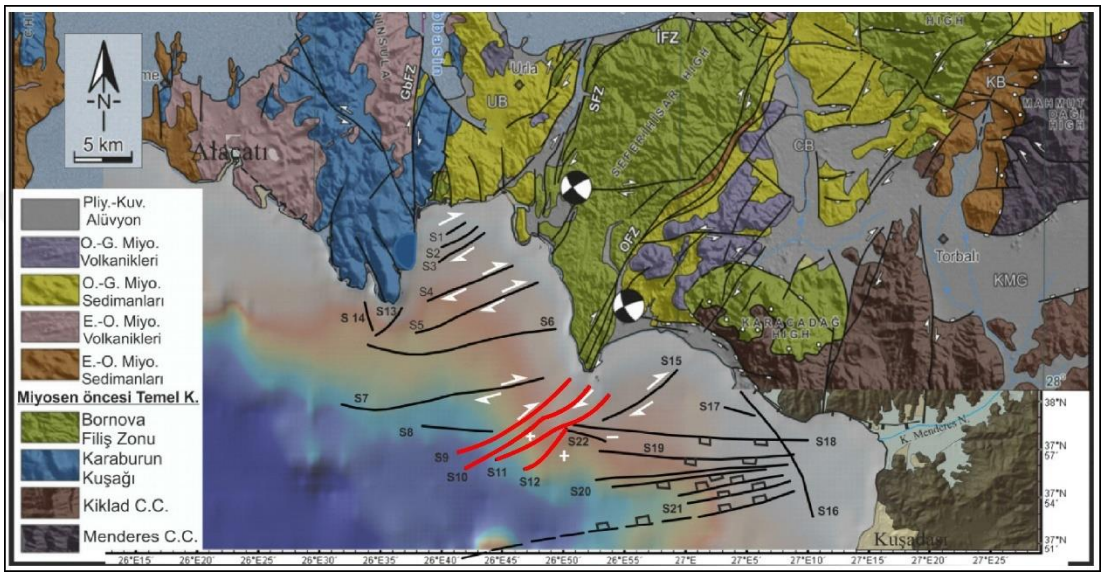
Şekil 4.6 Sığacık körfezinde yapılan sismik araştırma profil kesitlerinin yer bulduru haritası (Gürçay, 2014'ten alınmıştır)

Şekil 4.6'da gösterilen ve Tuzla Fayı'nı ilgilendiren kırmızı renkli çizilen sismik yansıma profilleri kuzeyden güneye sırasıyla Sef-08-32, Sef08-46 ve Sef05-8 olarak adlandırılmış ve ilgili kesitleri sunulmuştur (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Tuzla Fayı'nı kapsayan Sef08-32, Sef08-46 ve Sef05-8 sismik yansıma kesitleri (Gürçay, 2014'ten alınmıştır)

Gürçay, (2014)'te, araştırıcı bahsedilen S7, S9, S10 ve S11 fay zonları incelenmiş, bu fayların karadaki en belirgin fay zonu olan Tuzla (Orhanlı) Fayı'na doğru uzandığını gözlemiştir. Bunlardan S9-S11 fay zonları Tuzla (Orhanlı) Fayı'nın karadaki KD-GB uzanımına benzer bir şekilde ilerleyerek Doğanbey Burnu'na doğru ilerlediğini ve bu fay zonlarının (S9-S12) Tuzla (Orhanlı) Fayı'nın denizdeki devamı şeklinde yorumlamışlardır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Tuzla Fayı'nın sismik yansıma kesitleri yardımı ile çizilen denizaltındaki devamı (Gürçay, 2014'ten alınmıştır)

Bu veriler ışığında, Genç ve diğer., (2001) tarafından söylenen Tuzla Fayı'nın sadece yerel öneme sahip olduğu ve denizde hemen GGB'ya eğimli bir normal fay ile sonlandığı iddiası yanlış görülmektedir. Sismik yansıma kesitleri sonucunda bu fayın açık denizde de devamı olduğu kanıtlanmıştır. Ocakoğlu ve diğer., (2004) tarafından çizilen yorumlanmış "DOG1"'kesitinde Tuzla Fayı'nı horstun batı kenarında da haritalamışlardır fakat horstun batı kenarına çizilen fay sistemi Tuzla Fayı'ndan ayrı bir sistemdir. Çizilen faylar Tuzla Fayı olarak adlandırılmak isteniyorsa, horstun sadece doğu kenarı ile sınırlandırılmalıdır ve tartışmaya açılmalıdır. Gürçay, (2014) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda da, Ocakoğlu ve diğer., (2004)'ne benzer hata yapılmış ve ilgili horstun batı kenarına Tuzla Fayı'nın devamı çizilmiştir. Yapılan araştırmalarda, sismik yansıma kesitlerinin yanlış yorumlandığı net bir şekilde görülmektedir. Şekil 4.2'de hesaplanan fayın karadaki uzunluğu ve Ocakoğlu ve

diğer., (2004); Gürçay, (2014)'daki hesaplanan fayın deniz altındaki uzunluğu toplandığında Tuzla Fayı'nın en az 55 km uzunluğunda olduğu hesaplanmıştır.

4.1.1 Arazi Verileri

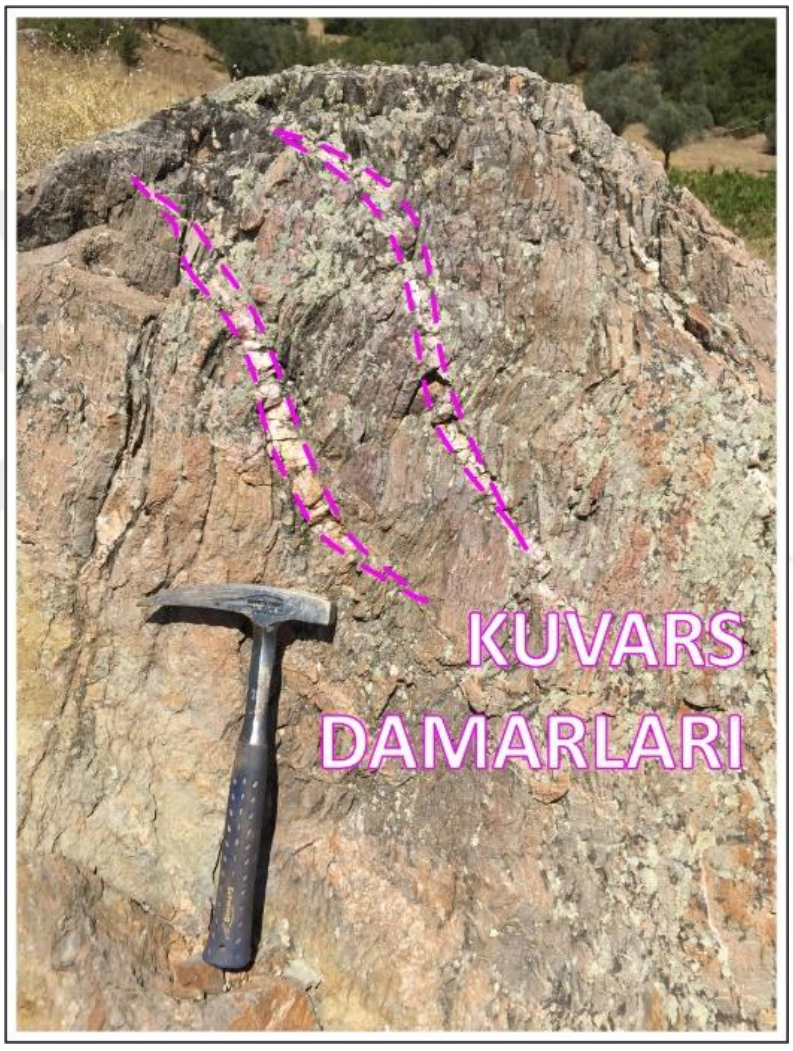
Tuzla Fayı'nın batı bloğu İzmir flişine ait olan sol yönlü çalışan doğrultu atımlı fay arazide gözlenmiştir. Fay, geometrisine göre düzlemsel, yüksek açılıdır. Fay çiziklerine göre doğrultu atımlı fay olarak tanımlanmıştır ve kinematik verilere göre ilk hareketi sol yönlü doğrultu atımlı fay niteliğindedir (Şekil 4.9). Fayın taban bloğundan alınan fay düzlemi ölçümleri:

- K50D/74GD,
- K44D/71GD R15K,
- K36D/78GD R30K,
- K16D/73GD,
- K42D/79GD,
- K45D/ 76GD,
- K43D/73GD'dir.



Şekil 4.9 İzmir flişinde gözlenen sol yönlü doğrultu atımlı fay verileri (Koordinat: 0505354/5234958) (Kişisel arşiv, 2020)

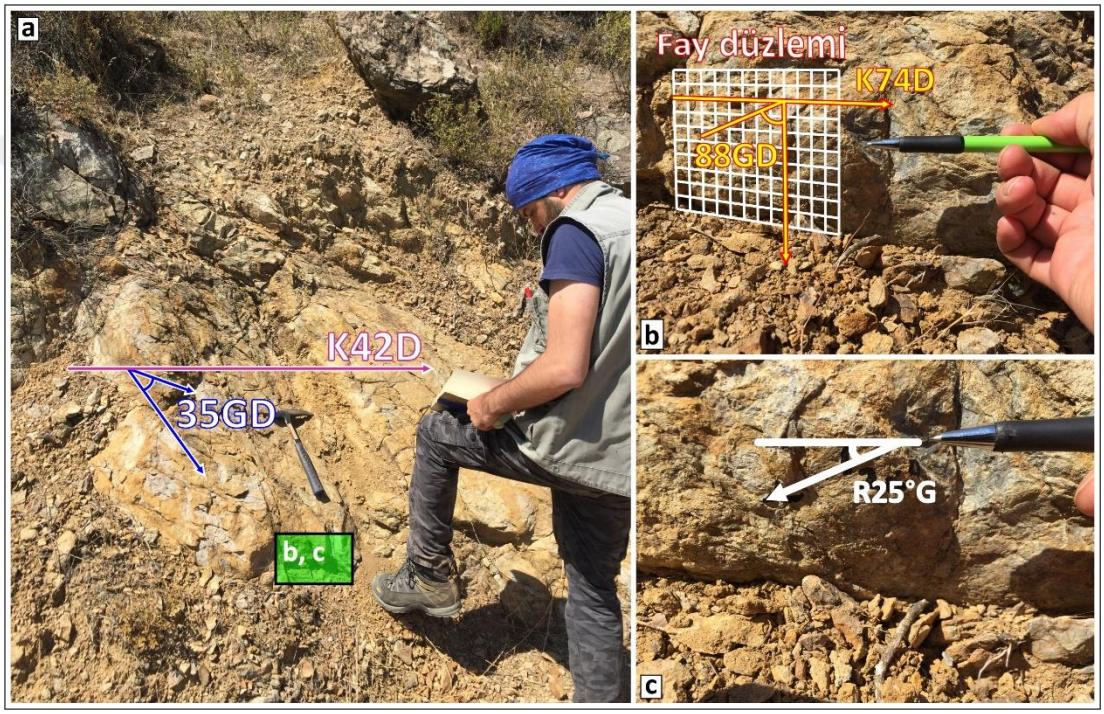
Taban bloğunda İzmir flişine ait kumtaşı-çamurşeyl biriminin uğradığı jeolojik süreçler sırasıyla katmanlanma, kıvrımlanma ve çatlama olarak gözlenmiştir. Birimin kıvrım ekseni K35D olarak ölçülmüştür. Kıvrım kanatları arasında yaklaşık 85° ölçülmüştür. Kıvrımın batıya doğru eğimlenmesi vardır. Kıvrımlanan birim daha sonra kuvars damarları tarafından kesilmiştir. Kuvars damarları ve birimin katmanları arasındaki açı yaklaşık 36° olarak ölçülmüştür (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 Fayın taban bloğunda gözlenen İzmir flişine ait kayaçların uğradığı deformasyonlar (Koordinat: 0505354/5234958) (Kişisel arşiv, 2020)

Tuzla Fayı'nın güncel hareketi olan sağ yönlü doğrultu atımlı fay karakterini ortaya koyan veriler Çatalca hendeğinin 100 metre güneybatısındaki yol yarması üzerinde küçük bir yüzeyde gözlenmiştir. Burada kumtaşı biriminin katman doğrultu ve eğimi

K42D/35GD olarak ölçülmüştür. Birim, düşük-orta açılı eğime sahip olan birimin faylar tarafından kesildiği saptanmıştır. Birimleri kesen faylardan birinin eğimi düşeye oldukça yakındır. Kumtaşı birimini kesen fayların konumları sıraysıyla K58D/47GD R30G ve K74D/88GD R25G olarak ölçülmüştür. Ölçülen farklı iki faydaki, fayın kayma açısına göre sınıflandırıldığında doğrultu atımlı fay niteliğinde olduğu anlaşılmış ve fay düzleminde gözlenen mikrokertiklere göre de fayların sağ yönlü hareketi saptanmıştır (Şekil 4.11).

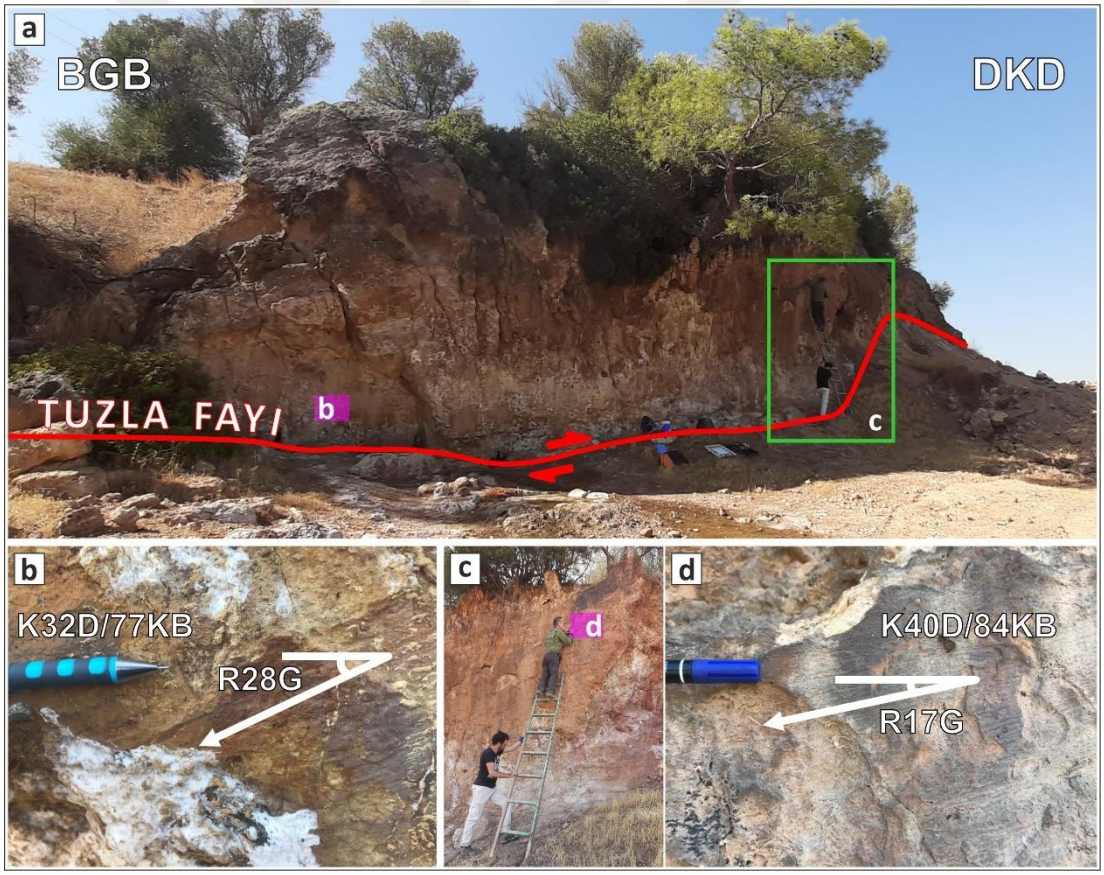


Şekil 4.11 Çatalca hendek güneyinde gözlenen Tuzla Fayı verileri (a) Fayın taban bloğunda gözlenen birimin doğrultu-eğimi (b) Fay düzlemi ölçüleri (c) Fay düzlemi üzerinde gözlenen rake açıları (Koordinat: 0505818/4235832) (Kişisel arşiv, 2020)

Tuzla Fayı, Doğanbey koyu ve yöresindeki bugünkü jeomorfolojiyi denetlemektedir. Söz konusu yapısal sınır, hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri yardımı ile kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. Yapılan önceki araştırmalar (jeolojik, jeodezik, jeofizik) kapsamında Tuzla Fayı'nın güney bölümünün, kuzey bölümüne göre daha aktif olduğu belirtilmektedir. Yapılan çalışmalar ve Bölüm 3'teki drenaj havza analizi sayesinde, fay boyunca çok sayıda derenin Tuzla Fayı'nın eski hareketi sol yönlü ve güncel hareketi olan sağ yönlü doğrultu atımlı fay ile ötelendiğini

göstermektedir. Tuzla Fayı kaynaklı ve sayı olarak baskın olan sağ yönlü dere ötelenmeleri, fayın sağ yönlü aktivitesine işaret etmektedir.

Tuzla Fayı'nın en aktif olduğu güney bölümünde açılan Tuzla Hendek yerinin 10 metre batısında faya ait geniş yüzlekte İzmir flişine ait kayalar gözlenir. Faya ait yüzleğin hem batı hem de doğu kenarında net olarak birbirinden farklı fay konumları ölçülmüştür. Yüzleğin batı kenarında bulunan fayın doğrultu ve eğimi K32D/77KB ve yan yatım açısı(rake) güneyden 28°, doğu kenarında ölçülen aynı fayın düzlemi doğrultu eğimi K40D/84KB ve yan yatım açısı(rake) güneyden 17° olarak ölçülmüştür. Düzlemdeki fay verileri, kayma açısına göre bakıldığında doğrultu atımlı fay niteliğinde olduğu ve fay düzlemindeki kinematik verilere göre bakıldığında söz konusu olan doğrultu atımlı fayın sağ yönlü hareket ettiği bulunmuştur (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 Tuzla hendek alanının batısında gözlenen Tuzla Fayı verileri (a) Ölçülen fay düzlemlerinin bulunduğu geniş yüzlek (b, d) Fay düzlemi ölçüleri (c) d fotoğrafı için yer bulduru (Koordinat: 481596/4216861) (Kişisel arşiv, 2020)

4.1.2 Kinematik Analiz

Kinematik analizin amacı, çalışılan bölgedeki asal gerilim eksenlerini ve yönünü tayin etmek için yapılmaktadır. Analiz sonucunda bölgenin sıkışma veya genişlemeli tektonik rejimi içinde olduğu yorumu yapılabilmektedir. Fay düzlemi ölçümleri FaultkinWin adlı programa girilerek üç asal gerilim ekseninin doğrultuları (σ1>σ2>σ3) eşit alan alt yarım küre stereonet ağına yerleştirilmiştir. Her gerilme ekseni (σ1>σ2>σ3) için ayrı ayrı yönlem (T), dalım (P) ve hata payı (E) değeri hesaplanmıştır.

Ölçüm yapılan bölgede genişleme veya sıkışma rejimi olduğu, asal gerilme eksenlerinin hangisinin düşey düzlemde olduğu ile ilişkilidir. En büyük asal gerilme ekseni (σ1) düşey düzlemdeyken genişlemeli, ortaç asal gerilme ekseni (σ2) düşey düzlemdeyken doğrultu atımlı ve en küçük asal gerilme ekseni (σ3) düşey düzlemdeyken sıkışmalı tektonik rejimden bahsedilmektedir (Özkaymak, 2012). Bunun sonucunda, stereonet ağının merkezinden saptanan asal gerilim eksenlerinden en büyük ve en küçük olanına yardımcı çizgi ile alt yarım küre dışına sıkışma ve genişlemeyi gösterir oklar yerleştirilir.

Yapılan arazi çalışmalarında, bölgenin kinematik özelliklerini belirlemek amacı ile Tuzla Fayı üzerinde ölçülen veriler doğrultusunda kinematik analiz çalışmaları yapılmıştır. Fay yüzeyi üzerindeki hareketi gösteren fay çizikleri ve kertikleri gibi yapılar, fay düzlemindeki kinematik göstergeler kullanılarak bulunmuştur. Tuzla Fayı'nda, bu çalışma kapsamında fay düzlemine ait farklı noktalarda 60 adet fay konumu ölçülmüştür. Ölçüm yerleri 7 gözlem noktasında tamamlanmıştır. Gözlem noktaları Tuzla Fayı'nın 3 segmentinde de en belirgin şekilde gözlemlenen yüzleklerden seçilmiştir. 1, 2, 3 ve 4 numaralı gözlem noktası fayın en kuzey segmentinde, 5 numaralı gözlem noktası fayın orta bölümünde, 6 ve 7 numaralı gözlem noktası ise fayın güney segmentinde bulunmaktadır. Fayın kuzey bölümünde eski kayma düzlemi yani sol yanal doğrultu atımlı fay özellikleri saptanırken, güney segmentindeki bütün ölçüler fayın sağ yanal doğrultu atımlı fay hareketini ispatlar niteliktedir (Tablo 4.1).

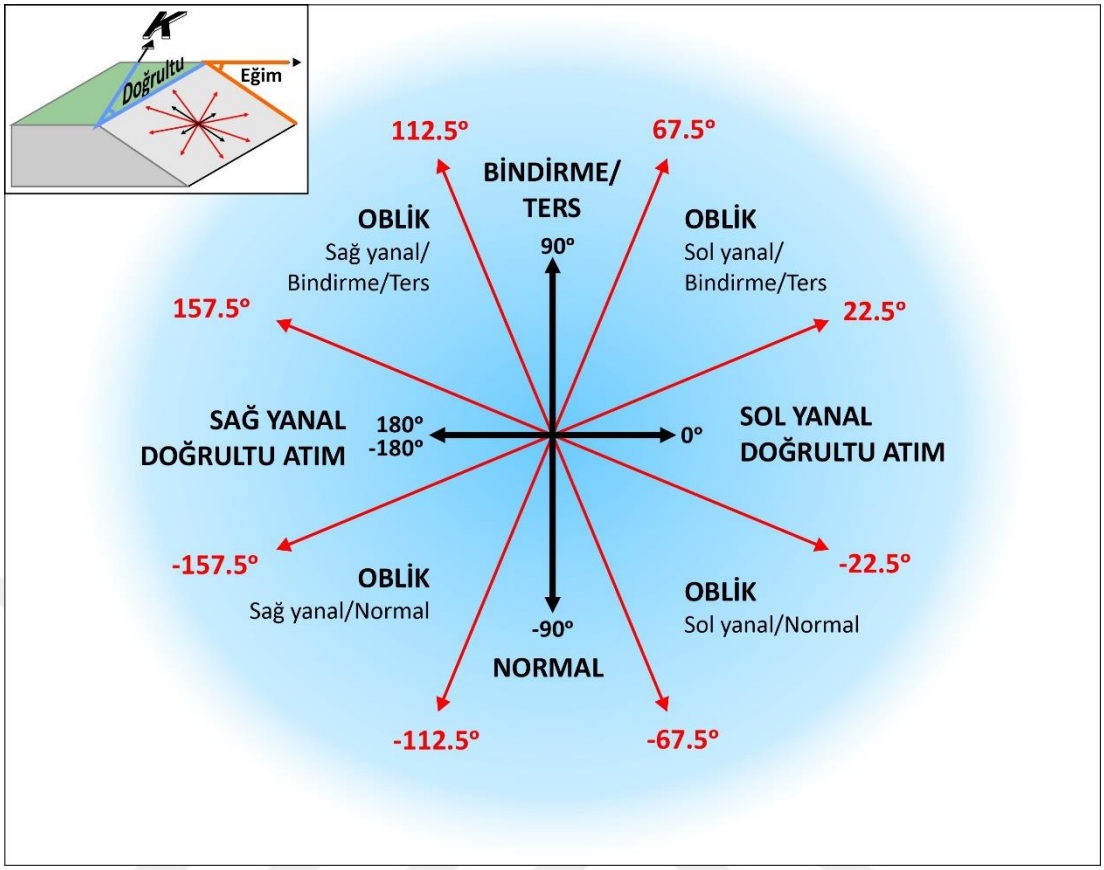
Tablo 4.1 Tuzla Fayı üzerinde ölçülen fay düzlemi kayma verileri

Gözlem no	Gözlem yeri	Birim	Birim Yaşı	Doğrultu	Eğim miktarı	Eğim yönü	Rake açısı	Rake yönü	Fayın karakteri
1	Çatalca 900m kuzeybatısı	İzmir Flişi	geç Kretase	K 50 D	74	GD			
				K 44 D	71	GD	15	K	Sol yanal doğrultu atımlı, normal bileşenli fay
				K 36 D	78	GD	30	K	Oblik atımlı, sol yanal normal bileşenli fay
				K 16 D	73	GD			
				K 42 D	79	GD			
				K 45 D	76	GD			
				K 43 D	73	GD			
2	Çatalca hendek güneyi	İzmir Flişi	geç Kretase	K 42 D	35	GD			
				K 58 D	47	GD	30	G	Oblik atımlı, sağ yanal normal bileşenli fay
				K 74 D	88	GD	26	G	Oblik atımlı, sağ yanal normal bileşenli fay
3	Çatalca 2km kuzeybatısı	İzmir Flişi	geç Kretase	K 52 D	39	GD			
4	Çatalca hendek	İzmir Flişi	geç Kretase	K 44 D	54	GD			
				K 8 D	47	GD			
				K 34 D	54	GD			
				K 31 B	31	KD			
				K 62 D	43	GD			
				K 85 D	47	GD			
				K 3 B	38	KD			
				K 32 D	47	GD			
				K 51 D	49	GD	18	K	
		Çatalca form.	erken-orta Miyosen	K 12 D	47	GD			
				K 34 B	64	KD			
				K 64 B	73	GB			
				K 80 B	78	GB			
				K 81 D	42	GD			
				K 61 D	48	GD			
				K 39 D	59	GD			
5	Yeniköy hendek	Yeniköy form.	erken-orta Miyosen	K 10 D	47	GD			
				K 64 D	39	GD			
				K 55 D	43	GD			
				K 21 D	25	GD			
				K 42 D	49	GD	54	B	Oblik atımlı, sağ yanal normal bileşenli fay
				K 62 D	46	GD			
				K 15 B	54	KD			
				K 52 D	35	GD			
				K 40 D	56	GD			
				K 67 B	54	GB			
				K 45 D	77	GD			
				K 3 D	47	GD			
				K 22 D	44	GD			

Tablo 4.1 devamı

Gözlem no	Gözlem yeri	Birim	Birim Yaşı	Doğrultu	Eğim miktarı	Eğim yönü	Rake açısı	Rake yönü	Fayın karakteri
6	Tuzla hendek	İzmir Flişi	geç Kretase	K 32 B	47	KD	47	G	Oblik atımlı, sağ yanal normal bileşenli fay
				K 19 D	86	GD	26	G	Oblik atımlı, sağ yanal normal bileşenli fay
				K 50 B	14	GB			
				K 16 B	38	GB	28	G	Oblik atımlı, sol yanal normal bileşenli fay
				K 17 B	41	KD			
				K 42 B	30	KD			
				K 14 D	84	GD	7	G	Sağ yanal doğrultu atımlı normal bileşenli fay
				K G	87	B			
				K 74 B	86	GB			
				K 69 B	83	GB	14	D	Sağ yanal doğrultu atımlı ters bileşenli fay
				K 14 D	67	GD			
				K 43 D	86	KB	18	K	Sağ yanal doğrultu atımlı normal bileşenli fay
				K 24 B	90				
				K 3 B	87	GB	14	K	Sağ yanal doğrultu atımlı normal bileşenli fay
				K 74 B	44	GB	56	G	Oblik atımlı, sol yanal normal bileşenli fay
				K 3 B	84	GB	10	K	Sağ yanal doğrultu atımlı normal bileşenli fay
				K 17 D	88	GD	10	K	
				K 40 D	85	GD	17	K	
7	Tuzla hendek batısı	İzmir Flişi	geç Kretase	K 32 D	77	KB	28	G	Oblik atımlı, sağ yanal ters bileşenli fay
				K 40 D	84	KB	17	G	Sağ yanal doğrultu atımlı ters bileşenli fay

Fay düzlemi üzerinde bulunan kayma çizgilerine göre fayın karakter sınıflaması geçmişte birçok araştırıcı tarafından sınıflandırılmıştır. Tablo 4.1'de ölçümleri yapılan fayların karakterini ortaya koymak için Woodcock, (1987)'deki çalışma baz alınmıştır. Bahsi geçen çalışmada fay düzlemleri üzerinde kayma çizgilerinin yatayla yaptığı açı ölçülmüş ve ait olduğu sınıf yazılmıştır. Woodcock, (1987)'de kabaca fay düzlemi üzerindeki rake açılarına göre kabaca 0-90° derecelik bir skalada sınıflandırılacak olursa; kayma açısı 0-22,5° arasında ise doğrultu atımlı fay, 22,5°-67,5° arasında ise oblik bileşenli fay, 67,5°-90° arasında ise eğim atımlı fay olarak tanımlanmıştır. Bu açısal verilerden yararlanarak sınıflamayı görsel bir boyuta taşımak için fayın taban bloğu üzerinde rake açılarına göre sınıflara ayrılmıştır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 Fay düzlemi üzerinde gözlenen kayma çizgilerine göre fay karakterinin sınıflaması (açısal değerler Woodcock, 1987'den alınmıştır.)

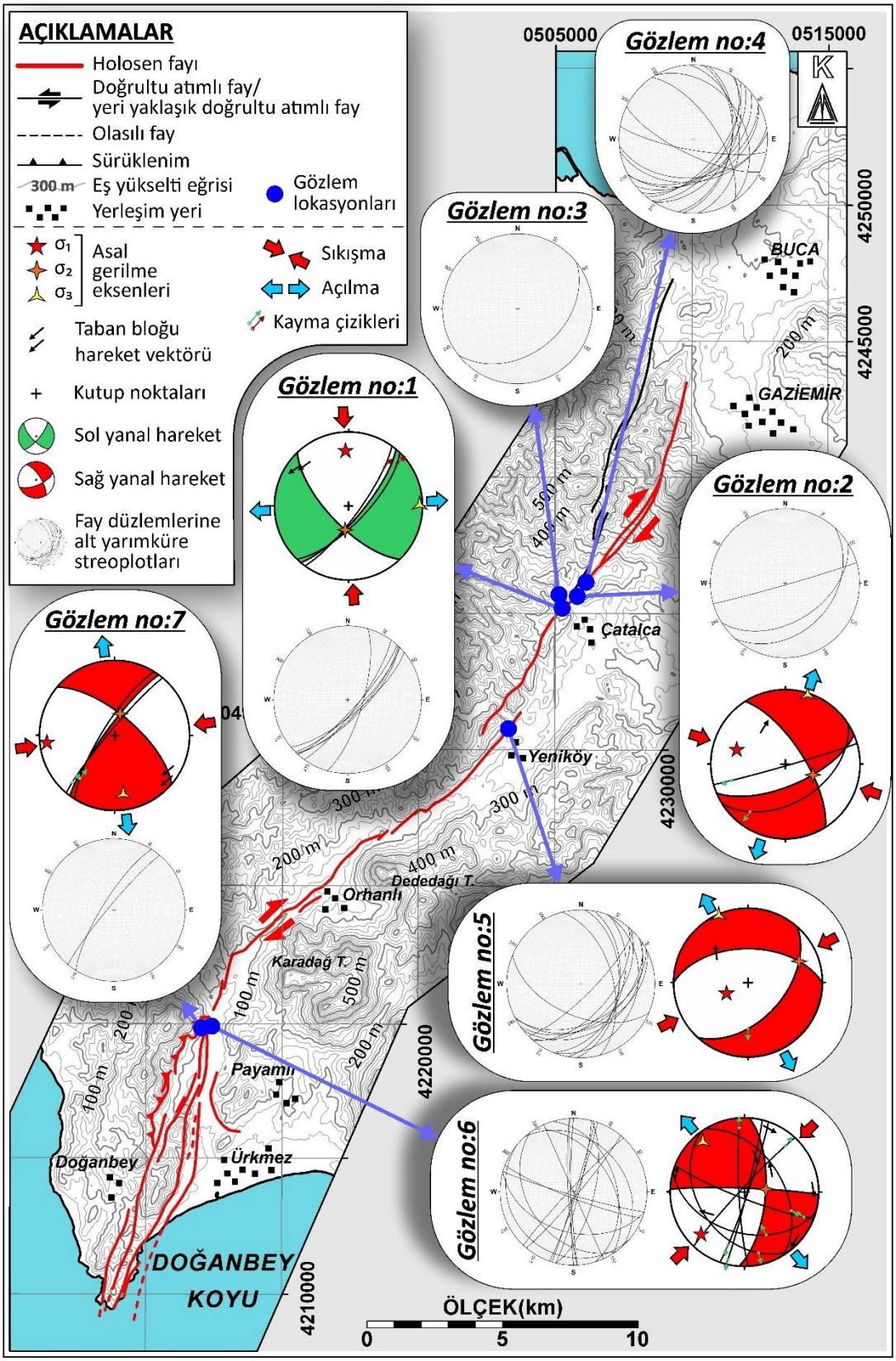
Fay üzerinde yapılan fay düzlemi ölçümleri kinematik anlamda da değerlendirilmiştir. Kinematik olarak değerlendirilecek ölçülerin rake açısının ve fayın karakterinin bilinmesi gerekmektedir aksi takdirde kinematik analiz yapılamaz. Rake açıları ölçüldükten sonra fayın karakteri ile ilgili yorumlamalar fay düzlemi üzerindeki kinematik göstergelere göre yapılmıştır. Bu anlamda arazide toplanan 60 adet fay düzlemi ölçümlerinden 16 tanesi kinematik analiz hesaplamalarında kullanılmıştır. Bunun sonucunda 3 ve 4 gözlem numaralı fay düzlemi ölçümleri kinematik anlamda değerlendirilememiştir.

Hesaba katılan diğer gözlem yerlerinde alınan ölçüler Sperner ve diğer. (2003)'e göre ölçü kalite sınıflaması yapılmıştır. Fay düzlemlerin ana gerilme eksenlerinin (σ_1, σ_2, σ_3) trend, plunge ve eigenvalue değerleri FaultkinWin v.8.1.2 programında hesaplanmış ve detaylı olarak tablo şeklinde sunulmuştur (Tablo 4.2).

Tablo 4.2 Tuzla Fayı'ndan alınan ölçümlerden hesaplanan asal gerilme konumları, türleri ve standartları (*ölçü kalitesi (a-e) Sperner ve diğer., 2003)

Gözlem No	Ölçü Sayısı	*	σ1			σ2			σ3			Tür
			T	P	E	T	P	E	T	P	E	
1	2	e	356,9	26,3	0,4911	187,9	63,3	0,0035	89,1	4,4	0,4877	Sol yanal, normal bileşen
2	2	e	286,5	32,6	0,3973	111,2	57,3	0,0245	17,8	2,1	0,4217	Sağ yanal, normal bileşen
5	1	e	242,9	63,6	0,5	67,5	26,3	0	336,6	1,8	0,5	Oblik, sağ yanal, normal bileşen
6	9	d	225,6	19,5	0,1279	82,6	66,1	0,0260	320,4	13,3	0,1539	Sağ yanal, normal bileşen
7	2	e	265,0	8,8	0,4984	14,8	65,6	0,007	171,3	22,6	0,4914	Sağ yanal, ters bileşen

Arazide toplanan fay düzlemlerinin konumları ve kinematik analizlerinin sonuçları lokasyonları ile birlikte 25 metre izohips aralığına sahip olan eş yükselti haritasına işlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, gözlem numarası 1 olan fayların doğrultu trendi KD-GB uzanımlı ve GD'ya eğimlidir. Fay düzlemi mikrokertiklere göre sol yanal hareketi işaret etmektedir. Bunun sonucunda söz konusu alanda K-G yönde sıkışma ve B-D yönünde açılma saptanmıştır. Gözlem numarası 2 olan alanda tespit edilen fayların doğrultu trendi KD-GB ve eğimi GD olarak gözlenmiştir. Bundan sonraki kayma çizgileri ölçülen gözlem yerlerindeki fayların hareketi sağ yanal yönde olduğu göz önünde bulundurulmuş ve bölgede BKB-DGD yönde sıkışma, KKD-GGB yönde açılma gerçekleşmiştir. Gözlem numarası 3 ve 4 olan alanda toplamda birçok fay düzlemi ölçülmüştür fakat fay düzlemi üzerinde kayma çizgilerine rastlanılmadığı için kinematik yorumlama yapılamamıştır. Bahsedilen gözlem yerlerinde ölçülen fayların KD-GB doğrultulu ve GD'ya eğim trendini koruduğu gözlenmiştir. Gözlem numarası 5 ve 6 olan alanda bölgede KD-GB yönünde sıkışma ve KB-GD yönünde açılma saptanmıştır. Gözlem numarası 5 olan alanda ölçülen fayların doğrultusu KD-GB, eğim yönü GD trendli, oblik atım baskın sağ yanal hareket gözlenmiştir. Gözlem numarası 6 olan alanda birçok farklı yönde faylanma gözlemlenmesine karşın sağ yanal hareket baskındır. Son olarak gözlem numarası 7'de kabaca B-D yönde sıkışma ve K-G yönde açılma saptanmış ve sağ yanal hareket gözlemlenmiştir. Bütün veriler göz önünde bulundurulduğunda bölgede kabaca KD-GB yönde sıkışma ve bu yönde dik KB-GD yönünde açılma saptanmıştır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 Tuzla Fayı'na ait fay düzlem çözümleri, paleostres yönleri ve faylara ait ana asal gerilme konumları (Diri fay Emre ve diğer., 2018'den alınmıştır, fay düzlemleri Tablo 4.1'de, asal gerilme konumları Tablo 4.2'de detaylandırılmıştır)

BÖLÜM BEŞ
PALEOSİSMOLOJİ

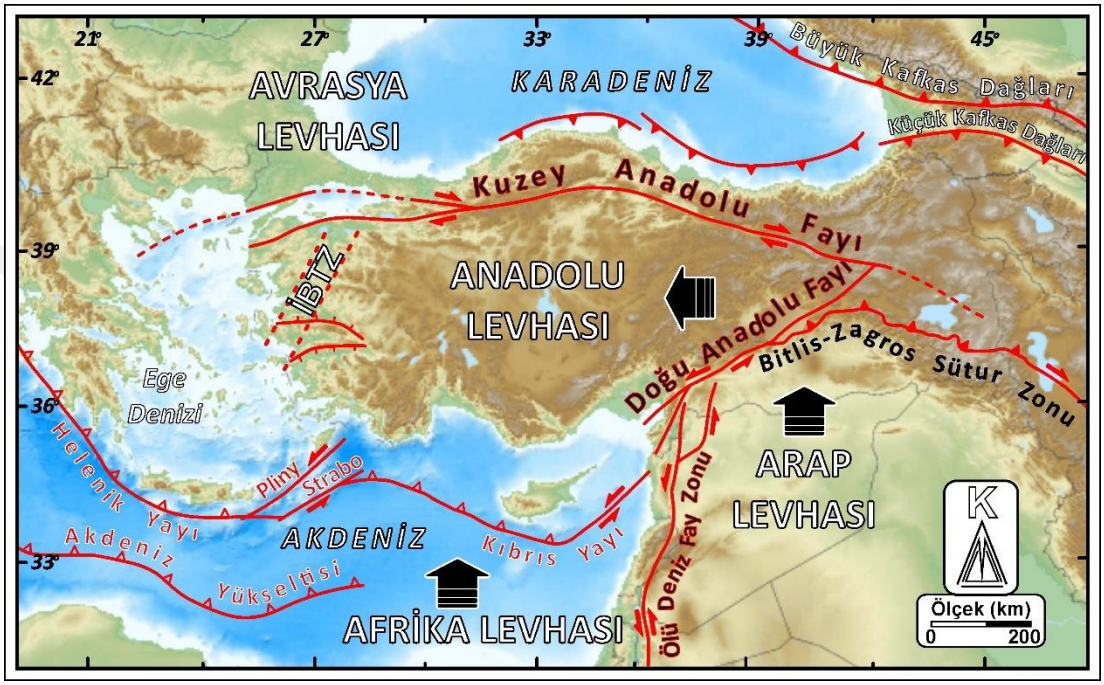
Yer bilimciler, fayların geçmiş dönemlerde ürettiği depremleri bulmak için fay boyunca kilit noktalarda veri toplayabilirler. Bu tür araştırmalara paleosismoloji denir. "Paleo" eski, "sismoloji" depremlerin incelenmesi anlamına gelir. Dolayısıyla paleosismoloji eski depremlerin incelenmesidir. Hendek tabanlı paleosismoloji çalışmalarının amacı, söz konusu çalışılan fayın yeri kesinleştirilmesi, yer değiştirme miktarının saptanması, faydan kaynaklı deformasyon zonunun belirlenmesi, yüzey kırığı oluşturan büyük depremlerin saptanması ile eski depremlerin istatistiki olarak tekrarlanma aralıklarının hesaplanması ve fayın kayma hızının belirlenmesidir.

Tuzla Fayı'na ait paleosismolojik bilgiler içeren bu bölümde, üç adet hendek tabanlı paleosismoloji çalışmalarından elde edilen verilerin açıklanması ve yorumlanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda öncelikle bölgenin sismotektonik özellikleri özetlenmiş, daha sonra palesismolojik hendek verileri sunulmuştur.

5.1 Sismotektonik

Türkiye, Doğu Akdeniz bölgesinde Alp-Himalaya dağ kuşağı içinde bulunur. Günümüzde de oluşumu devam eden bu 9 bin km uzunluğundaki dağ kuşağı Avrupa'dan Asya'ya uzanır (Duman ve diğer., 2016). Araştırıcılara göre, oluşum devam ederken meydana gelen tektonik olaylar nedeniyle bu dağ kuşağı dünyanın en aktif deprem kuşakları arasındadır. Türkiye'nin sismotektonik özellikleri, yer aldığı Doğu Akdeniz bölgesindeki güncel levha tektoniği ile doğrudan ilişkilidir. Anadolu levhası, Arabistan ve Avrasya levhalarının çarpışması sonucu ortaya çıkmıştır. Levha tektoniği hala devam ederken, deformasyonlar ve biriken stres sonucunda Anadolu levhası içinde veya etrafında birçok deprem meydana gelmektedir. Anadolu levhası Doğu Akdeniz bölgesinde devem eden levha kinematiği içinde saatin tersi yönünde dönerek batıya doğru hareket eder ve litosferik Afrika levhası üzerine itilir. Bu tektonik süreçte meydana gelen deformasyonların çoğunluğu Anadolu levhasını kuzey ve güneyden sınırlayan levha içi transform fayları tarafından karşılanır. Bu transform

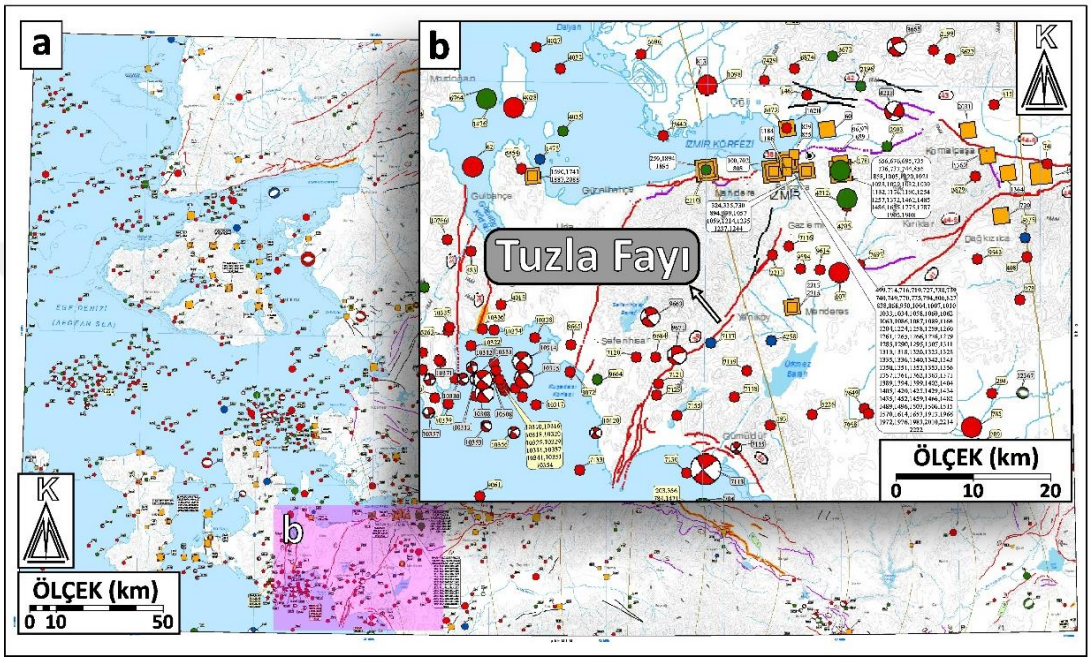
faylar sırasıyla Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayı olarak adlandırılır. Diğer taraftan Akdeniz'de Anadolu ile Afrika levhaları arasındaki yitimi karşılayan Yunan ve Kıbrıs yayları ile Afrika ve Arabistan levhaları arasında transform sınır oluşturan Ölü Deniz Fay zonu bölgenin diğer deprem kaynağı devasa yapısal unsurları olduğunu söylemişlerdir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Türkiye ve çevresinin bölgesel tektonik yapı haritası (Barka 1992, 1999; Bozkurt 2001a; Uzel ve Sözbilir 2008; Uzel, ve diğer., 2013'ten değiştirilmiştir)

Türkiye sismotektonik veri tabanı beş veri grubundan oluşur. Bunlar aktif faylar, aletsel deprem kataloğu, tarihsel deprem kataloğu, fay düzlemi çözüm kataloğu ve kabuk kalınlığı bilgisidir. Ayrıntılı araştırmalar sonucu oluşturulan her bir veri grubu ayrı katmanlar olarak CBS ortamına aktarılmış ve sürekli güncellenebilir bir veri tabanı oluşturulmuştur. Veri tabanında aletsel, tarihsel ve fay düzlemi çözüm katalogları noktalardan oluşmaktadır. Bun noktaların her birine deprem oluşum yeri koordinatları, zaman, büyüklük/şiddet vb. öznitelik bilgileri bağlanmıştır. Deprem kaynağı faylar ve kabuk kalınlığı veri tabanında çizgilerle temsil edilmiştir. Diri fayların öznitelikleri tip, uzunluk, kayma hızı vb. parametrik bilgilerden oluşmaktadır. Kabuk kalınlığı ise eş-derinlik bilgileriyle tanımlanmıştır. Mevcut GPS blok model çalışmalarında önerilen kayma hızları ana fay zonlarına uyarlanarak yaklaşık yıllık

kayma hızlar için yaklaşımlarda bulunulmuştur. Oluşturulan bu veri tabanı kullanılarak Türkiye Sismotektonik Haritaları hazırlanmıştır. Haritaların sunum ölçeklerinin tanıdığı olanaklar çerçevesinde planimetrik bilgiler en ayrıntılı altlık olarak verilmiş, bunun üzerine deprem kaynakları, sismoloji ve kabuk kalınlığı bilgileri eklenmiştir (Duman ve diğer., 2016).



Şekil 5.2 Tuzla Fayı'nın İzmir Sismotektonik Haritası'ndaki yeri (Duman ve diğer., 2016'dan alınmıştır)

Bu çalışmada Tuzla Fayı segmentlerinin ayrı ayrı ve fayın tamamı kırıldığı zaman üreteceği maksimum deprem üretme potansiyeli, Wells ve Coppersmith (1994) bağıntısına göre hesaplanmıştır (Tablo 5.1).

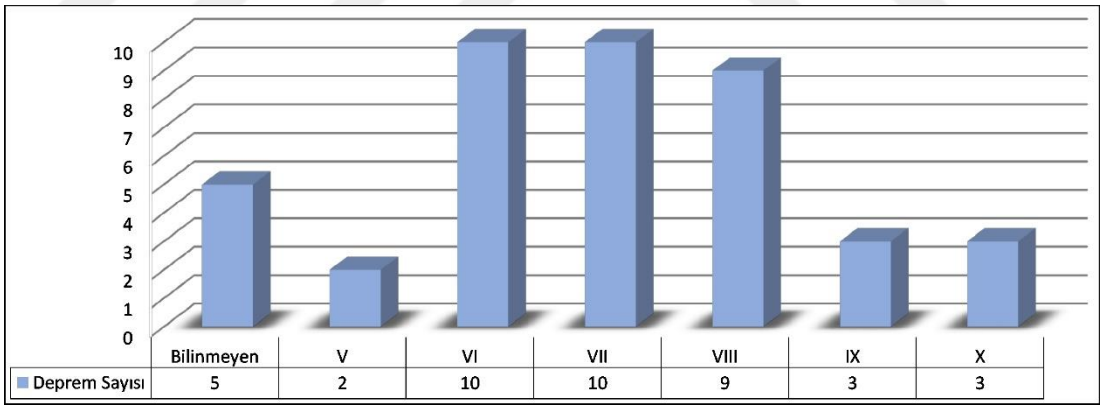
Tablo 5.1 Tuzla Fayı segmentlerinin maksimum deprem üretme potansiyelleri

Magnitüd (M) = a + [b . log (fay uzunluğu)]					
Fay segmentleri	**a**	**b**	**Fay uzunluğu**	**Log(fay uzunluğu)**	**Magnitüd**
Çatalca segmenti	5,16	1,12	15,75	1,1973	**6,50**
Orhanlı segmenti	5,16	1,12	16,25	1,2109	**6,52**
Doğanbey segmenti	5,16	1,12	12,35	1,0917	**6,38**
Tüm segmentler	5,16	1,12	55	1,7404	**7,11**

5.1.1 Tarihsel Dönem Depremleri

Dünyada deprem etkinliği yüksek olan bölgelerden Doğu Akdeniz'de bulunan Anadolu ve çevresinde tarihsel dönemlerde yıkıcı depremlerin meydana geldiği bilinmektedir (Başarır Baştürk ve diğer., 2016). Araştırıcılara göre, aletsel ölçümler sayesinde 1900 yılı sonrasında meydana gelen depremlerin çeşitli parametrik özellikleri hakkında yapılan ölçümlerle bilgi sahibi olunmaktadır. Ancak, aletsel dönem öncesi meydana gelen tarihsel depremler hakkında sistematik bilgi edinebilmek sadece tarihsel belgelerde kayıt altına alınan verilerle sınırlı kalındığını söylemişlerdir.

Başarır Baştürk (2016)'da tarihsel dönem deprem kataloğunda bulunan ve özellikle 38.25°-38.60° kuzey enlemleri ile 26.04°-27.50° doğu boylamları arasında kalan depremler göz önünde bulundurulmuştur. Çalışma alanı ve yakın çevresinde Tuzla fayı kaynaklı olabilecek 42 adet tarihsel deprem ayırtlanmıştır. Bu depremlerden 5 tanesinin şiddeti bilinmemekle beraber, 6 tanesinin IX ve üzeri şiddetinde öngörülmektedir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 Tarihsel dönem depremlerin şiddet ve sayı ilişkisi

Bu şiddetli depremler birçok yapıyı yıkmış veya hasara uğratmış, büyük yangınlara sebep olmuştur. Çalışma alanı ve çevresinde Tuzla fayı kaynaklı olabilecek depremler Tablo 5.2'de detaylı olarak listelenmiştir. Tabloda kimlik numarası, tarih, konum, şiddet ve açıklama sütunları bulunmaktadır. Tabloda verilen kimlik numarası ile depremlerin Başarır Baştürk (2016)'daki tarihsel dönem deprem kataloğunda daha kolay bulunması amaçlanmıştır.

Tablo 5.2 Çalışma alanı ve yakın çevresinde meydana gelen tarihsel dönem depremleri (Başarır Baştürk ve diğer., 2016'dan değiştirilmiştir)

KİMLİK NO	TARİH	YER	ENLEM	BOYLAM	ŞİDDET	AÇIKLAMA
11	MÖ 494	Sakız Adası(Chios)	38.37	26.13	VII	Heredotus'un yazdıklarına dayanarak Papazachos ve Papazachou (1989,221) Sakız Adası'nda VII şiddetinde, MÖ 494 yılının yazına ait bir deprem belirlemiştir.
24	MÖ 305	İzmir yakınları (Ionia)	38.28	26.10		Yazıtlardaki bilgilere göre Ionia'da(İzmir) tarihi ve ayrıntıları belirtilmemiş bir depremden bahsedilmiştir.
49	M S 6	Sakız Adası	38.35	26.04		Onarımlar için imparatorluk yardımı alındı.
51	M S 17	Manisa-Muradiye-Aydın(Lydia)				Manisa-Muradiye-Aydın tamamen yok olmuş ve yıkılmıştır.
		Manisa-Muradiye-Aydın(Lydia)	38.40	27.50	IX	Batı Anadolu'da Efes ile birlikte 13 il tamamen yıkıldı.
		Manisa-Sardis			IX	
58	M S 42	İzmir, Efes				İzmir, Kos Adası, Ildırı,Sığacık ve Efes'i hasara uğrattığını kaydetmiştir.
	M S 44		38.50	27.40	VIII	
60	M S 47	İzmir ve çevresi	38.45	27.18	VIII	Yazarlar, depremi daha benzeri görülmemiş (360km lik boyunca uzanan) deprem gibi yorumlamışlardır.
96	M S 160	İzmir	38.41	27.20	VI	
97	M S 165	İzmir	38.41	27.20	VIII	
100	M S 178	İzmir				Bir çok kişi hayatını kaybetmiştir. Tiberius'un tapınağı, Agora ve Tiyatro binası yerle bir olmuştur.
	M S 177	İzmir, Milet, Sakız, Sisam	38.40	27.10	X	
	M S 178	İzmir			X	
250	M S 688	İzmir	38.40	27.00	IX	
324	M S 1040-02-02	İzmir	38.40	27.15	VII	Birkaç can kaybıyla birkaç güzel yapı yıkıldı.
335	M S 1056	İzmir ve Yöresi	38.40	27.15	VIII	
499	M S 1463	Ege Denizi	38.41	27.12		Bu aslında 1455 yılında olan volkanik aktivitenin tekrarıdır.
676	M S 1654	İzmir	38.40	27.20	VI	Smyrna'da (İzmir) yıkıcı bir deprem.
689	M S 1664-06-02	İzmir	38.41	27.20	VII	2 Haziran Pazartesi gecesi Smyrna'da (İzmir) yıkıcı bir deprem meydana geldi.

Tablo 5.2 devamı

KİMLİK NO	TARİH	YER	ENLEM	BOYLAM	ŞİDDET	AÇIKLAMA
695	M S 1667-11-00	İzmir				Smyrna'da (İzmir) kuvvetli bir deprem hissedildi.
	M S 1667		38.40	27.20	VII	
720	M S 1680-02-14	İzmir				Dönemin gezgini, izmir'de ağır bir deprem meydana geldiğinden söz eder.
			38.35	27.44	VII	
727	M S 1682-07-16	İzmir				Çok sayıda (15.000) kişinin ölümüne neden olduğunu söylenİr.
			38.41	27.12	VIII	
735	M S 1687-11-11	İzmir				
	M S 1687-12-18		38.40	27.20	VI	
737	M S 1688-07-10	İzmir				Kentte çok sayıda Avrupalı diplomat ve tüccar bulunduğundan, bütün tarihi depremlerin en iyi bilinenlerindendir. Deprem, 11.45'te oldu ve 20-30 saniye sürdü. Kentte bulunan 17 büyük camiden sadece üçü ayakta kaldı. Sancak Burnu hisarı, tamamen yıkıldı. Çevresindeki toprak ile birlikte hisar suya batarak, genişliği 30 metre olan bir deniz parçasıyla ana karadan ayrılan bir adacık oluşturdu.
			38.40	27.20	X	
739	M S 1688-07-11	İzmir				Deprem, magnitude u kucuk olmasina ragmen cok fazla hasara neden oldu.
					VI	
			38.41	27.12		
808	M S 1717-07-01	İzmir				Döneme ait bir kaynak, bu depremde 300 kişinin yaşamını yitirdiğini söyler.
			38.40	27.10	V	
813	M S 1718	İzmir				Smyrna'da (İzmir) bu yıl esnasında bir deprem şoku hissedildi.
			38.50	38.50	VIII	
827	M S 1723-09-00	İzmir				Gezgin, 60 evi yıkıp 4500 kişinin yaşamını yitirmesine neden olan depremi kaydeder.
			38.41	27.12		
858	M S 1739-05-01	İzmir	38.40	27.20	VI	
868	M S 1745-03-18	İzmir	38.41	27.12		
894	M S 1754-07-00	İzmir				Şiddetli bir deprem, ayın başında İzmir'i salladı.
			38.40	27.15	VII	
1005	M S 1771-08-08	İzmir	38.40	27.20	VI	İzmir'de şiddetli bir yer sarsıntısı hissedildi.
1020	M S 1776-06-16	İzmir	38.40	27.20	VIII	
1029	M S 1778-07-03	İzmir				Saat 2.30'da meydana gelip yaklaşık 15 saniye sürdü ve İzmir'in neredeyse tamamını harabeye çevirdi.
			38.40	27.20	VIII	
1032	1778-10-01	İzmir				İki cami, beş ev, bir büyük han ve bir hamam yıkıldı, can kaybı olmadı.
			38.40	27.20	VIII	

Tablo 5.2 devamı

KİMLİK NO	TARİH	YER	ENLEM	BOYLAM	ŞİDDET	AÇIKLAMA
1057	M S 1785-04-26	İzmir	38.40	27.15	VI	İzmir'de saat 17 ve 21'de iki yer sarsıntısı hissedildi
1176	M S 1828-06-15	İzmir				İzmir'de 05:00'de meydana gelen sarsıntı sonrası evler hasar görmüştür.
			38,4	27.20	VII	
			38.41	27.13	VII	
1180	M S 1829-02-23	İzmir				İzmir'de sarsıntı meydana gelmiştir
			38.40	27.20	VI	
1235	M S 1839-10-22	İzmir	38.40	27.15	VI	İzmirde güçlü sarsıntı yaşandı.
1254	M S 1841-11-27	İzmir	38.40	27.20	VII	
1296	M S 1845-06-05	İzmir				İzmir ve Midilli'de 05:25'de küçük ölçekli sarsıntı meydana geldi herhangi bir hasara yol açmadı.
	M S 1845-06-23	Manisa yöresi, İzmir	38.60	27.50	VIII	
		Manisa	38.60	27.50	IX	
1405	M S 1852-09-08	İzmir				Meydana gelen bir yangın çarşının önemli bir kısmını tamamen yok etti.
			38.41	27.12	V	
1462	M S 1855-12-18	İzmir	38.40	27.20	VII	İzmir'de 01:30'da çok şiddetli bir deprem 4 saniye sürdü.
1486	M S 1857-02-13	İzmir				Bir kaç eski duvarın yıkılmasına neden oldu.
	MS 1857-02-12		38.40	27.20	VII	
1635	M S 1866-04-25	Sisam Adası, Ege Denizi				Sisam adası, Scalanova ve Çamlıkta 19:00 da şiddetli bir deprem meydana geldi.
			38.40	27.20	VI	
1855	M S 1881-04-03	Kos				Sakız adasında yıkıcı etkiye sahip deprem meydana geldi. Sarsıntı 10-15 saniye sürdü.
	M S 1881-04-03	Sakız Adası-Ege Denizi, Çeşme, Aydın	38.25	26.10	X	

5.1.2 Aletsel Dönem Depremleri

Dünya üzerindeki tektonik konumu nedeniyle Türkiye'de sık olarak yıkıcı depremler meydana gelmektedir. Bu depremeler gerek ülkedeki gerekse uzak alanlardaki rasathaneler tarafından 19. Yüzyıl başlarından itibaren izlenmeye ve kayıt altına alınmaya başlanmıştır. Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı (AFAD) Deprem Dairesi Başkanlığı ve Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) Türkiye ve yakın çevresinde ulusal sismolojik gözlem ağı işleten iki kurumdur.

Bu kurumlar sistematik olarak bülten yayımlayarak ve katalog hazırlayarak enstitü, organizasyon ve araştırıcıların kullanımlarına sunmaktadırlar. Deprem büyüklüğü açısından yüzey-dalgası büyüklüğü (M_s) 1970 öncesi yıllarda tek büyüklük değeri iken, sonraki yıllarda deprem büyüklük ifadesi çeşitlenerek moment büyüklük (M_w), cisim dalgası büyüklük (M_b), yerel büyüklük (M_l) ve süreye bağlı büyüklük (M_d) değerleri kataloglara eklenmeye başlanmıştır (Kadirioğlu ve diğer., 2016).

Aletsel dönem depremlerini belirlerken katalog alanı kabaca 37.70^o-38.75^o kuzey enlemleri ile 26.65^o-27.23^o doğu boylamları arası olarak belirlenmiştir. Bu alan içerisinde katalog zaman aralığı için 01.01.1900-31.01.2021 tarih aralığı ve deprem büyüklük alt sınırı için M=4,0 değeri kabul edilmiştir. Bu çerçevede veri toplamak amacıyla mevcut 2 farklı kaynaktaki 86 deprem karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Kaynaklar, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KOERI) ve Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı-Deprem Dairesi Başkanlığı olarak belirlenmiştir. Katalog çalışması yapılan alanda AFAD veri tabanında 76 deprem, KOERI veri tabanında 85 deprem kaydedilmiştir. Farklı kaynaklar, aynı depremlerin odak mekanizma çözümlerini farklı konumlarda ve büyüklüklerde verebilmektedir. Bunun nedeni araziye yerleştirilen sismometrelerin arızalı olup olmaması, konumları, oluşturulan sismometre ağı ve deprem çözümünü yapan mühendisin ne kadar donanımlı olduğu ile alakalıdır. Ayrıca belirli büyüklük aralığında depremler veya belirli uzaklıktaki depremler için farklı yöntemler kullanılarak deprem çözümü gerçekleştirilir. Aynı deprem için farklı yöntemler uygulanarak farklı büyüklük ifadeleri ve değerleri görmek mümkündür.

Bundan dolayı, farklı kaynaklarda sunulan her bir deprem aynı tabloda alt alta karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda depremlerin odak mekanizmasının konumu (enlem-boylam-derinlik), tarihleri, büyüklükleri ve büyüklük ifadelerini karşılaştırarak yorumlamaya sunulmuştur. Tümleşik veri tabanında her bir deprem için toplanan veriler Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3 Çalışma alanı ve yakın çevresinde meydana gelen aletsel dönem depremleri (karşılaştırmalı)

NO	KAYNAK	DEPREM KODU	ZAMAN	ENLEM	BOYLAM	DERİNLİK (km)	TİP	BÜYÜKLÜK
1	KOERİ	20210120233756	31/01/2021 23:37:56	37.8667	26.7638	14.5	Mw	4.7
	AFAD-DDA	?	?	?	?	?	?	?
2	KOERİ	20210120232821	20/01/2010 23:28:21	37.8653	26.7432	8.9	Mw	4.0
	AFAD-DDA	?	?	?	?	?	?	?
3	KOERİ	20201204093414	04/12/2020 09:34:14	37.8113	26.7922	4.6	Mw	4.1
	AFAD-DDA	?	?	?	?	?	?	?
4	KOERİ	20201111064945	11/11/2020 06:49:45	37.8527	26.9680	8.0	Mw	4.5
	AFAD-DDA	?	?	?	?	?	?	?
5	KOERİ	20201109203059	09/11/2020 20:30:59	37.8873	27.0013	11.8	Mw	4.1
	AFAD-DDA	0		37.8720	26.9730	6.98		4.2
6	KOERİ	20201102115803	02/11/2020 11:58:03	37.8743	26.9135	8.2	Mw	4.3
	AFAD-DDA	0		37.8818	26.9240	6.18		4.1
7	KOERİ	20201101070512	01/11/2020 07:05:12	37.8110	26.9597	8.6	ML	4.5
	AFAD-DDA	0	01/11/2020 07:05:13	37.8516	27.0101	7		
8	KOERİ	20201031123703	31/10/2020 12:37:03	378.883	265.942	8.5	ML	4.1
	AFAD-DDA	0		37.9140	26.6630	16.20		4.0
9	KOERİ	20201031084151	31/10/2020 08:41:51	37.8870	26.9318	10.1	Mw	4.0
	AFAD-DDA	0		37.8863	26.9460	7.66		
10	KOERİ	20201031053129	31/10/2020 05:31:29	37.8073	26.7305	5	Mw	5.1
	AFAD-DDA	0	31/10/2020 05:31:30	37.8701	26.8303	7.33		5.0
11	KOERİ	20201031021025	31/10/2020 02:10:25	37.8318	26.7598	19	Mw	4.2
	AFAD-DDA	0	31/10/2020 02:10:27	37.8713	26.9260	6.97		4.3
12	KOERİ	20201030233325	30/10/2020 23:33:25	37.8630	26.8668	10.7	Mw	4.1
	AFAD-DDA	0		37.8645	26.8733	7.77		4.0
13	KOERİ	20201030230932	30/10/2020 23:09:32	37.8963	26.9132	7.5	Mw	4.0
	AFAD-DDA	0		37.9101	26.9260	10.20		
14	KOERİ	20201030223708	30/10/2020 22:37:08	37.8250	26.8938	8.5	Mw	4.0
	AFAD-DDA	0		37.8558	26.8818	9.01		
15	KOERİ	20201030152434	30/10/2020 15:24:34	37.8872	26.8612	7.5	ML	4.1
	AFAD-DDA	0		37.8830	26.8586	9.74	Mw	4.0
16	KOERİ	20201030144604	30/10/2020 14:46:04	37.8438	26.8777	7.6	Mw	4.1
	AFAD-DDA	0	30/10/2020 14:47:41	37.8731	26.8796	6.97		
17	KOERİ	20201030130042	30/10/2020 13:00:42	37.8382	26.7913	5.6	Mw	4.9
	AFAD-DDA	0		37.8520	26.8216	3.36		4.8
18	KOERİ	20201030122949	30/10/2020 12:29:49	37.9127	27.0078	7.3	Mw	3.7
	AFAD-DDA	0	30/10/2020 12:29:51	37.9880	27.0716	7.29		4.2
19	KOERİ	20201030115502	30/10/2020 11:55:02	37.9523	270.093	11.7	ML	3.6
	AFAD-DDA	0	30/10/2020 11:55:01	37.9266	26.9485	7		4.1

Tablo 5.3 devamı

NO	KAYNAK	DEPREM KODU	ZAMAN	ENLEM	BOYLAM	DERİNLİK (km)	TİP	BÜYÜKLÜK
20	KOERİ	20201030115124	30/10/2020 11:51:24	37.8877	26.7057	11.2	Mw	6.9
	AFAD-DDA	0		37.8881	26.7770	16.54		6.6
21	KOERİ	20200716180925	16/07/2020 18:09:25	38.4037	26.6850	18.4	Mw	4.4
	AFAD-DDA	0	16/07/2020 18:09:26	38.3811	26.69	7		4.1
22	KOERİ	20190808083908	08/08/2019 08:39:08	38.0182	26.8568	12.9	Mw	4.8
	AFAD-DDA	0		37.9720	26.9535	18.47		
23	KOERİ	20181028081536	28/10/2018 08:15:36	38.2008	26.8557	14.5	Mw	4.0
	AFAD-DDA	0		38.1855	26.8440	10.69		4.1
24	KOERİ	20161017013030	17/10/2016 01:30:30	37.9103	26.8778	8.9	Mw	4.5
	AFAD-DDA	0	17/10/2016 01:30:32	37.9275	26.9261	10.36		4.4
25	KOERİ	20151023182938	23/10/2015 18:29:38	37.9783	26.8037	13	Ml	4.1
	AFAD-DDA	?	?	?	?	?	?	?
26	KOERİ	20150327014241	27/03/2015 01:42:41	37.9512	27.2213	7.4	Mw	3.9
	AFAD-DDA	0		37.9521	27.1990	7.87		4.1
27	KOERİ	20150110043208	10/01/2015 04:32:08	38.2128	27.0510	14.4	Mw	4.1
	AFAD-DDA	0		38.2026	27.0678	7.86		4.3
28	KOERİ	20141021030357	21/10/2014 03:03:57	38.1798	27.1098	17.7	Mw	3.8
	AFAD-DDA	0		38.1690	27.1045	11.74		4.1
29	KOERİ	20141011064210	11/10/2014 06:42:10	38.2097	27.0618	13.3	Mw	3.9
	AFAD-DDA	0		38.1873	27.0596	10.7		4.0
30	KOERİ	20140501141612	01/05/2014 14:16:12	38.0348	27.0413	19.8	Mw	3.8
	AFAD-DDA	0		38.0225	27.0510	8.23		4.1
31	KOERİ	20111227075147	27/12/2011 07:51:47	37.9100	27.0975	5	Ml	4.2
	AFAD-DDA	12310	27/12/2011 07:51:46	37.9778	27.1563	21.3		4.4
32	KOERİ	20111227055918	27/12/2011 05:59:18	37.8313	27.0360	5	Ml	4.3
	AFAD-DDA	12309	27/12/2011 05:59:17	37.9908	27.1748	26.44		4.1
33	KOERİ	20080418134903	18/04/2008 13:49:03	37.9578	26.9643	7.9	Ml	3.6
	AFAD-DDA	11050	18/04/2008 13:49:04	37.9338	26.8954	8.5		4.1
34	KOERİ	20050513223028	13/05/2005 22:30:28	37.9257	26.9990	5.3	Ml	4.0
	AFAD-DDA	10190		37.9237	27.0745	1.3		
35	KOERİ	20030504110035	04/05/2003 11:00:35	38.2000	26.9300	8	Ml	4.4
	AFAD-DDA	9684		38.1785	26.9271	10.3	mb	4.0
36	KOERİ	20050129185225	29/01/2005 18:52:25	38.1800	26.6400	5	mb	4.5
	AFAD-DDA	10120	29/01/2005 18:52:28	38.0890	26.8390	1.6		4.3
37	KOERİ	20030504110035	04/05/2003 11:00:35	38.2000	26.9300	8	Ml	4.4
	AFAD-DDA	9684		38.1785	26.9271	10.3	mb	4.0
38	KOERİ	20030417223427	17/04/2003 22:34:27	38.2400	26.8600	6	Mw	5.2
	AFAD-DDA	9671		38.1810	26.9590	15		

Tablo 5.3 devamı

NO	KAYNAK	DEPREM KODU	ZAMAN	ENLEM	BOYLAM	DERİNLİK (km)	TİP	BÜYÜKLÜK
39	KOERİ	20030410030352	10/04/2003 03:03:52	38.2300	26.8300	16	Md	3.8
	AFAD-DDA	9665	10/04/2003 03:03:51	38.1924	26.8008	6.1		4.1
40	KOERİ	20030410005348	10/04/2003 00:53:48	38.2000	26.7900	8	Ml	4.1
	AFAD-DDA	9664		38.1518	26.8414	34		
41	KOERİ	20030410004015	10/04/2003 00:40:15	38.2100	26.7900	11	Mw	5.8
	AFAD-DDA	9663	10/04/2003 00:40:17	38.2260	26.9180	14.1		5.7
42	KOERİ	20030116021753	16/01/2003 02:17:53	38.2700	27.0700	9	Md	3.5
	AFAD-DDA	9614	16/01/2003 02:17:54	38.2837	27.1711	8.40	Ml	4.0
43	KOERİ	20021211155217	11/12/2002 15:52:17	38.3200	27.0900	17	Md	3.8
	AFAD-DDA	9594	11/12/2002 15:52:18	38.2842	27.1421	10	Ml	4.0
44	KOERİ	19960520090913	20/05/1996 09:09:13	38.2500	26.8400	18	Md	4.0
	AFAD-DDA	7697		38.2900	27.2300	8	mb	4.1
45	KOERİ	19960220033312	20/02/1996 03:33:12	38.2700	27.2000	28	Md	4.0
	AFAD-DDA	7649		38.1200	27.2400	11	mb	4.1
46	KOERİ	19960220025305	20/02/1996 02:53:05	38.2500	27.1300	31	Md	4.0
	AFAD-DDA	7648	20/02/1996 02:53:04	38.1145	27.2463	10	mb	
47	KOERİ	19960130174114	30/01/1996 17:41:14	38.5400	26.7700	17	Md	4.4
	AFAD-DDA	7640	30/01/1996 17:41:15	38.4400	26.9350	10.2	mb	4.5
48	KOERİ	19930120040058	20/01/1993 04:00:58	38.0700	26.9900	10	Ml	4.1
	AFAD-DDA	7155	20/01/1993 04:01:00	38.1100	26.9600	18	mb	
49	KOERİ	19921210101800	10/12/1992 10:18:00	38.1200	26.8800	14	Md	4.0
	AFAD-DDA	7133	10/12/1992 10:17:59	38.0442	26.8171	10	mb	4.1
50	KOERİ	19921205062617	05/12/1992 06:26:17	38.0800	26.9500	15	Md	4.1
	AFAD-DDA	7130	05/12/1992 06:26:16	38.0426	26.9760	4.1	mb	4.4
51	KOERİ	19921119180751	19/11/1992 18:07:51	38.0400	26.8400	10	Md	3.8
	AFAD-DDA	7129	19/11/1992 18:07:53	38.1333	26.9296			4.0
52	KOERİ	19921108192812	08/11/1992 19:28:12	38.1400	26.9100	11	mb	3.6
	AFAD-DDA	7121	08/11/1992 19:28:11	38.1472	26.9319	4.7		4.7
53	KOERİ	19921108182120	08/11/1992 18:21:20	38.1800	26.9300	13	mb	3.9
	AFAD-DDA	7120		38.1783	26.8985	6.4		4.2
54	KOERİ	19921108142632	08/11/1992 14:26:32	38.1400	27.0200	14	Md	3.6
	AFAD-DDA	7119		38.1639	27.0633	14	Ml	4.0
55	KOERİ	19921107043635	07/11/1992 04:36:35	38.1100	27.0000	10	mb	4.4
	AFAD-DDA	7118	07/11/1992 04:36:34	38.1323	27.0449	1.2		
56	KOERİ	19921107032545	07/11/1992 03:25:45	38.1700	26.9900	56	mb	4.2
	AFAD-DDA	7117	07/11/1992 03:25:46	38.1964	27.0098	56.3		4.8
57	KOERİ	19921106220344	06/11/1992 22:03:44	38.1400	27.0300	9	Md	3.8
	AFAD-DDA	7116	06/11/1992 22:03:46	38.3110	27.1243	10	mb	4.6

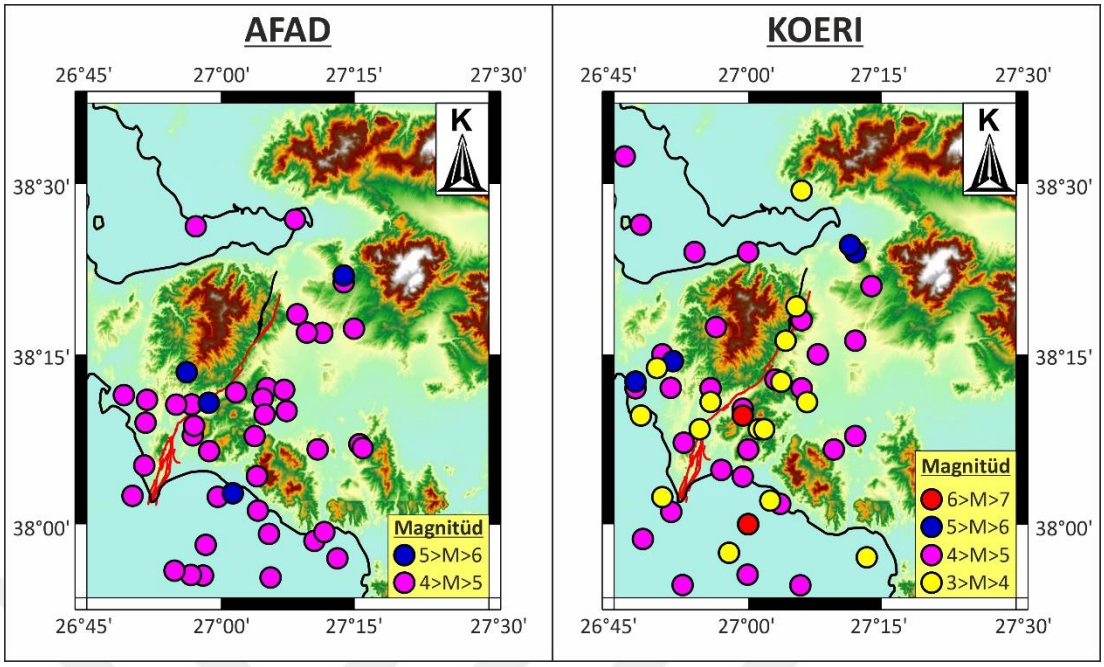
Tablo 5.3 devamı

NO	KAYNAK	DEPREM KODU	ZAMAN	ENLEM	BOYLAM	DERİNLİK (km)	TİP	BÜYÜKLÜK
58	KOERİ	19921106200558	06/11/1992 20:05:58	38.0300	27.0600	10	mb	4.5
	AFAD-DDA	7115	06/11/1992 20:06:00	38.0730	27.0490	1.6		4.6
59	KOERİ	19921106190809	06/11/1992 19:08:09	38.1600	26.9900	17	Ms	6.0
	AFAD-DDA	7113		38.0480	27.0040	9.8	Mw	
60	KOERİ	19910615213317	15/06/1991 21:33:17	38.4900	27.1000	8	mb	3.9
	AFAD-DDA	6873		38.4500	27.1200	12		4.1
61	KOERİ	19830406144805	06/04/1983 14:48:05	38.1100	27.1600	9	Ml	4.1
	AFAD-DDA	5225		38.1125	27.1623	8.8		
62	KOERİ	19780409065307	09/04/1978 06:53:07	38.2000	27.1000	56	mb	4.7
	AFAD-DDA	4258						
63	KOERİ	19771216073729	16/12/1977 07:37:29	38.4100	27.1900	24	mb	5.3
	AFAD-DDA	4212	16/12/1977 07:37:30	38.3680	27.2110	21.2		
64	KOERİ	19771209155337	09/12/1977 15:53:37	38.3500	27.2300	27	mb	4.8
	AFAD-DDA	4205	09/12/1977 15:53:38	38.3580	27.2110	15.2		
65	KOERİ	19770918053029	18/09/1977 05:30:29	38.0000	27.0000	?	mb	4.0
	AFAD-DDA	4172	18/09/1977 05:57:17	34.7533	23.1120	25.1		4.9
66	KOERİ	19761121231035	21/11/1976 23:10:35	38.4400	26.8000	39	mb	4.1
	AFAD-DDA	4035		38.4436	26.7845			4.2
67	KOERİ	19750904045516	04/09/1975 04:55:16	38.1300	27.2000	?	Ml	4.0
	AFAD-DDA	?	?	?	?	?	?	?
68	KOERİ	19730421020517	21/04/1973 02:05:17	38.4000	26.9000	5	Md	4.0
	AFAD-DDA	?	?	?	?	?	?	?
69	KOERİ	19730419221354	19/04/1973 22:13:54	38.2900	26.9400	17	mb	4.4
	AFAD-DDA	3584		38.2877	26.9419	17.3		
70	KOERİ	19700506031429	06/05/1970 03:14:29	38.1600	26.8000	5	Md	3.7
	AFAD-DDA	3072				10	mb	4.8
71	KOERİ	19660719025233	19/07/1966 02:52:33	38.3000	27.1000	33	MS	4.5
	AFAD-DDA	2211				10		
72	KOERİ	19660719023323	19/07/1966 02:33:23	38.4000	27.0000	25	mb	4.3
	AFAD-DDA	2210						
73	KOERİ	19530413231518	13/04/1953 23:15:18	38.0000	27.0000	5	MS	4.7
	AFAD-DDA	1471						
74	KOERİ	19280331002948	31/03/1928 00:29:48	38.1800	27.8000	10	MS	6.5
	AFAD-DDA	784	31/03/1928 00:29:47	38.0000	27.0000	35		6.2
75	KOERİ	19250718162501	18/07/1925 16:25:01	38.0000	27.0000	15	Md	4.3
	AFAD-DDA	?	?	?	?	?	?	?
76	KOERİ	19250718132201	18/07/1925 13:22:01	38.0000	27.0000	15	Md	4.5
	AFAD-DDA	?	?	?	?	?	?	?

Tablo 5.3 devamı

NO	KAYNAK	DEPREM KODU	ZAMAN	ENLEM	BOYLAM	DERİNLİK (km)	TİP	BÜYÜKLÜK
77	KOERİ	19091029160404	29/10/1909 16:04:04	38.0000	27.0000	20	Mw	5.5
	AFAD-DDA	356	29/10/1909 16:04:42				Ms	5.3
78	KOERİ	19080623160700	29/06/1908 16:07:04	38.4000	27.2000	38	Mw	5.3
	AFAD-DDA	?	?	?	?	?	?	?
79	KOERİ	19080623144500	23/06/1908 14:45:00	38.4000	27.2000	25	Mw	5.3
	AFAD-DDA	303	23/06/1908 14:42:00	38.7500	26.6500	10	Ms	5.0
80	KOERİ	19080623141604	23/06/1908 14:16:04	38.4000	27.2000	27	Mw	5.4
	AFAD-DDA	302	23/06/1908 14:15:00	38.7500	26.6500	10	Ms	5.1
81	KOERİ	19041022000000	22/10/1904 00:00:00	38.0000	27.0000	30	MS	4.6
	AFAD-DDA	203						
82	KOERİ	19041010174000	10/10/1904 17:40:00	38.4000	27.2000	20	Mw	5.8
	AFAD-DDA	202		37.7000	26.8000	10	Ms	6.0
83	KOERİ	19040818200700	18/08/1904 20:07:00	38.0000	27.0000	30	MS	6.0
	AFAD-DDA	194	18/08/1904 20:04:00	37.7300	26.9300	10		5.8
84	KOERİ	19040815121200	15/08/1904 12:12:00	37.4000	26.6000	5	MS	4.5
	AFAD-DDA	193	15/08/1904 12:30:00	38.1000	27.1000	10		4.6
85	KOERİ	19040519100200	19/05/1904 10:02:00	38.4000	27.2000	20	MS	5.4
	AFAD-DDA	178						
86	KOERİ	?	?	?	?	?	?	?
	AFAD-DDA	107	23/11/1902 20:14:00	38.2800	27.2000	10	MS	5.5

Tablo 5.3'te ayrıntılı olarak verilen AFAD ve KOERI kurumlarının karşılaştırmalı aletsel dönem deprem çözümlerinin enlem ve boylam bilgileri gerekli programlar yardımı ile harita üzerine işlenmiştir. İşlenen deprem merkezi çözüm lokasyonları daha sonra deprem büyüklüklerine göre farklı renklerde gruplandırılmıştır. Buradaki yapılmak istenen, tablo halinde sunulan karşılaştırmalı deprem bilgilerinin harita üzerine işlenerek farklılıkların daha da çok göz ile görünür hale gelip yorumlanabilir olması amaçlanmıştır. Yukarıda da bahsedildiği gibi farklılıkların temel nedeni kurumların sismometre istasyonlarının deprem merkezine olan uzaklığı, konumu ve çözüm yöntemleridir. Örneğin; Tablo 5.2'de 1992 yılında gerçekleşen depremin büyüklüğü KOERİ tarafından M_w cinsinden, AFAD tarafından M_s cinsinden 6,0 büyüklüğünde verilmiştir. Fakat AFAD tarafından verilen M_w değeri 6,0'dan küçük olduğu için haritadaki deprem merkezi çözümü lacivert renkte verilmiştir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Tuzla Fayı kaynaklı olabilecek aletsel dönem depremlerin (M>4) AFAD ve KOERİ kurumları tarafından çözümlenen deprem merkez noktaları ve büyüklüklerini karşılaştırmalı olarak gösterir harita.

5.2 Tanım ve Metodoloji

Paleosismoloji, jeolojik ve jeomorfolojik verileri kullanarak depremler meydana geldikten sonra eski deprem verilerinin bilgi ve bilime dayandırılarak ilgili fayların geçmişinin araştırılması anlamına gelmektedir. Aletsel dönem depremlerinden daha önce olan depremlerle alakalı bilgiler olmadan günümüzdeki pek çok soruya cevap verilemez. Bu soruların ana başlıkları genel olarak, tarihsel dönem depremler ve hangi fayın hangi depremi ürettiği konusundadır. Sismologların sorduğu diğer önemli sorular ise bir depremin tekrarlanma aralığı, bu tekrarlanma aralığının düzenli veya düzensiz olması ve depremler arasında kaynak özelliklerinin benzer olup olmamasıdır. (Yeats ve diğer., 1997).

Paleosismoloji teknikleri kullanılarak birçok önemli buluş keşfedilmiştir. Bu keşiflere örnek verecek olursak; birçok küçük depremin herhangi bir şekilde San Andreas, Kuzey Anadolu Fayı gibi çok daha büyük faylarda biriken stresi azaltacağı, rahatlatacağı ve ilgili fayların büyük deprem üretme ihtimalini düşüreceği yönünde yaygın olarak yanlış bir düşünce vardır. Paleosismoloji biliminden yararlanılarak elde

edilen sonuçlara göre, fay üzerinde gerçekleşen bütün hareketler son derece büyük depremler yardımı ile gerçekleşir. Bu sismik aktivite sonucunda oluşan olayların hepsi (8 üzerinden bir manyetik moment büyüklüğündeki), sedimantasyon kayıtlarında iz bırakır (McCalpin, 2009).

5.2.1 Hendek Yer Seçimi

Hendek tabanlı paleosismoloji çalışmalarının en önemli aşaması hendek yerinin doğru seçilmesidir. Hendek çalışması yapılacak alanın seçiminde bazı kriterler şu şekildedir:

- Arazi çalışmalarında toplanan jeomorfolojik ve jeolojik veriler ışığında fayın geçtiği yeri saptayabilmek,
- Açılması planlanan hendek alanında Kuvaterner ve/veya Holosen yaşlı genç çökellerin varlığı,
- Genç çökeller, mümkün olduğu kadar stratigrafik olarak eksiksiz seri şeklinde yakalanmalıdır. Kazı çalışması yapılacak alandaki genç çökeller ne çok kalın olmalıdır ne de örnek alımını zorlaştıracak kadar ince olmalıdır,
- Yer altı su tablasının yüzeye yakın olan yerlerinden ve dere kenarlarından kaçınılmalıdır. Aksi takdirde hendek içini su basabilir ve güvenli bir çalışma alanı olmaktan çıkar,
- Kazıcı iş makinesinin lojistik olarak getirilebileceği uzaklıkta ve planlanan hendek alanında rahatça çalışabilmesi sağlanmalı,
- Tüm bu koşullar sağlandıktan sonra arsa sahibinden kazı için izinlerin alınmasıdır.

5.2.2 Hendek Kazı ve Temizleme Çalışmaları

Hendek tabanlı paleosismolojik kazı çalışmalarında arazinin durumuna göre ya ekskavatör ya da JCB kullanılır. Arazi çok çamurlu ise kazıcının daha rahat çalışabilmesi ve batmaması adına paletli ekskavatör tercih edilmelidir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Kazı çalışmalarında kullanılan ekskavatör (Koordinat: 491600/4216891) (Kişisel arşiv, 2020)

Bu çalışma kapsamında 3 adet hendek açılmıştır. Bu hendekler kuzeyden güneye sırası ile Çatalca, Yeniköy ve Tuzla hendekleridir. Çatalca hendeği, yaklaşık 3-3,5 m genişliğinde, 3-4 m derinliğinde ve yaklaşık 23 m uzunluğundadır. Yeniköy hendeği, 3-3,5 m genişliğinde, ortalama yaklaşık 3 m derinliğinde ve 24 m uzunluğundadır. Tuzla hendeği, ise yaklaşık 3 m genişliğinde, 2-4 m arası derinliğe ve 8-9 m uzunluğundadır.

Hendek duvarlarını temizleme aşamalarında kullanılan ekipmanlar genellikle değişkenlik göstermekle birlikte olmazsa olmaz gereçler şu şekildedir; Nejiri gama, kürek, kazma, çapa, gelberi ve fırçadır (Şekil 5.6).

Çalışma kapsamında hendekler birbirine uzak olduğu için lojistik anlamda kolaylık olması için iki farklı ekskavatör ve dolayısı ile iki farklı operatör ile çalışılmıştır. Hendek çalışmalarında aynı anda en az 4 jeoloji mühendisi çalışmıştır.



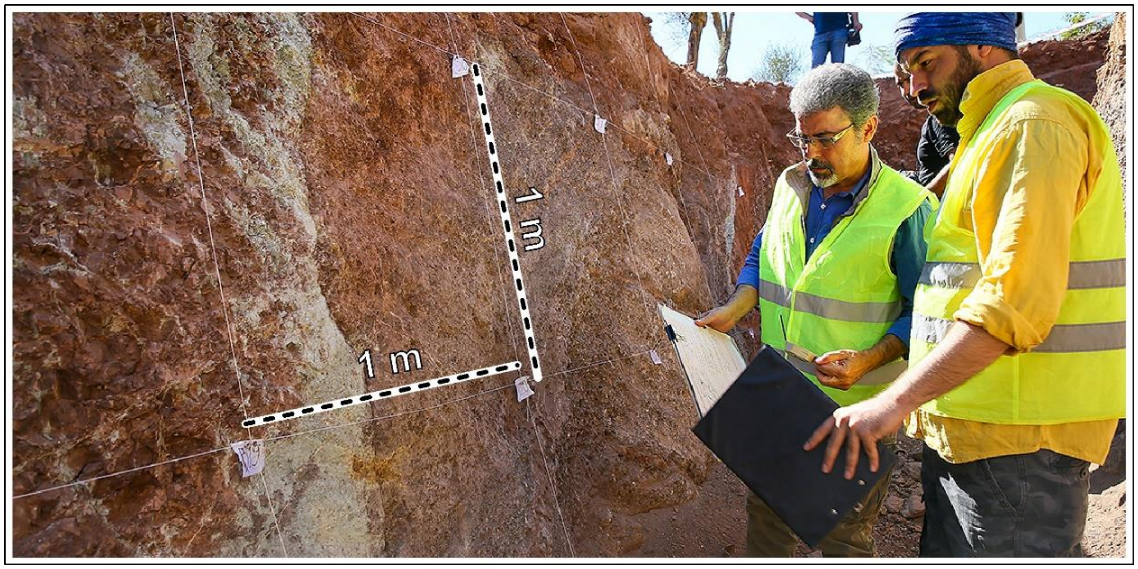
Şekil 5.6 Hendek duvarı temizleme çalışmaları (Koordinat: 491598/4216893) (Kişisel arşiv, 2020)

5.2.3 Karelajlama ve Loglama

Hendek duvarlarının daha iyi anlaşılabilmesi, loglama yaparken, fotomozaik oluşturmak için fotoğraf çekiminde, herhangi bir jeolojik veriyi gösterirken veya incelerken kolaylık sağlaması için 1 m düşey ve yatak aralıklarla karelajlama çalışması yapılmaktadır (Şekil 5.7).

Hendek kazı aşamasında hendek duvarları ne kadar düz olursa karelajlama da o kadar düzenli olur. Karelajlama yapılırken her 1 metrede yatay ve düşey aralıkla etiket ile çiviler duvarlara çakılır. Bu işlem yapılırken 1 metrelik su terazisi kullanmak süreci hızlandırır. Tercihen yatay seviyeler A, B, C, D vb. olarak adlandırılırken, düşey seviyeler 0'dan başlayarak 0, 1, 2 vb. olarak devam eder. Çivilere takılan etiketlerin amacı ise, loglama yaparken veya hendek duvarındaki olayları gözlemlerken yer buldurunun kolay olmasıdır. Aynı zamanda düşey seviyeler hangi sayıda bitiyorsa o sayı hendek uzunluğunu metre cinsinden verir.

Son olarak etiketleme ve çivileme işlemi bittikten sonra her düşey ve yatay seviyeye ipler (tercihen beyaz yün ip) bağlanır.



Şekil 5.7 Karelajlama çalışması yapılmış hendek duvarı ve loglama çalışması (Koordinat: 503724/4230878) (Anadolu Ajansı, 2020'den değiştirilmiştir)

Loglama işlemi, tercihen A3 boyutundaki milimetrik kağıtlara ve 1/25 ölçeğinde yapılır. Hendek duvarlarında gözlenen bütün stratigrafik ve yapısal ögeler milimetrik kağıtlara ölçülü bir şekilde işlenir. Yapısal veriler toplandıktan sonra litolojik tanımlama kısmına geçilir ve bu işlem tamamlanır. Yapısal ögeler pusula yardımı ile ölçülür ve kinematik analiz için veriler toplanır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 Loglama çalışmaları ve yapısal unsuların ölçümü (Kişisel arşiv, 2020)

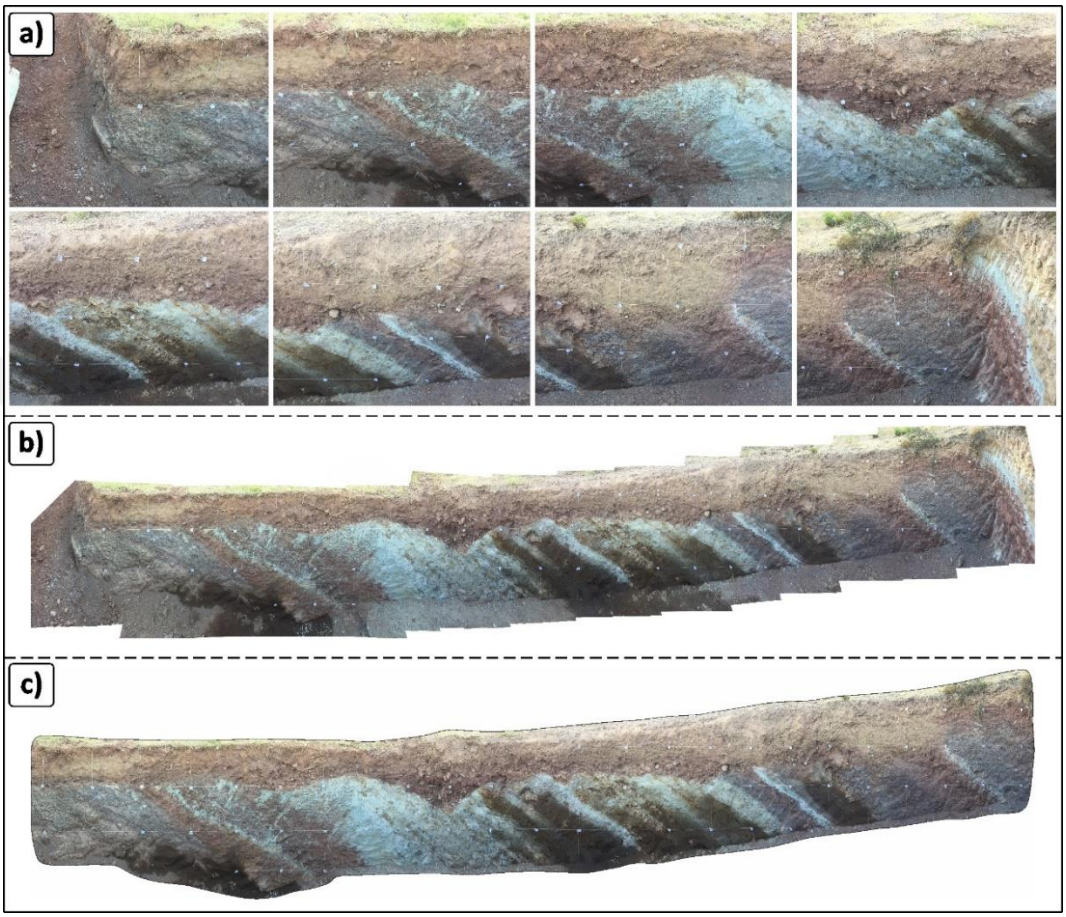
5.2.4 Hendek Duvarlarının Fotoğraf Çekimi ve Fotomozaik Hazırlamak

Hendek duvarlarının fotoğraflanması, çalışılan hendeğin ölümsüz olması için en önemli araçtır. Çünkü açılan hendek veri toplanması bittikten sonra kapatılır. Kapatıldıktan sonra da bir daha o verileri yakalamak mümkün değildir. Hendek çalışılırken bir veri gözden kaçırılabilir, yanlış yazılmış olabilir veya loga hiç işlenmemiş bir veri olabilir. Hendek kapatıldıktan sonra bu sorunun önüne geçmek sadece hendek duvarlarının düzgün ve doğru fotoğraflaması ile mümkündür.

Doğru hendek fotoğrafının çekilmesinin birçok parametresi vardır. Bunlardan ilki, fotoğrafı çekilecek hendek duvarı ya tamamen gölge olmalıdır ya da tamamen güneş görmelidir. Aksi takdirde duvarın bazı yerleri güneşte, bazı yerleri de gölgede kalacağı için renk farklılıkları çok olacaktır. Gölge sınırları, yapısal sınırlar gibi; gölgeye düşen birimler de aynı birim olmasına rağmen farklı kaya birimi olarak gözükebilir. Bunlar hendek içi stratigrafisinde oldukça önemli sorunlara yol açabilir. Eğer mümkünse hendek duvarları hem gölgede hem de tam güneşliyken fotoğraflanmalıdır. Çünkü, gölgede görünen güneşte belli olmayan veya güneşte görünen ve gölgede gözükmeyen kaya birimleri veya yapısal sınırlar mutlaka vardır. İkincisi, hendek duvarlarını mümkün olduğunca tam karşıdan duvar yüzeyine dik olarak fotoğraflamaktır. Eğer dik olarak fotoğraflanmaz ise karelajı yapılan duvar fotoğrafları yamuk çıkacaktır ve her fotoğraf için ayrı lens düzeltme uygulaması ihtiyacı doğacaktır. Üçüncü ve en önemli kriter ise hendek duvarları fotoğraflanırken her bir fotoğraf karesi bir sonraki ile en az %30 aşmalı olarak fotoğraflanmalıdır. Aksi takdirde düzgün bir fotomozaik oluşturmak imkansız hale gelecektir ve hendek kapatıldıktan sonra bunun geri dönüşü yoktur. Bütün bu işlemler düzgün yapıldıktan sonra fotomozaik işlemi hatasız şekilde yapılabilir.

Bu çalışma kapsamında fotomozaik işlemi için Adobe PhotoShop CC 2018 programı kullanılmıştır. Program dahilinde bulunan Lens Correction ve Adaptive Wide Angel komutları etkin olarak kullanılarak her fotoğraf karesi daha da uygun ve düz bir fotoğraf karesi haline getirilmiştir. Fotoğraf kareleri kendi içinde düzenlendikten sonra fotomozaik işlemine geçilmiştir. Fotomozaik işlemi için izlenen

komut sıralaması Automate ve Photomerge'dür. Birleştirilen fotoğraflar, CorelDraw programı kullanılarak fotoğrafların kenarları kesilip etrafı çizilerek daha iyi bir görüntü elde edilmiştir (Şekil 5.9).



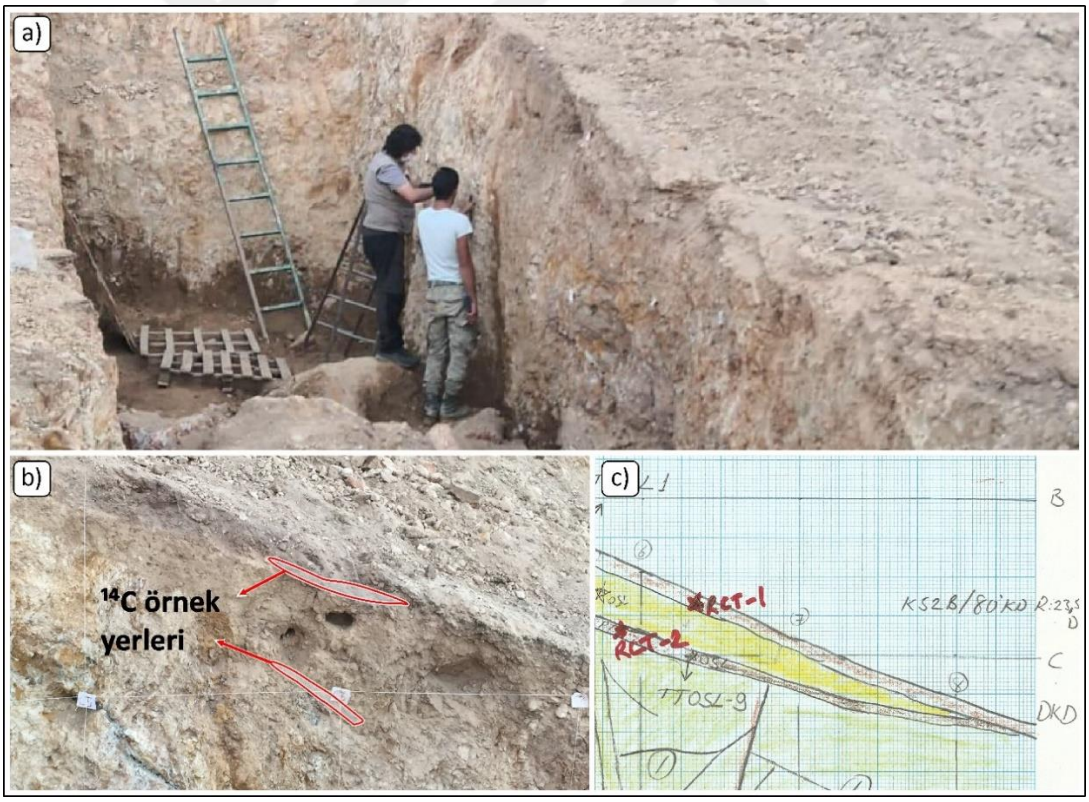
Şekil 5.9 Kronolojik olarak fotomozaik çalışmasının sıralaması (a) Hendek duvarlarını birbirini aşmalı olarak fotoğraf çekimi (b) PhotoShop programı ile fotomozaik işleminin yapılması (c) CorelDraw programı ile fotomozaik işlemine son görünümünü kazandırmak (Kişisel arşiv, 2020)

5.2.5 Örnekleme ve Yaşlandırma

Hendek tabanlı paleosismoloji çalışmalarının amacı fayların geçmişini ortaya koymak dolayısı ile çalışılan fayın deprem geçmişini araştırmak olduğu için bu depremlerin tarihlendirilmesi hususu ana ögelerdendir. Depremlerin doğru tarihlendirilmesi için doğru örnekleme çalışması yapılması olmazsa olmazlardandır. Hendek tabanlı ve yüzey paleosismoloji çalışmalarında birimleri yaşlandırmak için farklı teknikler kullanılabilir. Bu yaşlandırma teknikleri, Radyokarbon (^{14}C), optik

lüminesans (OSL), termo lüminesans (TL) ve kozmojenik yaşlandırma olarak isimlendirilebilir (Aitken, 1985).

Radyokarbon (^{14}C) yöntemi, deprem sırasında yüzeyde bulunan organik ürünlerin yüzey kırığı içine gömülmesi veya kolüvyal çökellerin içine karışması ile ilişkilidir. Bitki veya ağaç kalıntıları toprak içine gömüldüğü an oksijenle teması kesilir ve kömürleşmeye başlar. Radyokarbon yöntemi bize yaklaşık olarak kömürleşmeye başladığı yaşı ve aynı zamanda bize depremin tarihini verir. Depremleri yaşlandırmak için hendek duvarlarında saptanan yüzey kırığında, kolüvyal çökellerde veya depremden sonra oluşan çökelleri yaşlandırmak için paleotopraklardan kömür örnekleri titizlikle toplanır. Örnek alınırken, hangi birimin neresinden alındığı hendek loguna işlenir ve örnek defterine yeri yaklaşık çizilerek fotoğraflar ile kayıt altına alınır (Şekil 5.10).



Şekil 5.10 (a) Radyokarbon örnekleme çalışması (b) OSL ve radyokarbon örnerklerinin alındığı yerler (c) Alınan radyokarbon örneklerinin hendek logu üzerindeki yeri (Koordinat: 491602/4216890) (Kişisel arşiv, 2020)

Lüminesans tarihlendirme ve dozimetri yöntemi; kuvars, feldspat vb. minerallerin iyonize radyasyonu birim zamanda ve birim kütle başına içine çektiği enerjinin ölçülmesi ile hesaplanır. Kozmik radyasyon ve 232Th, 40K, 87Rb, doğal U serilerinin bozunumunda ortaya çıkan enerji sabit düşük seviyeli iyonize radyasyonun kaynağı olarak bilinmektedir. Bu radyasyon dozu kuvars, feldspat vb. minerallerin kristal yapı içindeki elektron ile hollerin birikmesine neden olur. Bu birikim, dışarıdan etki olmadığı sürece devam eder. Bu durum ancak dışarıdan ısı, ışık, mekanik vb., gibi bir etki geldiğinde bozulur (Aitken, 1985; Şahiner ve diğer., 2017).

Aşınma, ayrışma ve taşınma olayları, gün ışığına maruz kalma, depremler, ısı açığa çıkaran volkanizma aktivitesi gibi olaylar bu birikimleri bozan doğal süreçlar olarak örnek verilebilir. Örneklendirilen doğal etkiler sonrası minerallerin kristal yapı içerisindeki tüm tuzaklar boşalır ve minerallerin lüminesans saati sıfırlanır (Aitken, 1985; Şahiner ve diğer., 2017).

Gömülme sonrasında minerallerin içindeki tuzakların tekrardan sabit bir hızla dolmaya başlaması ile lüminesans zamanının sıfırdan başladığı varsayılmaktadır. Yaşlandırılması istenen jeolojik birimin olduğu yerde ışık görmeden örneklendirilmesi ve minerallerin güvenli ışık altında laboratuvarda ayıklanması esastır. Minerallerin kristal yapısı içerisindeki tuzakların yapısının araştırılması sonucunda örneklerin en son ısıya ve ışığa maruz kalma zamanı hesaplanır. Laboratuvarda yapılan uyarma işlemi ışık ile yapılırsa; optik uyarmalı lüminesans (OSL), ısı ile yapılırsa; termo lüminesans (TL) tekniği olarak adlandırılır (Aitken, 1985; Şahiner ve diğer., 2017).

Örnekler, yaklaşık 50 mm çapında ve 10-15 cm uzunluğunda kesilmiş galvaniz borular yardımı ile alınır. Yaşlandırılması istenen çökellere hazırlanan OSL tüpleri, hendek duvarlarına dik, yüzeye yatay şekilde balyoz yardımı ile çakılır. Dik çakılmasının sebebi tüpün içine aynı birimden çökellerin olması isteğidir. Tüpler çakıldıktan sonra tüplerin etrafından yeteri kadar yıllık doz örneklemesi alınır. Yıllık doz örnekleri alındığı zaman tüpün etrafındaki çökeller azalacağı için tüpü geri çıkarması da kolaylaşır. Örneklemedeki en önemli husus çakılan tüplerin tamamen dolu olmasıdır. Bunun sebebi içerisindeki kuvars tanelerinin yöntem dahilinde hareket

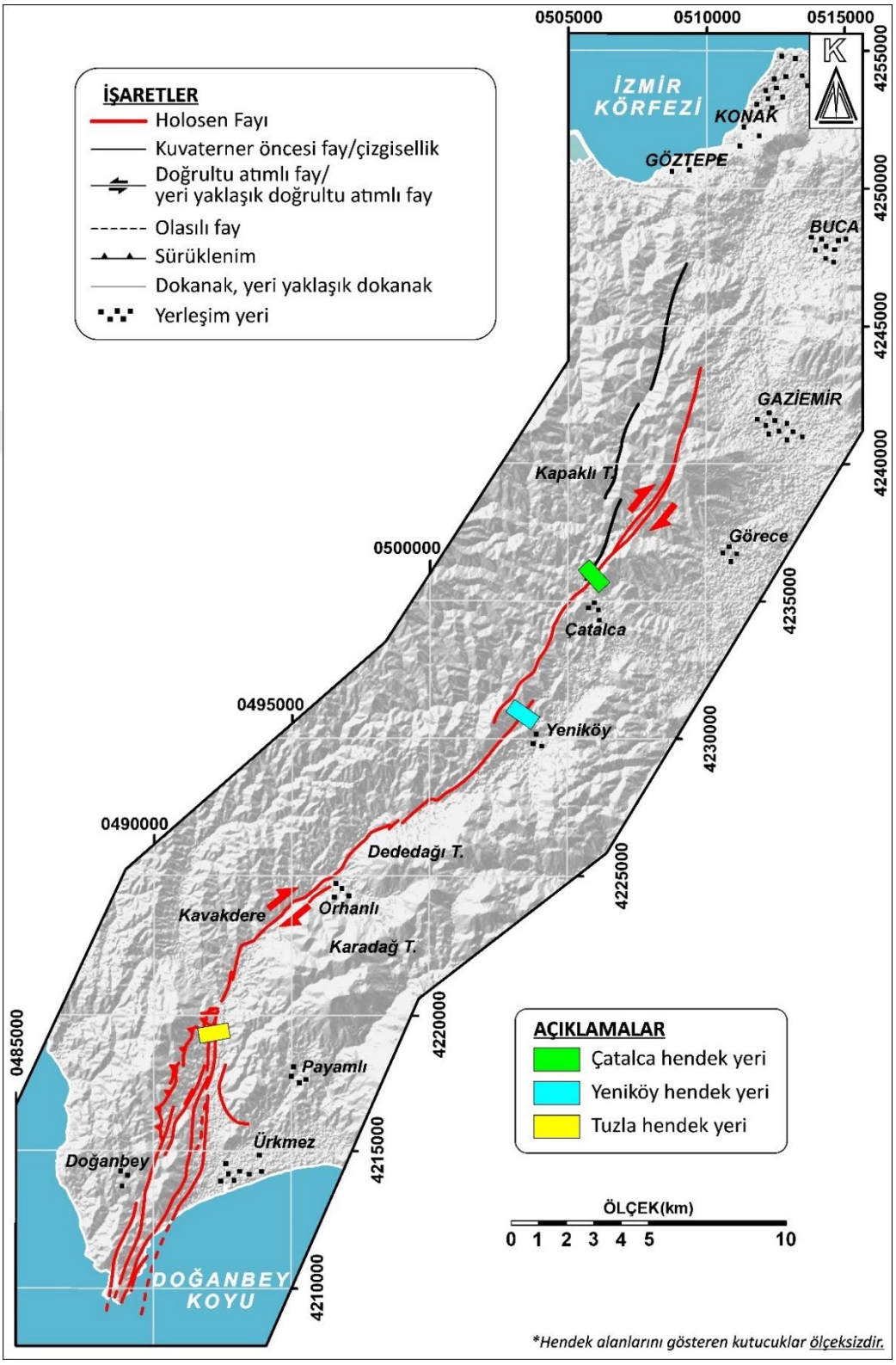
etmemesini sağlamaktır. Diğer önemli husus ise, örneklemenin gün ışığı bittikten sonra kırmızı ışık yardımı ile alınmasıdır. Alınan örnekler herhangi bir ışığa maruz kalırsa sonuçlar tamamen yanlış çıkar ve tüm çalışmalar boşa gitmiş olur. Optik Lüminesans yöntemi güneş ışığına en son maruz kaldığı yaklaşık tarihi verdiği için karanlık ortamda, kırmızı ışık ile örneklenmelidir. Bu çalışma kapsamında 21 adet OSL örneği alınmıştır (Şekil 5.11).



Şekil 5.11 OSL örnekleme çalışmaları (a, b) OSL tüplerinin hendek duvarlarına çakılması (c, d) Yıllık doz örnekleme çalışmaları (e) OSL örnek tüplerini hendek duvarından ayırma işlemi (f) Aynı örneklemede uygulanan OSL tüpünün ve yıllık doz örneklemesinin yeri (Kişisel arşiv, 2020)

Kozmojenik yaşlandırma yöntemi, herhangi bir kayacın ne kadar süredir yüzeylediğini tarihlendirmek amacıyla kullanılır. Bu yöntem, kozmik radyasyona maruz kalan maddelerde oluşan nüklitlerin zaman içerisindeki birikimin ölçülmesiyle sonuçlanır. Bu çalışma kapsamında kozmojenik yaş tayini yöntemi kullanılmamıştır.

5.3 Hendek Çalışmaları



Şekil 5.12 Paleosismoloji çalışması yapılan hendeklerin Tuzla Fayı üzerindeki yerleri (Diri fay Emre ve diğer., 2018'den alınmıştır)

5.3.1 Çatalca Hendek

Tuzla fayı üzerinde açılan birinci hendek Çatalca hendeği olarak isimlendirilmiştir. Çatalca hendeği, Çatalca yerleşim yerinin yaklaşık 1,4 km kuzey-kuzeybatısında ve Tuzla fayının kuzey segmentinin yaklaşık olarak orta bölümünde açılmıştır (Şekil 5.12). Hendek alanı olarak vadiyi kontrol eden Tuzla fayının geçtiği boyun seçilmiştir ve kazı çalışmasında paletli ekskavatör kullanılmıştır (Şekil 5.13).



Şekil 5.13 Çatalca hendek yeri (Koordinat: 505888/4235896) (Kişisel arşiv, 2020)

Hendek, fayın doğrultusuna yaklaşık olarak dik(K42B) olacak şekilde, 24 metre uzunluğunda, 3 metre genişlikte ve 3 metre derinlik olacak şekilde açılmıştır. Bu hendeğin başlangıç ve bitiş koordinatları: 0505878/4235903 ve 0505901/4235874'tür. Hendeğin kuzeydoğu duvarı 24 metre, güneybatı duvarı ise 23 metre olacak şekilde loglanmıştır (Şekil 5.14).

5.3.1.1 Stratigrafi ve Yapısal Veriler

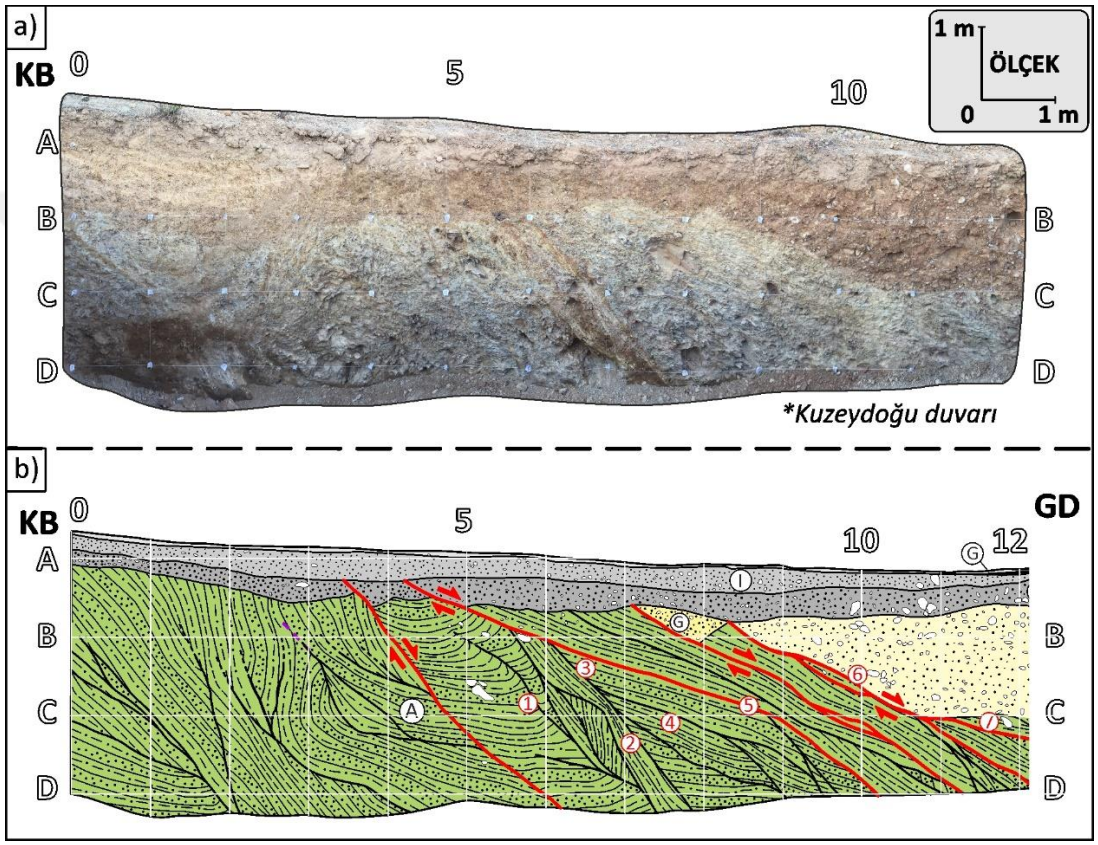
Hendek içinde 11 adet farklı birim tanımlanmıştır. Bu birimlerin içerisinde 3 tanesi ana kaya olarak sınıflanabilecek özelliktedir. Bunlardan ilki, A olarak tanımlanan üst Kretase yaşlı İzmir flişidir. A birimi, baskın olarak çamurşeyl, az miktar çamurtaşı ve çok az miktarda kumtaşından oluşur.



Şekil 5.14 Çatalca hendeği ve geometrik özellikleri (Koordinat: 505877/4235900) (Kişisel arşiv, 2020)

Çamurşeylin ayrışma rengi beyazımsı gri, taze yüzey rengi koyu grimsi, kahverengi renkli, içinde kil miktarı baskın az silt içerir. Yersel olarak kilşeyller gözlenir. Ortalama 3 mm, yersel olarak 1 cm'ye varan laminalanma gözlenir. Pekleşme derecesi az-orta, dayanımı düşük, güney duvarın taban kesimlerinde ilk 4 metre ile 8-15 metreleri arasında yaygındır. Çamurtaşı, bordomsu çok açık kahverengi ayrışma renkli, taze yüzey rengi ise grimsi alacalıdır. Silt miktarı yüksek, dayanımı orta, pekleşmesi orta-iyi, yersel olarak ince kum içerir. Kum kırıntıları genelde feldspatik litik kırıntılardan oluşur. Çamurtaşı, çamurşeyller ile ardalanır. Kumtaşı, orta- ince kum olarak ve genellikle ezilme zonları ve yapısal süreksizliklere paralel, makaslanmış düzlemler arasında yumrular şeklinde görülür. Yersel olarak budinleşmişlerdir. Ayrışma rengi grimsi açık sütlü kahve, taze yüzey rengi pembemsi kahvedir. Pekleşme derecesi iyi, dayanımı yüksek-çok yüksek, aşırı derecede silisifiye, boylanması iyi, yuvarlaklaşması az köşeli- az yuvarlaklaşmış, feldspatik kum kırıntıları içerir ve baskın olarak litik bileşenli kırıntılar gözlenir ve bunlar ince kum boyutundadır. Silis çimentolu, tane-çimento sınırlarında yüksek diyajenetik gözlenir. Özellikle hendeğin güney duvarında C9-C7, D9-D7 arasında yaygındır. 15-36 cm arasında değişen yumrular şeklinde gözlenirler. Maksimum 43 cm boyutunda, hendeğin güney duvar altıncı metresinde tabana yakın kesimde kumtaşı bloğu

gözlenir. Güney duvarın ilk metrelerinde kalınlığı 5,5 cm'ye varan ara katkılar şeklinde ve hendeğin ilk 20 metresinde her iki duvarda da gözenir. Baskın olarak çamurşeyl, az miktarda çamurtaşı ve çok az miktarda kumtaşından oluşur. Birim oldukça kıvrımlanmış, deformasyona uğramış ve faylanmıştır (Şekil 5.15). Birim, hendeğin 19'uncu ile 20'nci metrelerinde Tuzla fayı olarak tanımlanan, Kretase-Miyosen arasındaki yapısal hattı oluşturan fay tarafından kesilmiştir.



Şekil 5.15 Çatalca hendeğine ait kuzeydoğu duvarının bir bölümü (a) Fotomozaik (b)Hendek logu (Kişisel arşiv, 2020)

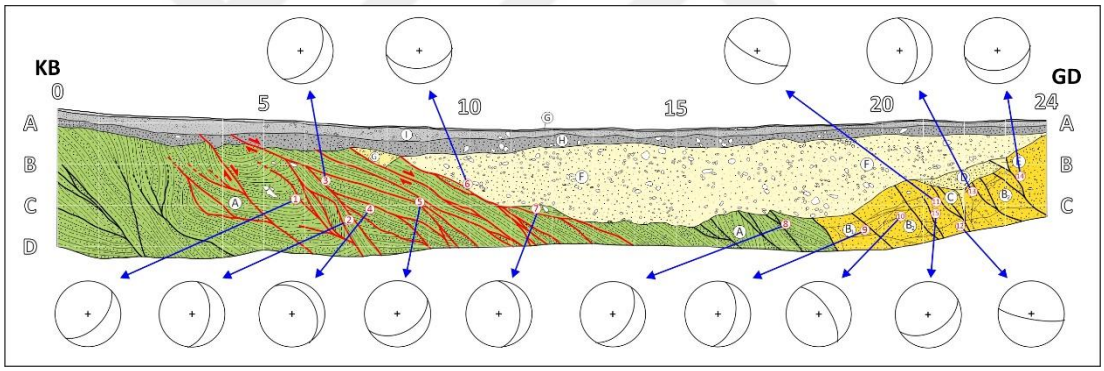
Hendeğin son 3 ve 6 metrelerinde ortaya çıkan B birimi, Miyosen kayalarından oluşmaktadır. B1 olarak isimlendirilen breşik zon, A birimi ile B2 birimi arasında kalan kumtaşından türeme breşlerden oluşmaktadır. Toplam kalınlığı 81 cm'dir. Hendeğin kuzey duvarında tabanda 19-20 metrelerinde net bir şekilde gözlenir. A biriminin sınırına yakın yerlerde 40 cm'lik ezilme zonu olarak gözlenirken sonraki 41 cm'lik bölümü ise breşiktir. Ezilme zonu, çok açık yeşilimsi açık gri-açık kahverengi renklidir. Breşik zon ise şarabi renkli bordomsu gri renklidir. Maksimum breş boyu 9

cm, ortalama breş boyu ise 3,5 cm'dir. B2 biriminin litolojisi ise kaba kumlu orta kumtaşıdır. A ve B birileri hendeğin temel kayalarını oluşturmaktadır. C birimi epimetamorfik olup yassı çakıllar içeren çatlak dolgusu olarak tanımlanmıştır ve B2'nin içerisinde ve hendeğin yaklaşık 21'inci ve 22'nci metrelerinde gözlenir. D birimi, B2 biriminin bir kısmını ve C birimini tamamen örten ince çakıllı kum olarak tanımlanmıştır ve hendeğin sonlarında gözlenir. E birimi hendeğin son metrelerinde küçük bir alanda gözlenen grimsi kahverengi renkli, çakıllı, daha çok tabanındaki B1'den köşeli kumtaşı çakılları içeren dokusal olgunluğu çok kötü, maksimum tane boyu 2,5 cm olan çatlak dolgusu çakıllarının küreselliği orta-kötü, yuvarlaklaşması az köşeli, boylanması kötü, ara madde desteklidir.

Hendeğin son 22 metresinden sonra çok küçük bir alanda gözlenir. E birimi de dahil olmak üzere oluşan bütün birimler, F birimi tarafından açısal uyumsuzlukla örtülür. F birimi, hendeğin 7'nci ve 24'üncü metreleri arasında gözlenir. Koyu kahverengi renkli, bloklar içeren, çakıllı kumlu çamur dan oluşan birim, dokusal olgunluk parametreleri çok kötü ve çakılların %95'i kireçtaşı çakıllarından oluşur. Kireçtaşı çakılları daha çok mikritik kireçtaşından türeme, içinde bol miktarda yassı, yuvarlaklaşmış, rekristalize kireçtaşından oluşur. Fakat silisifiye mikritik kireçtaşları köşeli-çok köşeli, aşırı kırılgan, konkoidal kırılma yüzeyi içeren tanelerden oluşur. Hendeğin kuzey duvarının 10'uncu metresinde, birim içerisinde boyutları 4 ile 6 cm arasında değişen çok köşeli kuvarsit çakılları mevcuttur. Grimsi mikritik kireçtaşı diğer tanelere göre daha iyi yuvarlaklaşmış, birim tabanda orta ve üst seviyelerden daha yuvarlaklaşmış tanelerden oluşur. Hendek logunda, olay 1 olarak tanımlanan faylanma sonrasında G birimi çökelmiştir. G birimi, hendeğin kuzeydoğu duvarında sekizincimetresinde küçük bir alanda kolüvyal kama olarak gözlenir. Birim A biriminin içinde yer alan GD'ya eğimli fayın üzerinde açık kahverengi renkli çakıllı çamurlu kum olarak tanımlanmıştır. H birimi, iki hendek duvarının tamamında da gözlemlenirken, birimleri açısal uyumsuzlukla üzerler. Litolojisi çakıllı çamurlu kum olan birim 4'üncü ve 5'inci metrelerde GD'ya eğimli normal faylar tarafından kesilir. Bu faylanma hendek logunda olay 2 olarak tanımlanmıştır. Faylanmadan sonra I birimi çökeldiği için buradaki olay 2; I biriminden yaşlı, H biriminden genç kabul edilmiştir. I birimi açık sütlü kahve renkli, çakılların dokusal olgunluk parametreleri orta, çakıllı ince kum

olarak tanımlanmıştır. Güncel nebati toprak olan birim J, saçınık şekilde köşeli çakıllar içerir ve tüm birimleri örter. Birim içerisinde yapısal süreksizliğe rastlanılmamıştır.

Hendeğin içinden ölçülen fayların 18 adet fay düzleminden 15 tanesi kuzeydoğu duvardan net şekilde gözlemlenip ölçülmüştür. Ölçülen fayların düzlemleri, FaultKinWin programı yardımı ile çizilmiştir (Şekil 5.16). Hendek logu üzerinde gösterilen kayma yüzeylerinde rake açıları gözlenemediği için fay düzlemlerinin sadece doğrultu ve eğimleri açıklanmıştır. Bütün veriler göz önünde bulundurulduğunda hendek içinde genişlemeli hareketin baskın olduğu gözlemlenmektedir. Hendeğin güneybatı duvarında geriye kalan 3 adet fay düzleminden sadece 1 tanesinde rake açısı gözlemlenip, ölçülmüştür ve fay numarası 17 olarak kodlanmıştır. K51D/49GD R18K olarak ölçülen fay düzlemi mikrokertiklere göre sağ yanal hareketi doğrulanmıştır.



Şekil 5.16 Çatalca hendeği kuzeydoğu duvarında ölçülen fayların eşit alan alt yarım küre stereoplotları

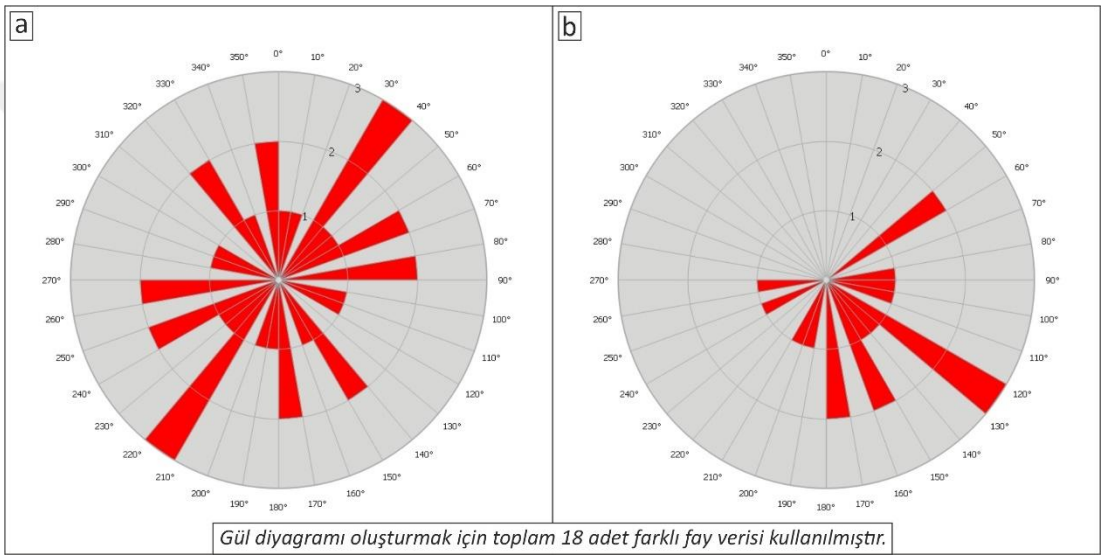
Hendek duvarlarından konumları ölçülen fayların numaraları ve konumları aşağıda listelenmiştir. Verilen fay numaraları hendek logunda çizilen faylar ile aynı numaralara sahiptir (Şekil 5.17).

Fay Konumları

1 K44D/54GD	7 K3B/38KD	13 K4B/47GB
2 K8D/47GD	8 K32D/47GD	14 K81D/42GD
3 K34D/45GD	9 K12D/47GD	15 K61D/48GD
4 K31B/31KD	10 K34B/64KD	16 K39D/59GD
5 K62D/43GD	11 K64B/73GB	17 K51D/49GD R18K
6 K85D/47GD	12 K80B/78GB	18 K24B/54GB

Şekil 5.17 Çatalca hendeğinde ölçülen fayların konumları

Çatalca hendek içerisinde, her iki duvarda da ölçülen fay düzlemlerinin doğrultu ve eğim trendlerinin ortaya konulması için GeoRose programı kullanılarak gül diyagramları çizdirilmiştir. Hendek içerisinde fay düzlemlerinin doğrultu trendleri K30-40°D arasında gözlenmiştir. Ayrıca bu fayların makaslama düzlemlerini de gül diyagramı üzerinden görmek mümkündür. Yine aynı fay düzlemlerinin güneydoğuya eğimlendiği gözlenirken bu yön sağ el kuralına göre eğim yönü trendi 120-130° arasında hesaplanmıştır. Aynı zamanda eğim yönleri birbirlerinin tersi olan yani antitetik faylar gül diyagramı üzerinden ayırtlanabilmektedir (Şekil 5.18).



Şekil 5.18 Çatalca hendeğinde ölçülen fayların doğrultu ve eğim trendlerini gösteren gül diyagramları (a) Fayın doğrultusuna göre (b) Fayın eğim yönüne göre

5.3.1.2 Tarihlendirme Çalışmaları

Çatalca hendek çalışmaları kapsamında 5 adet OSL örnekleri alınmıştır. Bu örnekler kuzeydoğu duvarda TÇH-K-OSL1, TÇH-K-OSL2, TÇH-K-OSL3, TÇH-K-OSL4, TÇH-K-OSL5 olarak isimlendirilmiş ve güneybatı duvardan örnek alınmamıştır. Alınan örnek numaraları yaşlıdan gence doğru sırasıyla F biriminin tabanından TÇH-K-OSL5, F biriminin tavan kısmından TÇH-K-OSL4, G biriminden alınan örnek numarası TÇH-K-OSL3, TÇH-K-OSL, H biriminden alınan örnek numarası TÇH-K-OSL1 ve I biriminden alınan en genç örnek TÇH-K-OSL2 olarak adlandırılmıştır.

5.3.1.3 Paleosismolojik Yorum

Hendek içerisinde toplam 2 olay tespit edilmiştir.

Olay 1, G biriminin (kolüvyal kama) gelişmesine sebep olan olaydır. Dolayısı ile olay 1 G biriminin gömülme yaşından önce olmak zorundadır. Bunun sonucunda, olay 1'in yaş aralığı F biriminin gömülme yaşı günümüz öncesi 54,3 binyıldan sonra, G'nin gömülme yaşı olan günümüz öncesi 43,6 binyıldan öncedir. Bundan dolayı olay 1'in tespit edilen yaş aralığı ise günümüz öncesi 54,3 binyıl ile 43,6 binyıl aralığındadır.

Olay 2, H birimini kesen, I birimi tarafından örtülen olaydır. H biriminin gömülme yaşı günümüz öncesi 28,7 binyıl ve I biriminin gömülme yaşı günümüz öncesi 6,5 binyıl olarak saptanmıştır. Dolayısı ile olay 2'nin tarih aralığı günümüz öncesi 28,7 binyıl ile 6,5 binyıl aralığındadır.

Bu verilerin ışığında ortalama hendek içinde bulunan deprem tekrarlama yaşı 30-35 binyıl aralığındadır.

Çatalca hendek çalışmasına ilişkin hendek logu, tanımlanan birimler ve açıklamaları, yaş örneklerinin alındığı birimler ve konumları, yapısal ve stratigrafik unsurlar, fay düzlemlerinin konumları ve saptanan deprem yaşları ile ilgili bütün bilgiler detaylı olarak EK-1'de sunulmuştur.

5.3.2 Yeniköy Hendek

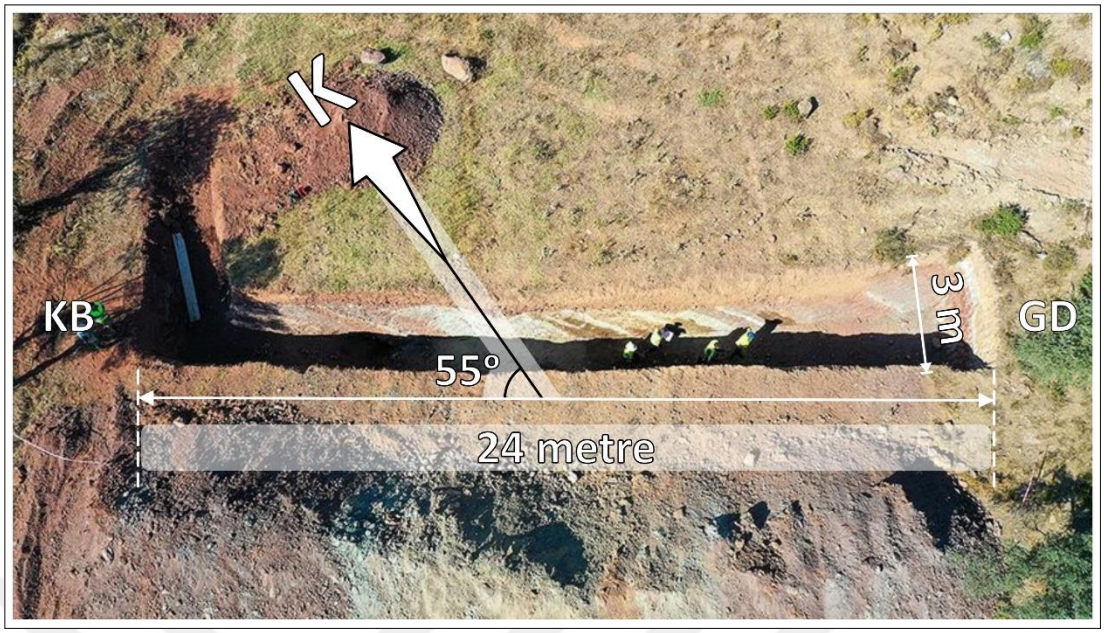
Yeniköy hendeği, Yeniköy yerleşim yerinin yaklaşık 1,2 km kuzey-kuzeybatısında ve Tuzla fayının orta segmentinin kuzey ucunda açılmıştır (Şekil 5.11). Kazı çalışmasında paletli ekskavatör kullanılmış, kazı alanında bitki örtüsü ve dere olmaması çalışmaları kolaylaştırmıştır. Hendek kazısı başlangıcı için yüzey şekillerinden faydalanılmıştır ve çalışmalara fay sarplığının gerisinden başlanılmıştır (Şekil 5.19).



Şekil 5.19 Arazide kronolojik olarak sıralanan Yeniköy hendek çalışmaları (a) Açılması planlanan hendek yeri (b) Hendek kazı işinin bitmesine yakın arazi fotoğrafı (c) Kazı ve karelajlama işlemi bitmiş Yeniköy hendek alanı (Kişisel arşiv, 2020)

Tuzla fayı, çalışılan bölgedeki vadiyi kontrol eden ana yapısal unsurdur. Hendek yer seçiminde, yakınından geçen diri fay yüzleklerinden yararlanılmıştır. Açılan hendek yaklaşık 3 metre genişlikte, 3 metre derinlikte ve 24 metre uzunluğundadır. Bu hendeğin başlangıç ve bitiş koordinatları: 0503731/4230896 ve 0503754/4230876'dır. Yeniköy hendeği, bölgedeki fayın doğrultusuna dik (K55B) olacak şekilde açılmıştır (Şekil 5.20).

Hendeğin güneybatı ve kuzeydoğu taraftaki her iki duvarı da yaklaşık 24 metre ayrı ayrı temizlenmiş, 1x1 metre ölçülerinde karelajlanmış ve paleosismolojik amaçlı yapılan çalışmalara uygun bir şekilde loglanmıştır. Hendeğin her iki duvarında da birbirlerine hem litolojik hem de deformasyon özellikleri bakımından benzer jeolojik birimler yer alır.



Şekil 5.20 Yeniköy hendek alanının geometrik özellikleri (Anadolu Ajansı, 2020'den değiştirilmiştir)

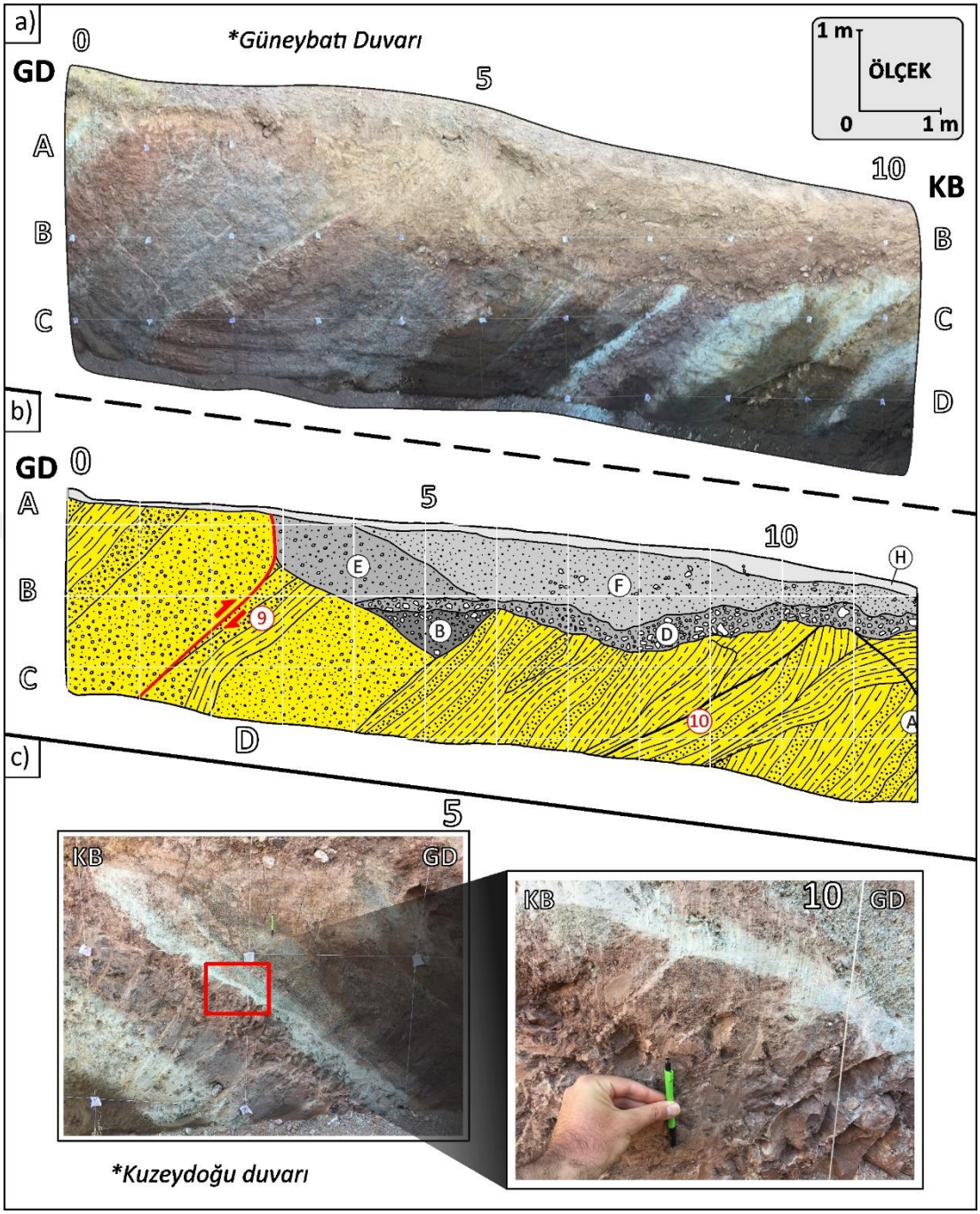
5.3.2.1 Stratigrafi ve Yapısal Veriler

Hendek içinde 7 farklı kaya birimi ayırtlanmıştır. Miyosen çökelleri tek paket altında gruplandırılmış ve A birimi olarak adlandırılmıştır. A birimi, kızılımsı kahverengi, dayanımı orta-iyi, maksimum tane boyu 7 cm olan çakıllar içeren, yuvarlaklaşması orta, küreselleşmesi orta-iyi, ara madde destekli, tüfit, kumtaşı ve piroklastik çakılları içeren kumlu çakıltaşı; şarabi kahverengi, dayanımı orta-iyi, maksimum tane boyu 2,5 cm çakıllar içeren, yuvarlaklaşması ve küreselleşmesi iyi, ince çakıllı kaba kumlu çamurtaşı; sütlü kahverengi, dayanımı çok iyi, maksimum tane boyu 7 cm olan çakıllar içeren, boylanması orta, yuvarlaklaşması kötü, küreselleşmesi orta-iyi, yersel köşeli taneler içerir. Kuvarslı taneler, tüfit, kumtaşı, çamurtaşı ve çört tane bileşenli, yersel çimento ara dolgulu, genellikle ara madde (çamur ve kaba kum) destekli ince çakıltaşı; siyahımsı kahverengi, dayanımı orta-kötü, boylanması iyi-orta, yuvarlaklaşması orta-kötü, küreselleşmesi orta-iyi, maksimum tane boyu 2,5 cm olan ara madesi karbonca zengin, ince çakıllı kaba kumtaşı; beyaz renkli, dayanımı orta, az miktarda kaba kum içeren kiltaşı; koyu kahverengi, yer yer ince çakıl içeren, dayanımı kötü, ince çakıllı kumlu silttaşı ve grimsi beyaz renkli, kumtaşı ve yer yer şarabi renkli çamurtaşı içeren, dayanımı orta, kumtaşı cepleri içeren kiltaşı ardalanmasından oluşmaktadır. A birimini kabaca iki farklı grupta incelemek için kullanılan sınır,

hendeğin 19'uncu metresinde gözlenen eğim atımlı normal faydır. A biriminin 19 ve 23 metreleri arasında birimin yaşlı bölümü gözlenir. Hendeğin son 4 metresinde güneybatı duvarında A grubu birimleri eksiksiz bir şekilde gözlenirken, kuzeydoğu duvarda kısmen eksik gözlenmektedir. Birim (yaşlıdan gence) litolojik olarak sırasıyla çakıltaşı, çamurtaşı, kumtaşı, çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşı olarak gözlenir. Kuzeydoğu duvarda ve yaklaşık 22'nci ve 23'üncü metrelerde birimi kesen kalsit dolgu gözlenir. Hendek içerisinde gözlenen A grubu kaya birimlerinin bu bölümdeki toplam kalınlığı yaklaşık 6 metredir. Hendeğin 5'inci ve 19'uncu metreleri arasında gözlenen A birimi hendek duvarlarının her ikisinde de eksiksiz şekilde gözlenir. Birim genel olarak kiltaşı ve çamurtaşı baskınlığı ile karakteristiktir. Kaya birimleri alttan üste doğru çamurtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, kiltaşı, silttaşı, kiltaşı olarak istiflenmiştir. A grubuna ait birim orta bölümde kendi içlerinde genel olarak uyumlu olarak gözlenirken, bazı yerlerde birim faylanmıştır. Hendeğin kuzeydoğu duvarında 6'ncı metresinde yumuşak sedimanter yapıları gözlenir (Şekil 5.21). A birimi olarak isimlendirilen kaya birimleri hendeğin ilk 5 metresinde grimsi-kırmızımsı çakıltaşı-kumtaşı ardalanması olarak gözlenir. Dayanımı ve pekleşmesi oldukça iyidir. İlk 5 metredeki ardalanmalar 6 birimden oluşmaktadır. A biriminin hendek içerisinde gözlenen kalınlığı en az 14 metredir. A birimi içinde kalan, daha genç birimleri kesmeyen eski faylar gözlenmiştir ve büyük çoğunluğu GD'ye eğimli ölçülmüştür.

B birimi koyu kahverengi renkli, dokusal olgunluk parametreleri çok kötü, kum ara madde destekli kaba çakıltaşı olarak tanımlanmış ve Miyosen yaşlı A birimlerini açısal uyumsuzlukla örtmektedir. Birimlerin litolojisi, alttan üste doğru çakıl-kum-çakıl şeklindedir. Çakıl taşlarının dokusal olgunluk parametreleri kötüdür. B ve C birimi arasında dokanak ilişkisi gözlenememiştir fakat stratigrafik ilişkisi yorumlanmıştır.

C birimi, açık kahverengi renkli, ince kumtaşı çakılları içeren kum olarak tanımlanmış ve hendeğin 19'uncu metresinde gözlenen fayın tavan ve taban bloğunda gözlenmektedir. B ve C birimleri, kahverengi renkli, yuvarlaklaşması ve küreselleşmesi kötü-çok kötü, kuvars, çakıltaşı, kumtaşı, gölsel kireçtaşı, çamurtaşı tanelerinden oluşan ara madde destekli kaba çakıltaşı olan D birimi tarafından örtülmektedir.



Şekil 5.21 Yeniköy hendeğine ait arazi fotoğrafları ve hendek logu (a) Fotomozaik (b) Fotomozaik hazırlanan bölümün hendek logu (c) Hendek içinde gözlenen yumuşak sedimanter yapılar (Kişisel arşiv, 2020)

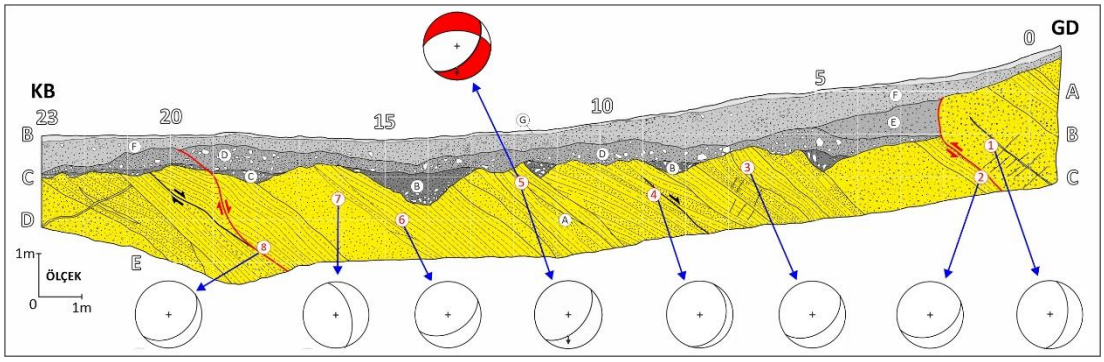
D birimi hendeğin ilk 4 metresinden sonra gözlenir ve hendek sonuna kadar devam eder. D birimi çökeldikten sonra hendeğin üçüncü metresinde gözlenen GD'ye eğimli faylanma gerçekleşmiştir ve fay düzlemi üzerinde E birimi kamalanmıştır. Bu sebeple

hendek içerisinde tanımladığımız olay 1; E biriminden yaşlı, D biriminden genç olmak zorundadır.

E birimi hendeğin sadece ilk 3 ile 6 metreleri arasında gözlenir ve açık kahverengi renkli, ince çakıl taneleri içeren çakıllı çamur olarak tanımlanmıştır. E birimi hendeğin ilk 3'üncü metresinde ortaya çıkan GD'ye eğimli kuzeydoğu duvarda 2, güneybatı duvarda 9 numaralı fay düzleminin üzerinde gözlenir. Litolojisi sütlü-koyu kahverengi renkli, boylanması kötü, yuvarlaklaşması ve küreselleşmesi orta-iyi, ara maddesi çamurdan oluşan çakıllı kum olan F birimi kuzeydoğu duvarda ilk 15 metrede, güneybatı duvarda ise 4 ile 15 metreler arasında gözlenir ve gözlenen bütün birimleri açısal uyumsuzluk ile örter. F birimi aşındığı için hendeğin 15'inci metresinden sonra gözlenememiştir. Açık kahverengi renkli, kum aramadde destekli çakıltaşı olan G birimi, F biriminden sonra çökeldiği gözlenmiştir. Dolayısı ile stratigrafik ilişki göz önünde bulundurulduğunda 8 ve 11 numaralı fay G birimi ile örtülmüştür. Bu noktada F birimi aşındığı için gözlenememiştir. Hendek logunda olay 2 olarak tanımlanan faylanma G biriminden yaşlı, F biriminden genç olduğu ortaya konmuştur.

H birimi ise yersel bitki kalıntıları içeren nebati güncel toprak olarak tanımlanmıştır ve diğer bütün birimleri üzerlerken yapısal unsurla kesilmemiştir.

Hendeğin içinden ölçülen fayların 13 adet fay düzleminden 8 tanesi kuzeydoğu duvardan net şekilde gözlemlenip ölçülmüştür. Ölçülen fayların düzlemleri, FaultKinWin programı yardımı ile çizilmiştir (Şekil 5.22). Söz konusu bu yüzeyler sintetik ve ana kayma düzlemleridir. Hendek logu üzerinde gösterilen 5 numaralı fay düzleminin kayma yüzeyinde rake açısı saptanmıştır. 5 numaralı fayın doğrultu-eğimi ve rake açıları sırasıyla K42D/49GD R45B olarak ölçülmüştür ve mikrokertiklere göre eğim atımlı normal fay niteliğinde olduğu saptanmıştır. Diğer fayların rake açıları gözlenemediği için fay düzlemlerinin sadece doğrultu ve eğimleri açıklanmıştır. Bütün veriler göz önünde bulundurulduğunda hendek içinde genişlemeli hareketin baskın olduğu gözlemlenmektedir.



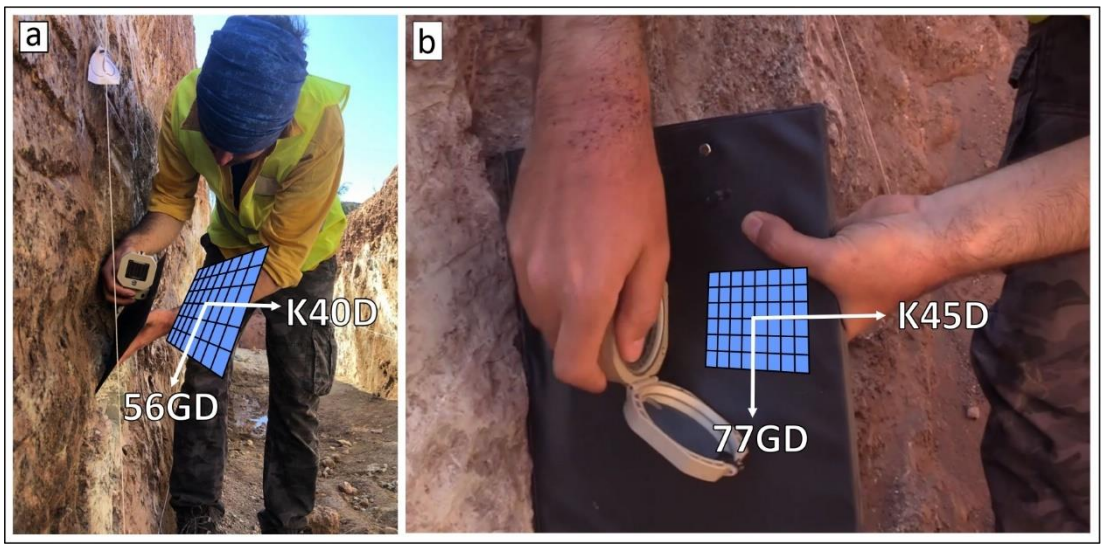
Şekil 5.22 Yeniköy hendeği kuzeydoğu duvarındaki fay düzlemlerinin eşit alan alt yarım küre stereoplotları ve odak mekanizma çözümü

Hendek duvarlarından konumları ölçülen fayların numaraları ve konumları aşağıda listelenmiştir. Verilen fay numaraları hendek logunda çizilen faylar ile aynı numaralara sahiptir (Şekil 5.23, 5.24).

Fay Konumları

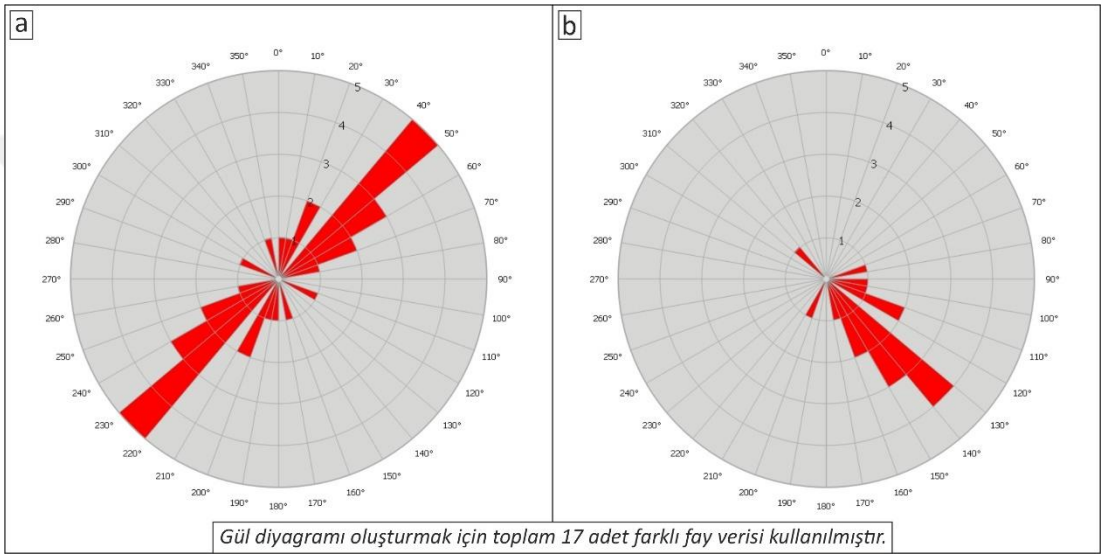
① K10D/47GD	⑤ K42D/49GD R54B N	⑨ K40D/56GD
② K65D/39GD	⑥ K62D/46GD	⑩ K67B/54GB
③ K55D/43GD	⑦ K15B/54KD	⑪ K45D/77GD
④ K21D/25GD	⑧ K52D/35GD	⑫ K3D/47GD
		⑬ K22D/44GD

Şekil 5.23 Yeniköy hendeğinde ölçülen fay numaraları ve konumları



Şekil 5.24 Yeniköy hendeği güneybatı duvarında fay düzlemi ölçümleri (a) Güneybatı duvar metrede gözlenen 9 numaralı fay (b) Güneybatı duvarda gözlenen 11 numaralı fay (Kişisel arşiv, 2020)

Yeniköy hendek içerisinde, her iki duvarda da ölçülen fay düzlemlerinin doğrultu ve eğim trendlerinin ortaya konulması için GeoRose programı kullanılarak gül diyagramları çizdirilmiştir. Hendek içerisinde fay düzlemlerinin doğrultu trendleri K40-50°D arasında gözlenmiştir. Yine aynı fay düzlemlerinin güneydoğuya eğimlendiği gözlenirken bu yön sağ el kuralına göre eğim yönü trendi 130-140° arasında hesaplanmıştır. Aynı zamanda eğim yönleri birbirlerinin tersi olan yani antitetik faylar gül diyagramı üzerinden ayırtlanabilmektedir (Şekil 5.25).



Şekil 5.25 Yeniköy hendeğinde ölçülen fayların doğrultu ve eğim trendlerini gösteren gül diyagramları (a) Fayın doğrultusuna göre (b) Fayın eğim yönüne göre

5.3.2.2 Tarihlendirme Çalışmaları

Yeniköy hendek çalışmaları kapsamında 7 adet OSL örnekleri alınmıştır. Bu örnekler kuzeydoğu duvarda TYH-K-OSL-1, TYH-K-OSL-2, TYH-K-OSL-3, TYH-K-OSL-4 ve güneybatı duvarda TYH-K-OSL-5, TYH-K-OSL-6, TYH-K-OSL-7 olarak isimlendirilmiştir. Yaşlıdan gence doğru sırasıyla B biriminden alınan örnek numarası TYH-K-OSL-4, C biriminden alınan örnek numarası TYH-K-OSL-5, D biriminden alınan örnek numarası TYH-K-OSL-3 ve TYH-K-OSL-6, E biriminden alınan örnek numarası TYH-K-OSL-1, F biriminden alınan örnek numarası TYH-K-OSL-2 ve G biriminden alınan örnek numarası TYH-G-OSL-7'dir.

5.3.2.3 Paleosismolojik Yorum

Hendek içerisinde toplam 2 olay tespit edilmiştir.

Olay 1, D biriminin gömülmesine ve E biriminin (kolüvyal kama) gelişmesine sebep olan olaydır. Dolayısı ile olay 1, D biriminin gömülme yaşından sonra ve E biriminin gömülme yaşından önce olmak zorundadır. Bunun sonucunda, olay 1'in yaş aralığı D biriminin gömülme yaşı olan günümüz öncesi 23,9 binyıldan sonra, E'nin gömülme yaşı olan günümüz öncesi 17 binyıldan öncedir. Özetle, olay 1'in tespit edilen yaş aralığı günümüz öncesi 23,9 ile 17 binyıldır.

Olay 2, F biriminin gömülmesine ve G birimi tarafından örtülmesine sebep olan olaydır. F biriminin gömülme yaşı günümüz öncesi 12,5 binyıl ve G biriminin gömülme yaşı günümüz öncesi 1,77 binyıl olarak saptanmıştır. Dolayısı ile olay 2'nin tarih aralığı günümüz öncesi 12,5 ile 1,77 binyıl aralığındadır.

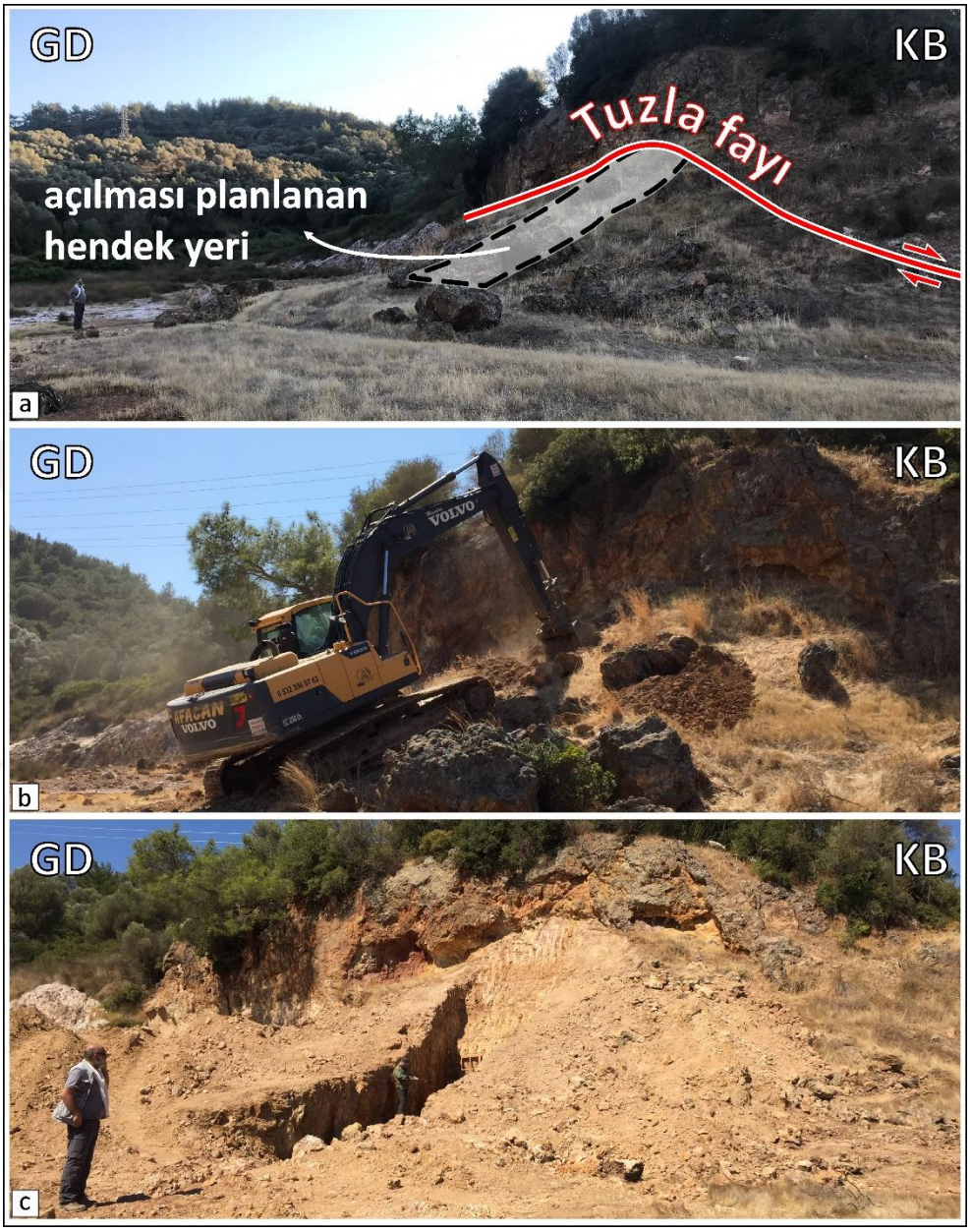
Yeniköy hendek çalışmasına ilişkin hendek logu, birim açıklamaları, örnekleme yapılan birim ve konumu, saptanan deprem yaşları ve fayların konumları ile ilgili bütün bilgiler detaylı olarak EK-2'de sunulmuştur.

5.3.3 Tuzla Hendek

Tuzla hendeği, Ürkmez yerleşim yerinin yaklaşık 3,5 km kuzeybatısında ve Tuzla fayının güney segmentinin kuzey bölümünde bulunmaktadır (Şekil 5.11). Hendek, bölgede yüzlek veren eden Tuzla fayının üzerinde açılmıştır. Bölgede fayın üzerinde sıcak su çıkışları ve jeotermal sulardan kaynaklı yüksek tuzluluk sebebiyle çok gevşek zemin bulunur. Kazı çalışmalarında paletli ekskavatör kullanılmıştır (Şekil 5.26).

Hendek, fayın doğrultusuna yaklaşık olarak dik(K80D) olacak şekilde, 9-10 metre uzunluğunda, 3,15 metre genişlikte ve 2-4 metre derinlik olacak şekilde açılmıştır. Bölgede sıcak su çıkışları olduğu için fazla derine inilememiştir ve hendeğin her iki

duvarı da 8 metre loglanmıştır. Bu hendeğin başlangıç ve bitiş koordinatları, 0491637/4217061 ve 0491641/4217057'dır.



Şekil 5.26 Kronolojik olarak Tuzla hendek çalışmaları (a) Açılması planlanan Tuzla hendek yeri (b) Tuzla hendeği kazı çalışmaları (c) Tuzla hendeği loglama çalışmaları (Kişisel arşiv, 2020)

5.3.3.1 Stratigrafi ve Yapısal Veriler

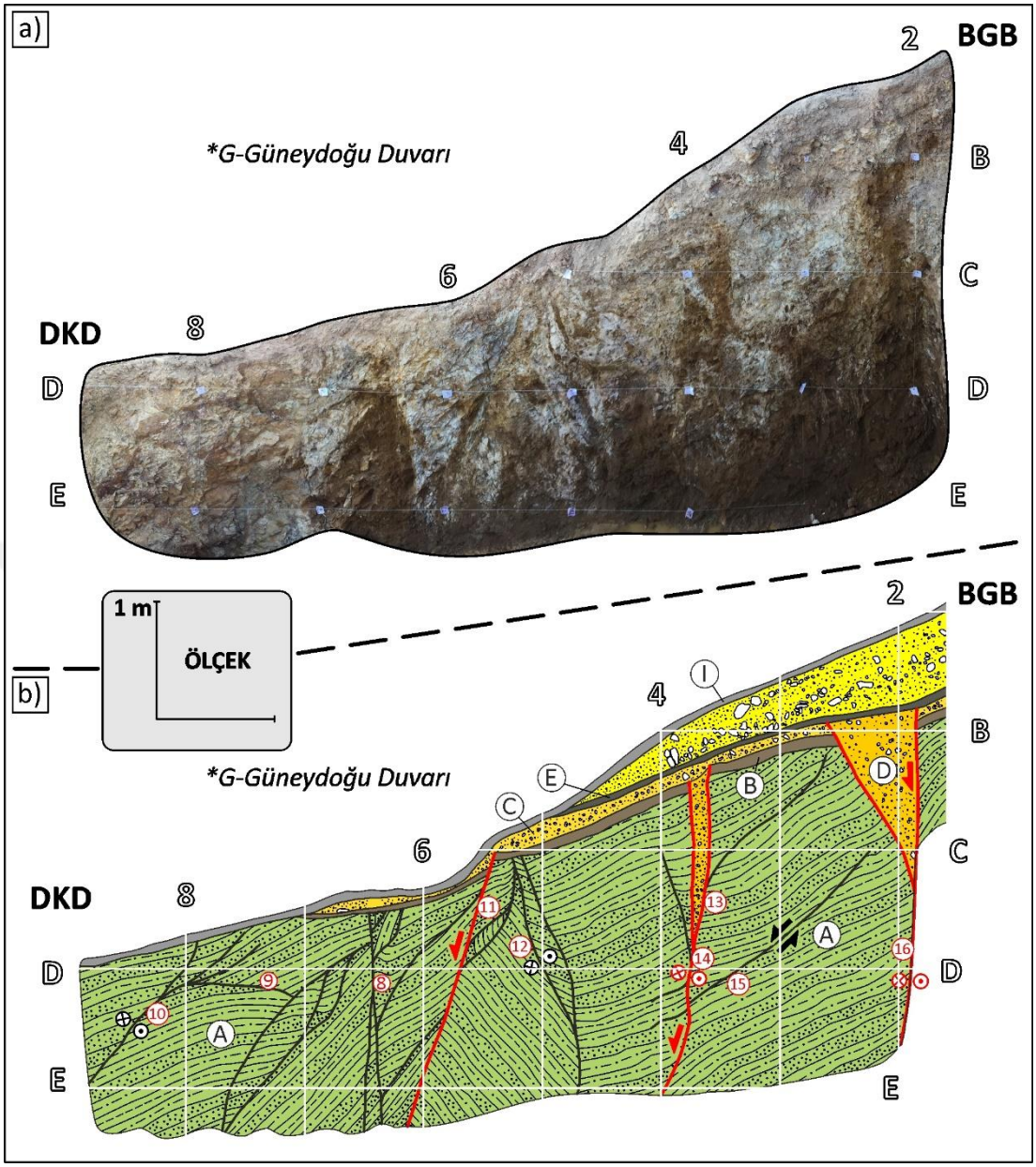
Hendek içinde A olarak tanımlanan kaya birimi bir başka deyişle İzmir flişi, hendek temel kayasını oluşturmaktadır. A birimi, kahvemsi-kızılımsı renkli ince kumtaşı,

kızılımsı koyu kahverengi renkli çamurtaşı ve kahverengi-yeşil renkli çamurtaşı ardalanması olarak tanımlanmıştır. Aşırı deforme olmuş falanmış, yersel mangan dendritleri bulunur. Deformasyon zonları içerisinde limonitleşme ve hematitleşme, genelde düşük açılı fay düzlemleri içerisinde kalsit dolguları gözlenmektedir. Kuzeybatı duvarının 3 ve 6 metrelik bölümünde açık yeşilimsi-grimsi bir alterasyon rengiyle karakteristiktir. Hendeğin her iki duvarında da 6 metreden sonra daha pekleşmiş ve dayanımı yüksek olarak gözlenir. Özellikle hendeğin ilk 5 metrelik bölümünde aşırı derecede dayanımsız gözlenir. Tuzla fayının yüzlek verdiği yer, hendek başlangıç noktası olsa da hendek içinde daha güncel birimleri kesen faylara rastlanılmıştır. Bunlardan en önemlileri 11, 13, 14 ve 16 ölçü numaralı olan faylardır.

B birimi paleotoprak olarak tanımlanmıştır ve A birimini uyumsuz olarak üzerler. B birimini oluştuktan sonra hendek logunda olay 1 olarak tanımlanan depremler düşey bileşeni olan sağ yanal olarak tanımlanan 13 ve 14 numaralı fay ve 11 numaralı fay ile kesilmiştir. B birimi devam eden hareketler yardımıyla 13 ve 14 ölçü numaralı sağ yönlü doğrultu atımlı fay tarafından kesilerek düşey yönde yaklaşık 10 cm kadar atılır. Faylanmadan sonra C birimi çökelmiştir. Dolayısı ile faylanmanın yaşı B birimi ile C birimi arasında bir zamanda gerçekleşmiştir.

C birimi, açık kahverengi-pembemsi renkli, boylanması kötü, küreselleşmesi ve yuvarlaklaşması kötü-çok kötü olan birim, genellikle kumtaşından türeme tek tane bileşenli orta çakıl olarak gözlenir ve birim kumlu çakıl olarak tanımlanmıştır. Hendeğin güneydoğu duvarında gözlenen birim aramaddesi orta kum olan orta çakıldan oluşur. Maksimum tane boyu 9 cm, ortalama tane boyu 2 cm'dir. Birim içerisinde yersel olarak "openwork" gözlenir. C biriminin çökelimi tamamlandıktan sonra 16 ölçü numaralı fay ile faylanmıştır ve bu deprem hendek logunda olay 2 olarak tanımlanmıştır. Olay 2'den sonra kırık-çatlak dolgusu olan D birimi çökelmiştir.

Birim D, hendeğin kuzeybatı duvarında üçüncü metresinde, güneydoğu duvarında ise ikinci metresinde net şekilde gözlenir. Birim kızılımsı-kahverengi renkli, dayanımı çok düşük, genellikle tek tane bileşenli litik kırıntılar içeren ince çakıllı kum ve birimin dokusal olgunluk parametreleri kötü-çok kötü olarak tanımlanmıştır.

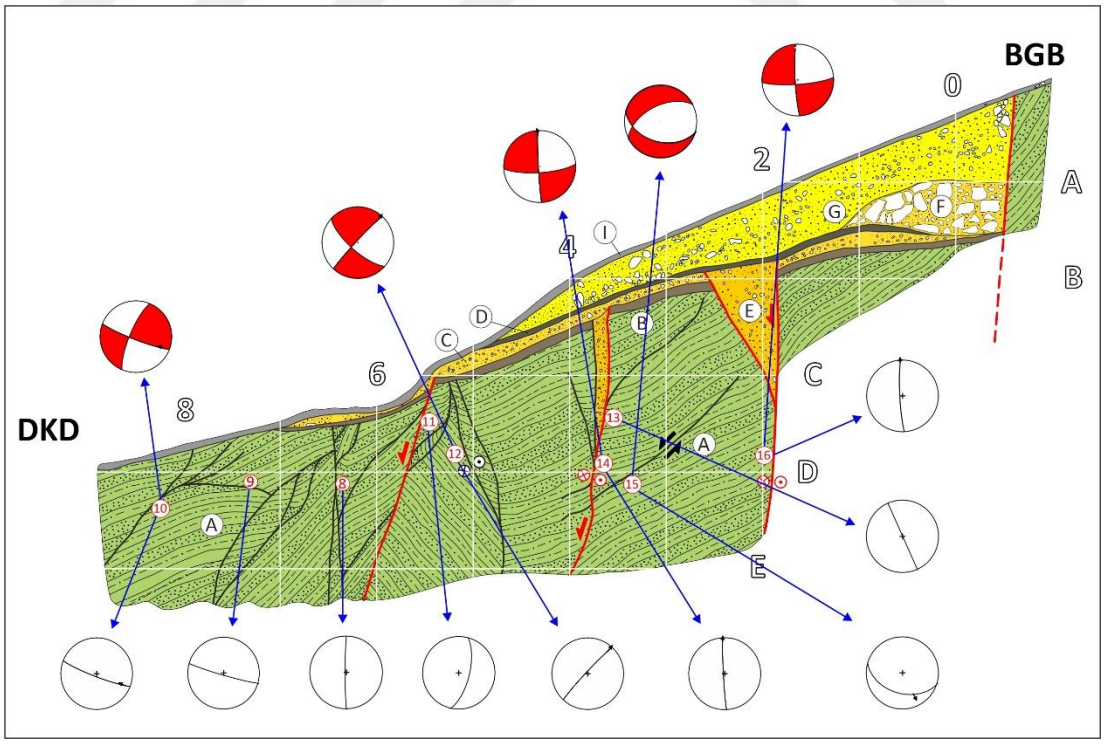


Şekil 5.27 Tuzla hendeğine ait kuzeydoğu duvarının bir bölümü (a) Fotomozaik (b) Hendek logu (Kişisel arşiv, 2020)

Hendeğin ilk 5 metresinde izlenen E birimi, faylanma sonrası istifi örten paleotoprak olarak tanımlanmıştır. Hendeğin güneydoğu duvarında gözlenirken, kuzeybatı duvarında gözlenmez. Güney duvarda gözlenen E, F ve G birimleri kuzey duvarda korunamamış, olasılıkla güney duvarı üzerinde lokal birikim alanı oluşurken kuzey duvarda erozyonel bir süreç ile aşınıma uğradığı tespit edilmiştir.

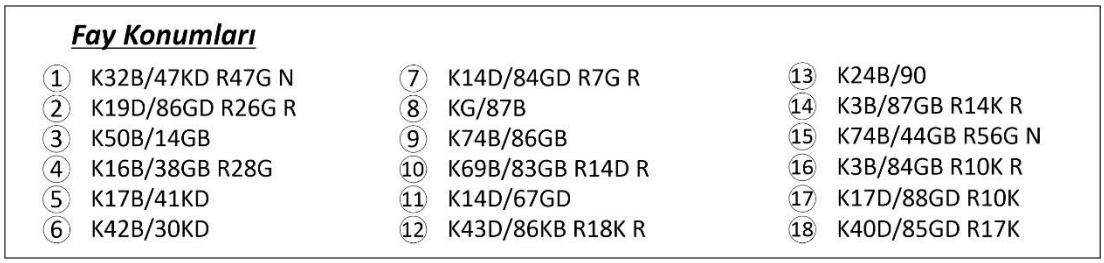
E biriminin üzerine sarımsı-açık kahverengi renkli bloklu kaba çakıl birimi olan F birimi gelmiştir. Boyutları 30-32 cm'ye varan siyahımsı, manganlı kumtaşı blokları içeren birim, aşırı derecede silisifiye olmuş kumtaşı blokları, arkasındaki fay düzleminin parçaların içermektedir. Yersel olarak "openwork" gözlenir. Ortalama tane boyu 6 cm'dir ve baskın olarak kum, az miktarda çamur aramaddelidir. Dokusal olgunluk parametreleri kötü-çok kötü olan kolüvyal kama olarak tanımlanmıştır. Hendek logunda olay 3 olarak tanımlanan faylanma hendeğin başlangıcında olan fay ile gerçekleşmiştir. Faylanma sonucunda G birimi fay düzleminin önünde depolanmıştır. Dolayısı ile olay 3 olarak tanımlanan faylanma G biriminden öncedir.

G birimi, sadece hendeğin ilk 5 metresinde ve güneydoğu duvarında gözlenir. Birim, pembemsi-açık kahverengi renkli, kum aramaddeli orta çakıl olarak tanımlanmıştır. Dokusal olgunluk parametreleri kötü-çok kötü ve kumtaşından türeme kırıntılardan oluşur. Maksimum tane boyu 7 cm, ortalama tane boyu ise 3 cm civarındadır. Son olarak I birimi açık sarımsı-kahverengi, yersel ince kumtaşı çakılları içeren, yaklaşık 20° eğimli güncel nebati toprak olarak tanımlanmıştır.



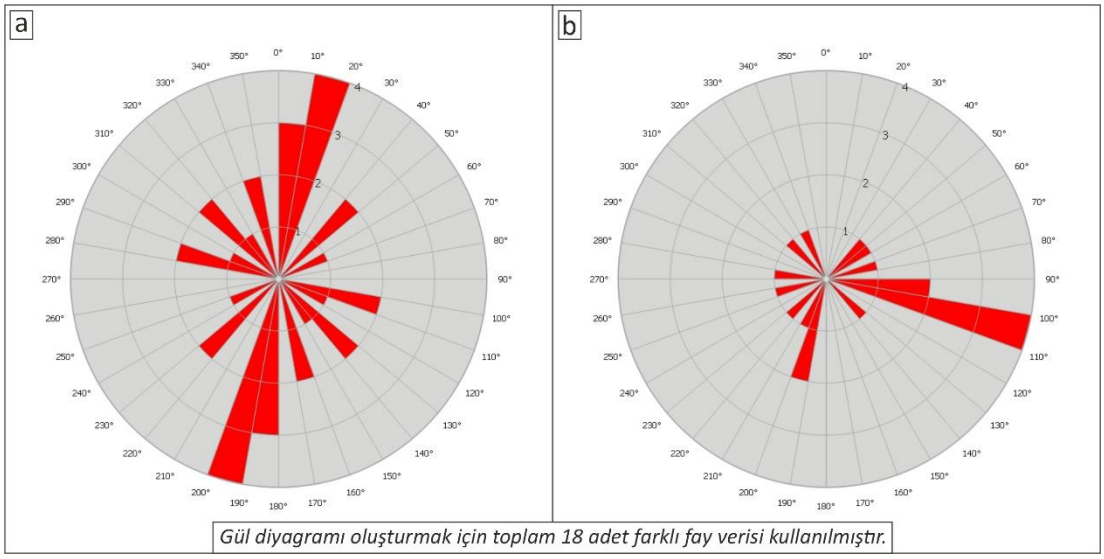
Şekil 5.28 Tuzla hendeği kuzeydoğu duvarındaki fay düzlemlerinin eşit alan alt yarım küre stereoplotları ve odak mekanizma çözümleri

Hendek duvarlarından konumları ölçülen fayların numaraları ve konumları aşağıda listelenmiştir. Verilen fay numaraları hendek logunda çizilen faylar ile aynı numaralara sahiptir (Şekil 5.29).



Şekil 5.29 Tuzla hendeğinde ölçülen fay numaraları ve konumları

Tuzla hendek içerisinde, her iki duvarda da ölçülen fay düzlemlerinin doğrultu ve eğim trendlerinin ortaya konulması için GeoRose programı kullanılarak gül diyagramları çizdirilmiştir. Hendek içerisinde fay düzlemlerinin doğrultu trendleri K10-20°D arasında gözlenmiştir. Yine aynı fay düzlemlerinin güneydoğuya eğimlendiği gözlenirken bu yön sağ el kuralına göre eğim yönü trendi 100-110° arasında hesaplanmıştır. Aynı zamanda eğim yönleri birbirlerinin tersi olan yani antitetik faylar gül diyagramı üzerinden ayırtlanabilmektedir (Şekil 5.30).



Şekil 5.30 Tuzla hendeğinde ölçülen fayların doğrultu ve eğim trendlerini gösteren gül diyagramları. a) Fay doğrultusuna göre, b) Fayın eğim yönüne göre

Tuzla hendek çalışmasına ilişkin hendek logu, birim açıklamaları, örnekleme yapılan birim ve konumu, saptanan deprem yaşları ve fayların konumları ile ilgili bütün bilgiler detaylı olarak EK-3'te sunulmuştur.

5.3.3.2 Tarihlendirme Çalışmaları

Tuzla hendek çalışmaları kapsamında 8 adet OSL örnekleri alınmıştır fakat 5 tanesi hendek yorumlamada kullanılmıştır. Bu örnekler kuzeybatı duvarda TT-OSL-1, TT-OSL-9 ve güneydoğu duvarda TT-OSL-2, TT-OSL-3, TT-OSL-6 olarak isimlendirilmiştir. Yaşlıdan gence doğru sırasıyla B biriminden alınan örnek numarası TT-OSL-3 VE TT-OSL-9, C biriminden alınan örnek numarası TT-OSL-1, E biriminden alınan örnek numarası TT-OSL-6, G biriminden alınan örnek numarası TT-OSL-2'dir.

5.3.3.3 Paleosismolojik Yorum

Hendek içerisinde toplam 3 olay tespit edilmiştir.

Olay 1, B birimini deforme eden ve C birimi ile örtülen olaydır. B biriminin gömülme yaşı günümüz öncesi 7,61 binyıl, C biriminin gömülme yaşı günümüz öncesi 5,5 binyıl olarak bulunmuştur. Olay 1'in tespit edilen yaş aralığı ise 7,6 binyıl ile 5,5 binyıldır.

Olay 2, C birimini kesen, D biriminin çatlağın içerisine depolanan ve E birimi tarafından örtülen olaydır. C biriminin gömülme yaşı günümüz öncesi 5,5 binyıl ve D biriminin gömülme yaşı günümüz öncesi 2,5 binyıl olarak saptanmıştır. Dolayısı ile olay 2'nin tarih aralığı günümüz öncesi 5,5 binyıl ve 2,5 binyıl aralığındadır.

Olay 3, D biriminin gömülmesine ve bu birimin üzerine F (kolüvyal kama) gelişmesine ve G biriminin fay düzleminin önünde gömülmesine neden olan son olaydır. Tarih aralığı günümüz öncesi 2,5 binyıl ile 890 yıl olarak bulunmuştur.

Bu verilerin ışığında ortalama hendek içinde bulunan deprem tekrarlama yaşı 2 ile 2,5 binyıl aralığında bulunmuştur.

5.4 Hendeklerden Alınan Örneklerin Yorumlanması

Tuzla Fayı için Çatalca, Yeniköy ve Tuzla hendek kazılarında faylanmaya işaret eden olayları yaşlandırabilmek için toplamda 20 adet Optik Uyarımlı Lüminesans (OSL) örneği alınmıştır. Alınan tüm OSL örnekleri iyi derecede lüminesans karakterine sahip kuvars minerali içerdiğinden tarihlendirme sorunsuzca gerçekleştirilmiştir. İki aşamada gerçekleştirilen OSL çalışmasında ilk sonuçlar, örneklerin eş değer doz ham verileri ve su içeriklerini içermektedir. Buna göre örneklerin eş değer sonuçları sırasıyla 1,3 Gray ile 182 Gray arasında dağılım göstermektedir. Su içerikleri ise %3,85 ile %36,00 arasında değişmektedir (Tablo 5.3).

OSL tarihlendirmede ikinci aşama olan örneklerin barındırdığı yıllık doz analizinde MTA (Maden Tetkik Arama) Genel Müdürlüğü Jeokimya Laboratuvarında bulunan ICP-MS kullanılmış, örneklerin içerdikleri ^{238}U, ve ^{232}Th miktarları ppm cinsinden, ^{40}K miktarı ise K_2O analiz değerinden yola çıkılarak; ^{238}U değerleri 0,1 ppm ile 1,4 ppm, ^{232}Th değerleri ise 1,0 ppm ile 5,90 ppm arasında, ^{40}K miktarı ise %0,58 ve %2,2 arasında saptanmıştır. Bu veriler ışığında, OSL yaş sonuçları 0,89 ± 0,46 binyıl ile 176,32 ± 15,14 binyıl arasında değişmektedir (Tablo 5.4).

Tablo 5.4 Tuzla Fayı'ndan alınan örneklerin optik uyarımlı lüminesans (OSL) tarihlendirme sonuçları

Çalışma Alanı	Örnek No	Tanecik boyu (μm)[1]	Yıllık Doz Miktarı[2]			Su İçeriği (%)	Yükseklik (m)	Derinlik (cm)	Koordinat (UTM)[3]	Eşdeğer Doz[4]	Yaş Sonucu (by)
			U (ppm)	Th (ppm)	K (%)					D_e (Gr)	
Tuzla Hendeği	TT-1	125-180	0,4	3,7	1,04	25,93	58	263	38,1013°-26,9023°	6,7±0,76	5,51±0,67
	TT-2	125-180	0,5	1,6	1,16	3,85	58	375	38,1013°-26,9023°	1,31±0,6	0,89±0,46
	TT-3	125-180	0,3	2,9	0,99	23,08	58	193	38,1013°-26,9023°	8,8±1,0	7,61±0,92
	TT-4	125-180	0,9	4,3	0,99	19,23	58	337	38,1013°-26,9023°	28,7±2,8	20,99±2,24
	TT-5	125-180	0,5	2	1,16	19,23	58	240	38,1013°-26,9023°	44,9±3,1	34,26±2,75
	TT-6	125-180	0,3	2	2,2	27,58	58	275	38,1013°-26,9023°	5,0±3,5	2,55±1,78
	TT-8	125-180	1,4	3,7	1,12	26,92	58	325	38,1013°-26,9023°	34,4±3,1	23,87±2,36
	TT-9	125-180	0,4	3	0,95	19,23	58	230	38,1013°-26,9023°	8,48±0,45	7,19±0,49
Çatalca Hendeği	TÇHK-1	125-180	0,6	5,9	1,04	28	195	25	38,2654°-27,0643°	40,7±1,5	28,79±1,57
	TÇHK-2	125-180	0,4	4,1	1,16	34,62	195	58	38,2654°-27,0643°	8,5±3,2	6,56±2,49
	TÇHK-3	125-180	0,4	5,5	0,99	23,08	195	65	38,2654°-27,0643°	59,3±2,0	43,66±2,26
	TÇHK-4	125-180	0,3	1,7	0,99	36	195	72	38,2654°-27,0643°	55,60±3,5	54,30±4,20
	TÇHK-5	125-180	0,3	2,5	1,16	19,23	195	200	38,2654°-27,0643°	89,0±2,40	67,77±4,80
Yeniköy Hendeği	TYHK-1	150-250	0,1	2,6	1,25	15,38	193	185	38,2241°-27,0394°	23,9±2,1	17,05±1,69
	TYHK-2	150-250	0,2	3	1,17	25,93	193	250	38,2241°-27,0394°	15,6±2,7	12,51±2,24
	TYHK-3	150-250	0,1	2,2	1,06	30,77	193	163	38,2241°-27,0394°	27,2±1,9	25,20±2,04
	TYHK-4	150-250	0,1	2,3	0,94	26,92	193	138	38,2241°-27,0394°	182,0±13,0	176,32±15,14
	TYHK-5	150-250	0,5	1	0,58	28	193	235	38,2241°-27,0394°	27,3±2,4	37,04±3,74
	TYHK-6	150-250	0,2	1,8	0,85	38,46	193	250	38,2241°-27,0394°	20,5±1,5	23,92±2,09
	TYHK-7	150-250	0,1	1,3	0,75	18,52	193	248	38,2241°-27,0394°	1,5±0,6	1,77±0,77

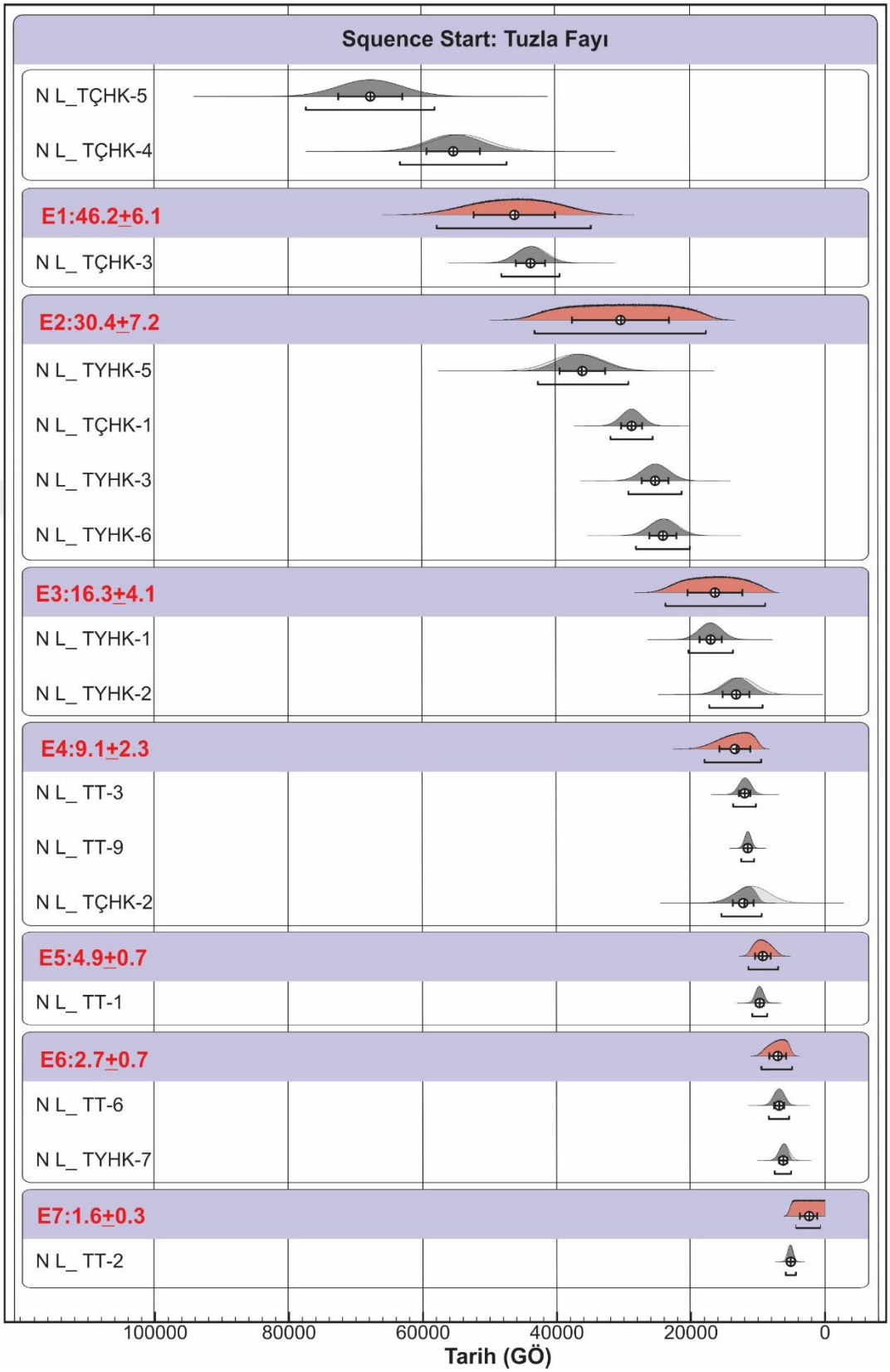
1: Islak-kuru elekten sonra ölçümü yapılacak kuvars/feldspat boyutu.
2: Numunenin bir yılda soğurduğu radyoaktivite oranı.
3: Örneklerin alındığı lokasyona ait enlem ve boylam.
4: Kuvars/feldspat minerallerinin mavi ışık yardımıyla uyarılması sonucu içerdiği doz miktarı.

5.4.1 Faylanma Olaylarının Değerlendirilmesi ve Paleosismolojik Yorum

Tuzla Fayı'nda gerçekleştirilen üç adet hendek kazılarından saptanan olaylar birlikte ele alındığında, fayın geçmişte 7 adet depreme kaynaklık ettiği belirlenmiştir. Her bir farklı olay olarak saptanan bu depremler, R programlama ve Oxcal dilinde birlikte istatistiki değerlendirildiğinde; E1: 46,2±6,1 by; E2: 30,4±7,2 by; E3: 16,3±4,1by; E4: 9,1±2,3by; E5: 4,9±0,7by; E6: 2,7±0,7 ve E7: 1,6±0,3by olarak bulunmuştur (Şekil 5.31).

Saptanan olaylar, tarihsel dönem depremleri ile karşılaştırıldığında, E6 ve E7 olayları tarihsel deprem katalogları ile deneştirilmiştir. Sırasıyla E6 olayı için, MÖ 494, MÖ 305, MS 6 depremleriyle; E7 olayı ise, MS 160, MS 165, MS 177/178 ve MS 688 depremleri ile deneştirilebileceği görülmüştür. Diğer E1, E2, E3, E4 ve E5 olayları ise, fayın kaynaklık ettiği ancak tarihsel kataloglarda bulunmayan MÖ tarih öncesi depremlere atfedilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışma kapsamında toplanan veriler ışığında Tuzla Fayı'nın üretmiş olduğu depremlerden yola çıkarak, fayın tekrarlanma aralığı Holosen dönemi için; 700 yıl ile 4000 yıl arasında değiştiği söylenilebilir (Tablo 5.5).



Şekil 5.31 Tuzla Fayı'nda gerçekleştirilen hendek kazılarından saptanan tüm verilerin Oxcal ve R programlamasında fayın kaynaklık ettiği deprem olaylarını gösteren istatistiki değerlendirme (Turkuaz renkteki "E" yazısı ve rakamları deprem olaylarını ve tarihlerini göstermektedir)

Tablo 5.5 Tuzla Fayı'nın kaynaklık ettiği deprem olayları ve tekrarlanma aralıkları

E[a]	Olay zamanları A(by)			Olaylararası zaman I (by) (AEfirst-AEsecond)			Tekrarlanma Aralığı[b] R (by)								
							$R_{Holosen}$			$R_{Pleyistosen}$			$R_{Bütünsel}$		
	A_{min}	$A_{average}$	A_{max}	I_{min} (AE_{min}-AE_{max})	$I_{average}$ ($AE_{average}$-$AE_{average}$)	I_{max} (AE_{max}-AE_{min})	R_{min}	$R_{average}$	R_{max}	R_{min}	$R_{average}$	R_{max}	R_{min}	$R_{average}$	R_{max}
E1	$40,1^{P}$	$46,2^{P}$	$48,3^{P}$	$2,5^{PE}$	$15,8^{PE}$	$25,1^{PE}$	0,7	2,5	4,0	2,0	12,4	21,4	1,4	7,4	12,7
E2	$23,2^{P}$	$30,4^{P}$	$37,6^{P}$	$2,8^{PE}$	$14,1^{PE}$	$25,4^{PE}$									
E3	$12,2^{P}$	$16,3^{P}$	$20,4^{P}$	$0,8^{PE}$	$7,2^{PE}$	$13,6^{PE}$									
E4	$6,8^{H}$	$9,1^{H}$	$11,4^{H}$	$1,2^{HE}$	$4,2^{HE}$	$7,2^{HE}$									
E5	$4,2^{H}$	$4,9^{H}$	$5,6^{H}$	$0,8^{HE}$	$2,2^{HE}$	$3,6^{HE}$									
E6	$2,0^{H}$	$2,7^{H}$	$3,4^{H}$	$0,1^{HE}$	$1,1^{HE}$	$1,1^{HE}$									
E7	$1,3^{H}$	$1,6^{H}$	$1,9^{H}$												

[a]: Oxcal ve R programından saptanan verilere göre hesaplanmıştır (Bronk R., 2008, 2009; Reimer et al., 2009; Kreuter vd. 2012; Fuchs vd. 2015).

[b]*: Tekrarlanma aralığı için formülasyon

Formül: R_{min}: $(AE1_{min}\text{-}AE2_{max}) + (AE2_{min}\text{-}AE3_{max}) + (AE3_{min}\text{-}AE4_{max})/n\text{-}1$

$R_{average}$: $(AE1_{average}\text{-}AE2_{average}) + (AE2_{average}\text{-}AE3_{average}) + (AE3_{average}\text{-}AE4_{average})/n\text{-}1$

R_{max}: $(AE1_{max}\text{-}AE2_{min}) + (AE2_{max}\text{-}AE3_{min}) + (AE3_{max}\text{-}AE4_{min})/n\text{-}1$

E: Olay, N: Olay sayısı, H: Holosen, P: Pleyistosen, HE: Holosen Olayı, PE: Pleyistosen Olayı.

BÖLÜM ALTI
SONUÇLAR

Yüksek lisans tez çalışmasının son bölümünde, İzmir İli sınırları içinde tanımlanan Tuzla Fayı'nın yeri ve özellikleri özetlenmiş, havzada yapılan arazi ağırlıklı çalışmalarda elde edilen stratigrafik, jeomorfolojik, yapısal ve paleosismolojik sonuçlar sunulmuştur.

İzmir il merkezinin güneybatısı bulunan çalışma alanı, 1/100000 ölçekli L17 ve L18 paftasında, 4210000/4260000 enlemleri ve 485000/515000 boylamları ile sınırlanan yaklaşık 450 km^2'lik alanı belirlenmiş, önceki çalışmalardan faydalanarak çalışma alanında bulunan kaya birimlerinin, stratigrafik kolerasyonu yapılmış, jeoloji haritası ve litostratigrafik kolon kesiti oluşturulmuştur.

Çalışma alanı içerisinde 11 farklı kaya birimi yer almaktadır. İstifin en altında Neojen öncesi kayalardan Doğanbey metamorfitleri ve İzmir flişi bulunmaktadır. Geç Kretase yaşlı İzmir flişi, Doğanbey metamorfitlerini tektonik olarak üzerlemektedir. Bu birimlerin üzerine erken-orta Miyosen yaşlı kaya birimleri alttan üste doğru; Çatalca Formasyonu, Yamanlar Volkanitleri, Bahçecik Formasyonu, Yeniköy Formasyonu, Cumaovası Volkanitleri olarak belirlenmiştir. Bu birimleri Geç Miyosen-erken Pliyosen yaşlı, Akçaköy ve Buca Formasyonları uyumsuz olarak üzerler. Son olarak çalışma alanında bulunan en genç birimler olan, geç Pliyosen-Kuvaterner yaşlı birimler bütün birimleri uyumsuz olarak üzerlediği litostratigrafik kolon kesitte anlatılmıştır. Bütün stratigrafik birimler arazide gözlemlenip fotoğraflanmıştır.

Çalışma alanını kapsayan 12,5 m çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli haritaları kullanılarak Tuzla Fayı'nın içinden geçtiği drenaj havzaları oluşturulmuştur. Çalışma alanı içerisinde farklı doğrultularla akan derelerin oluşturduğu, Tuzla Fayı'nda toplam 3 adet farklı doğrultularda drenaj havzası gelişmiştir. Bu da bize 3 farklı kırık sisteminin varlığını göstermektedir. Oluşturulan drenaj havzalarındaki derelerin sağ yanal ve sol yanal ötelenmeleri 1/25000 ölçekli haritalardan ölçülmüştür ve tablo

halinde sunulmuştur. Bu jeomorfolojik unsurlar göz önünde bulundurularak fayın sol ve sağ yanal hareketi gözlenmiştir.

Jeomorfik çalışmalar sonucunda Tuzla Fayı kaynaklı 38 adet dere ötelenmesi tespit edilmiştir. Bunlardan 14 tanesi sol yönlü, 24 tanesi de sağ yönlü ötelenmedir. Fayın güncel hareketi olan sağ yönlü doğrultu atım yönündeki dereler uzun dönem kayma hızını belirlemek amacıyla ayırtlanmıştır. Matsuda, (1966); Maruyama ve Lin, (2000)'in ortaya koyduğu formüller kullanılarak, ötelenen dere uzunluğu ve faya kadar olan memba uzunlukları ölçülmüş, irdelenmiştir ve tablo halinde sunulmuştur. Tablo halinde sunulan veriler iki eksenli logaritmik abak üzerine işlenmiştir. Sonuç olarak, yapılan işlemler sonrasında elde kalan veriler ışığında Tuzla Fayı'nın uzun dönem maksimum kayma hızı 2,29 mm/yıl, minimum kayma hızı 0,7 mm/yıl ve fayın ortalama kayma hızı 1,3 mm/yıl olarak hesaplanmıştır.

Çalışma alanında bulunan en önemli yapısal öge olan Tuzla Fayı, İzmir flişini ve Miyosen yaşlı kaya birimlerini birbirinden ayıran yapısal sınır olarak tanımlanmıştır. Bu yapısal sınırın en güncel hareketi Türkiye Diri Fay Haritası'nda sağ yanal doğrultu atımlı fay olarak açıklanmıştır. Çalışma kapsamında, Tuzla Fayı 3 farklı segmente ayrılarak incelenmiştir. Deniz tabanındaki uzunluğu ile minimum 55 km uzunluğunda ve fayın doğrultusunun K10D ile K60D arasında değişkenlik gösterdiği ortaya konulmuştur. Fayın ilk hareketi olarak kabul edilen sol yanal ve son hareketi olan sağ yanal hareketleri arazide gözlemlenmiş, ölçülmüş ve fotoğraflanmıştır.

Çalışma alanı ve yakın çevresinde meydana gelen tarihsel ve aletsel dönem deprem kayıtları listelenerek Tuzla Fayı ile olan ilişkiler saptanmaya çalışılmıştır.

Çalışma alanında bulunan Tuzla Fayı'nın (55 km) maksimum deprem üretme potansiyeli Wells ve Coppersmith (1994)'e göre hesaplanmış ve M=7,11 olarak ortaya konulmuştur.

Fay üzerinde yapılan doğrultu, eğim ve kayma çizgileri kinematik analiz yapılmak için ayırtlanmış, listelenmiş ve 25 metre izohips aralığına sahip olan eş yükselti

haritasına işlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, gözlem numarası 1 olan alanda K-G yönde sıkışma ve B-D yönünde açılma saptanmıştır. Gözlem numarası 2 olan alanda BKB-DGD yönde sıkışma, KKD-GGB yönde açılma gerçekleşmiştir. Gözlem numarası 3 ve 4 olan kayma çizgilerine rastlanılmadığı için kinematik yorumlama yapılamamıştır. Gözlem numarası 5 ve 6 olan alanda bölgede KD-GB yönünde sıkışma ve KB-GD yönünde açılma saptanmıştır. Son olarak gözlem numarası 7'de kabaca B-D yönde sıkışma ve K-G yönde açılma saptanmıştır. Bütün veriler birlikte değerlendirildiğinde Tuzla Fayı'nın etkisi doğrultusunda bölgede kabaca KD-GB yönde sıkışma ve bu yönde dik KB-GD yönünde açılma saptanmıştır.

Tuzla Fayı'nda hendek tabanlı paleosismoloji çalışması yapmak için toplam 3 adet hendek açılmıştır. Bu hendekler kuzeyden güneye sırasıyla; Çatalca, Yeniköy ve Tuzla Hendekleri olarak tanımlanmıştır. Açılan paleosismolojik hendek duvarlarının ölçülü ve detaylı hendek loglaması arazide 1/25 ölçeğinde A3 milimetrik kağıtlara çizilmiştir. Hendek içinde gözlenen yapısal unsurlar pusula yardımı ile ölçülmüş, kaya birimleri tanımlanmış ve hendek loglarına işlenmiştir. Çizilen loglar üzerinde yapısal ve stratigrafik ilişkiler kurulduktan sonra fayların yaşını öğrenmek için ilgili kaya birimlerinden örnek yerleri tespit edilmiştir. Milimetrik kağıtlara çizilen hendek logları daha sonra ofis çalışması ile vektörel çizim programlarında tekrar çizilerek dijitalleştirilmiş ve EK'te sunulmuştur.

Hendek çalışmalarında gözlenen olayların yaşlarını vermek amacı ile duvarda gözlenen stratigrafik birimlerden toplam 20 adet OSL örneği alınmıştır. Yaş analiz sonuçları tablo olarak detaylı olarak hazırlanmıştır.

Tuzla Fayı'nda gerçekleştirilen üç adet hendek kazılarından saptanan olaylar birlikte ele alındığında, fayın geçmişte 7 adet depreme kaynaklık ettiği belirlenmiştir. Her bir farklı olay olarak saptanan bu depremler, R programlama ve Oxcal dilinde birlikte istatistiki değerlendirildiğinde; E1: 46,2±6,1 by; E2: 30,4±7,2 by; E3: 16,3±4,1by; E4: 9,1±2,3by; E5: 4,9±0,7by; E6: 2,7±0,7 ve E7: 1,6±0,3by olarak bulunmuştur.

Saptanan olaylar, tarihsel dönem depremleri ile karşılaştırıldığında, E6 ve E7 olayları tarihsel deprem katalogları ile deneştirilmiştir. Sırasıyla E6 olayı için, MÖ 494, MÖ 305, MS 6 depremleriyle; E7 olayı ise, MS 160, MS 165, MS 177/178 ve MS 688 depremleri ile deneştirilebileceği görülmüştür. Diğer E1, E2, E3, E4 ve E5 olayları ise, fayın kaynaklık ettiği ancak tarihsel kataloglarda bulunmayan MÖ tarih öncesi depremlere atfedilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışma kapsamında toplanan veriler ışığında Tuzla Fayı'nın üretmiş olduğu depremlerden yola çıkarak, fayın tekrarlanma aralığı Holosen dönemi için; 700 yıl ile 4000 yıl arasında değiştiği sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

Aitken, M. J. (1985). *Thermoluminescence dating*. Orlando: Academic Press.

Akartuna, M. (1962). İzmir-Torbalı-Seferihisar-Urla bölgesinin jeolojisi hakkında. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 59,* 1-18.

Akdeniz, N., Konak, N., Öztürk, Z., Çakır, M.H., Serdaroğlu, M., Armağan, F. ve Çatal, E. (1986). *İzmir-Manisa dolayının jeolojisi - Rapor No: 7929*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Aktuğ, B., ve Kılıçoğlu, A. (2006). Recent crustal deformation of Izmir, western Anatolia and surrounding regions as deduced from repeated GPS measurements and strain field. *Journal of Geodynamics 41*, 471–484.

Anadolu Ajansı, (b.t). 1 Temmuz 2021, https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/hendek-kazan-deprem-uzmanlari-fay-hatlarinin-rontgenini-cekiyor-/1929364

Barka, A.A. (1992). The North Anatolian Fault Zone. *Annales Tectonicae, 6,* 164–195.

Barka, A.A. (1999). The 17 August 1999 İzmit earthquake. *Science, 285,* 1858–1859.

Başarır, E. ve Konuk, T.Y. (1981). Gümüldür yöresinin kristalin temeli ve allokton birimleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni 24*, (2), 1-6.

Başarır Baştürk, N., Özel, N.M., Altınok, Y. ve Duman, T.Y. (2016). Türkiye ve yakın çevresi için geliştirilmiş tarihsel dönem (MÖ 2000 - MS 1900-) deprem kataloğu. *Türkiye Sismotektonik Haritası Açıklama Kitabı* içinde (80-86). Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Borsi, S., Ferrara, C., Innocenti, F. ve Mazzuoli, R. (1972). Geochronology and petrology of recent volcanics of Eastern Aegean Sea. *Bulletin of Volcanology 36*, 473-496.

Bozkurt, E. (2001a). Neotectonics of Turkey - a synthesis. *Geodinamica Acta 14*, 3-30.

Brinkmann, R. (1966). Geotektonische Gliederung von Westanatolien. *Neues Jahrbuch Für Geologie und Palaontologie-Monatshefte, 10*, 603-618.

Brinkmann, R. ve İzdar, E. (1971). Excursions near İzmir and Manisa. Campbell, A.S. (Ed.), *Geology and History of Turkey. Petroleum Exploration Society of Libya (Tripoli)*, 505-508.

Burbank D.W. ve Anderson, R.S. (2012). *Tectonic geomorphology*. NJ:Wiley-Blackwell Publishing.

Candan, O. ve Dora, O.Ö. (1998). Menderes Masifi'nde granulit, eklojit ve mavi şist kalıntıları: Pan-Afrikan ve Tersiyer metamorfik evrimine bir yaklaşım. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, *41*, (1), 1-35.

Candan, O., Dora, O.Ö., Oberhansli, R., Çetinkaplan, M., Oelsner, F. ve Dürr, S. (1998). Menderes Masifi'nde iki farklı yüksek basınç metamorfizması: Pan-Afrikan ve Tersiyer olaylar. *51. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 16-20 Şubat 1998, Ankara*, 52-54.

Candan, O., Dora, O.Ö., Oberhänsli, R., Oelsner, F. ve Dürr, S. (1997). Blueschist relics in the Mesozoik cover series of the Menderes Massif and correlations with Samos Island, Cyclades. *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen 77*, 95-99.

Coğrafya, (b.t). *İzmir iklim ve bitki örtüsü*. 2 Şubat 2020, https://www.cografya.gen.tr/tr/izmir/iklim.html

Çakmakoğlu, A. (2005). *Dilek Yarımadası, Söke ve Selçuk çevresinin Neojen öncesi tektono-stratigrafisi - Rapor No: 10786.* Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Çakmakoğlu, A. (2007). Pre-Neogene tectonostratigraphy of Dilek Peninsula and the area surrounding Söke and Selçuk. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 135*(135), 1-17.

Çakmakoğlu, A. ve Bilgin, Z.R. (2003). *Karaburun Yarımadası'nın Neojen Öncesi stratigrafisi - Rapor No: 10602*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Çakmakoğlu, A. ve Bilgin, Z.R. (2006). Karaburun Yarımadası'nın Neojen öncesi stratigrafisi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 132*, 33-62.

Çetinkaplan, M. (2002). *Tertiary high pressure/low temperature metamorphism in the Mesozoic cover series of the Menderes Masif and corelation with the Cycladic Cristalline Complex*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Çetinkaplan, M., Candan, O. ve Oberhansli, R. (2007). Menderes Masifi'nin batısında yer alan Kikladik Kompleksin Tersiyer yaşlı yüksek basınç/düşük sıcaklık metamorfizması, *Türkiye. Menderes Masifi Kolokyumu, 5-10 Kasım 2007, İzmir, Genişletilmiş Bildiri Özleri*, 66-73.

Deng, Q., Chen, S., Song, F., Zhu, S., Wang, Y., Zhang, W., Jiao, D., Burchfiel, B.C., Molnar, P., Royden, L. ve Zhang, P. (1986). Variations in the geometry and amount of slip on the Haiyuan (Nanxihaushan) fault zone, China and the surface rupture of the 1920 Haiyuan Earthquake. In: Das, J., Boatwright, J., Scholz, C.H. (Eds.), *Earthquake Source Mechanics, Geophysics Monograph Series 37,* 169–182.

Duman, T.Y., Çan, T., Emre, Ö., Kadirioğlu, F.T., Başarır Baştürk, B., Kılıç, T., Arslan, S., Özalp, S., Kartal, R.F., Kalafat, D., Karakaya. F., Eroğlu Azak, T., Özel, N.M., Ergintav, S., Akkar, S., Altınok, Y., Tekin, S., Cingöz, A. ve Kurt, A. İ. (2016). Açıklamalı Türkiye Sismotektonik Haritası. *MTA Özel Yayınlar Serisi-34,* ISBN: 978-605- 9516-19-8.

Duman, T.Y., Çan, T., Emre, Ö., Kadirioğlu, F.T., Başarır Baştürk, B., Kılıç, T., Arslan, S., Özalp, S., Kartal, R.F., Kalafat, D., Karakaya. F., Eroğlu Azak, T., Özel, N.M., Ergintav, S., Akkar, S., Altınok, Y., Tekin, S., Cingöz, A. ve Kurt, A. İ. (2016). Türkiye Sismotektonik Haritası (Ed. T.Y. Duman). *MTA Özel Yayınlar Serisi-35,* 100-150.

Dürr, S. (1975). *Über alter und geotektonische stellung des Menderes-Kristallins/SW-Anatolien und seine aequivalente in der Mittleren Aegaeis*. Habilitasyon Tezi, Marburg Üniversitesi, Almanya.

Emre, Ö. ve Barka, A. (2000). Gediz grabeni –Ege denizi arasının (İzmir yöresi) aktif fayları. *Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu (BADSEM 2000), Bildiriler Kitabı,* 131–132.

Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., ve Şaroğlu, F. (2013). *Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası - Özel Yayınlar Serisi-30.* Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H., ve Can, T. (2018). Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering, 16,* 3229-3275.

Emre, Ö. ve Özalp, S. (2011). *1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Urla (NJ 35-6) Paftası, Seri No:5*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Emre, Ö., Özalp, S., Doğan, A., Özaksoy, V., Yıldırım, C. ve Göktaş, F. (2005). *İzmir yakın çevresinin diri fayları ve deprem potansiyelleri - Rapor No: 10754*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Emre, Ö., Özalp, S. ve Duman, T.Y. (2011) *1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, İzmir (NJ 35-7) Paftası, Seri No:6*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Emre, T. (1996). Gediz Graben'nin tektonik evrimi. *Turkish Journal of Earth Sciences 5,* 171–185.

Emre, T., ve Sözbilir, H. (2007). Tectonic evolution of the Kiraz Basin, Küçük Menderes Graben: evidence for compression/uplift-related basin formation overprinted by extensional tectonics in West Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences 16,* 441–470.

Emre, T., Sözbilir, H. ve Gökçen, N. (2006). Kiraz-Beydağ çevresinin Neojen-Kuvaterner stratigrafisi, Küçük Menderes Grabeni, Batı Anadolu. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 132,* 1-32.

Ercan, T., Satır, M., Sevin, D. ve Türkecan, A. (1996). Batı Anadolu'daki tersiyer ve kuarterner yaşlı volkanik kayaçlarda yapılan radyometrik yaş ölçümlerinin yorumu. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 119,* 103-112.

Erdoğan, B. (1985). Bornova Karmaşığının bazı stratigrafik ve yapısal özellikleri. *39. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara,* 14.

Erdoğan, B. (1990a). İzmir-Ankara Zonu'nun İzmir ile Seferihisar arasındaki bölgede stratigrafik özellikleri ve tektonik evrimi. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni 2,* (1), 1-20.

Erdoğan, B. (1990b). İzmir-Ankara Zonu ile Karaburun Kuşağının tektonik ilişkisi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 110,* 1-16.

Erdoğan, B. ve Güngör, T. (1992). Menderes Masifi'nin kuzey kanadının stratigrafisi ve tektonik evrimi. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni 4*, 1, 9-34.

Ersoy, Y., ve Helvacı, C. (2007). Stratigraphy and geochemical features of the Early Miocene bimodal (ultrapotassic and calc-alkaline) volcanic activity within the NE-trending Selendi Basin, Western Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences, 16,* 117–139.

Erturaç, M. K. (2016). Tektonik Jeomorfoloji Araştırmalarında Temel Prensipler. *Fiziki Coğrafyada Araştırma Yöntemleri ve Teknikler* (1. Baskı) içinde (223-245). Ankara: Pegem Akademi.

Eşder, T. (1988). *Gümüldür-Cumaovası (İzmir) alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanaklarının araştırılması*. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

Eşder, T. ve Şimşek, Ş. (1975). *İzmir Seferihisar alanı Çubukludağ grabeni ile dolaylarının jeolojisi ve jeotermal olanakları - Rapor No: 5842.* Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Eşder, T. ve Şimşek, Ş. (1976). Geology of İzmir-Seferihisar geothermal area. *Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources, San Francisco, California, USA, 20-29 May 1975, Proceedings 1,* 349-361.

Eyubagil, E. E., Solak, H.İ., Kavak U.S., Tiryakioğlu, İ., Sözbilir, H., Aktuğ, B. ve Özkaymak, Ç. (2021). Present-day strike-slip deformation within the southern part of İzmir Balıkesir Transfer Zone based on GNSS data and implications for seismic hazard assessment, western Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, *30*(2), 143-160.

Genç, Ş. C., Altunkaynak, Ş., Karacık, Z., Yazman, M. ve Yılmaz, Y. (2001). The Çubukludağ graben, south of İzmir: tectonic significance in the Neogene geological evolution of the Western Anatolia. *Geodinamica Acta, 14*, 1–12.

Gessner, K., Piazolo, S., Güngör, T. ve Passchier, C.W. (2001). Tectonic significance of deformation patterns in granitoid rocks of the Menderes nappes, Anatolide belt, southwest Turkey. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau) 89*, 766-780.

Göktaş, F. (2012). *Kemalpaşa-Torbalı (İzmir) havzası ve yakın çevresindeki Neojen-Kuvaterner tortullaşması ile magmatizmasının jeolojik etüdü - Rapor No: 11575*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Göktaş, F. (2013). Cumaovası volkanitlerinin zamanstratigrafik konumuna ilişkin yeni veriler hakkında kısa not. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 147*, 179-183.

Göktaş, F. (2019). Çubukludağ Havzasındaki Neojen Tortullaşması ve Volkanizmasının Stratigafisi, Batı Anadolu. *Türkiye Jeoloji Bülteni, 62*(1), 63-98.

Göktaş, F. ve Çakmakoğlu, A. (2017). *Açınsama nitelikli 1:100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Urla L17 Paftası. No:259.* Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etüdleri Dairesi.

Gürçay, S. (2014). *Sığacık körfezi ve çevresinin deniz altı aktif tektoniğinin yüksek çözünürlüklü sismik yöntemler uygulanarak araştırılması*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Gürer, Ö. F., Bozcu, M., Yılmaz, K., ve Yılmaz, Y. (2001). Neogene basin development around Söke-Kuşadası (Western Anatolia) and its bearing on tectonic development of the Aegean region. *Geodinamica Acta, 14*, 57–69.

Halıcıoğlu, K., ve Özener, H. (2008). Geodetic network design and optimization on the active Tuzla fault (Izmir, Turkey) for disaster management. *Sensors, 8*(8), 4742-4757.

Innocenti, F. ve Mazzuoli, R. (1972). Petrology of İzmir-Karaburun volcanic area (West Turkey). *Bulletin of Volcanology, 36,* 83-104.

İşintek, İ., Akay, E. ve Göktaş, F. (2014). Orhanlı fayı zonu reaktif faylardan mı oluşur. Cumalı ve Tuzla faylarından yeni arazi gözlemleri. 67. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiriler Kitabı,* 642-643.

İzdar, E. (1975). Batı Anadolu'nun jeoteknik gelişimi ve Ege Denizi çevresine ait üniteleri ile karşılaştırılması. *EÜ Mühendislik Bilimleri Yayınları,* (8).

Kadirioğlu, F.T., Kartal, R.F., Kılıç, T., Kalafat, D., Duman, T.Y., Eroğlu Azak, T., Özalp, S. ve Emre, Ö. (2016). Türkiye ve yakın çevresi için geliştirilmiş aletsel dönem (1900-2012) deprem katalogu (M ≥ 4,0). *Türkiye Sismotektonik Haritası Açıklama Kitabı, MTA Özel Yayınlar Serisi-35,* 1164.

Karacık, Z. (2011). Cumaovası ve Karaburun yöreleri Alt-Orta Miyosen yaşlı asidik volkanizmasının petrolojik evrimi, petrojenezi ve yaşıt (?) bazik volkanizma ile kökensel ilişkilerinin araştırılması. *TÜBİTAK Proje No: 110Y161,* 34.

Karacık, Z. ve Genç, Ş. C. (2009). Cumaovası (İzmir-Menderes) volkaniklerinin volkanik stratigrafisi, petrolojisi ve Batı Anadolu genç magmatizması içindeki yeri ve anlamı. *TÜBİTAK Proje No: 107Y014,* 96.

Karacık, Z. ve Genç, Ş.C. (2011). Volcano-stratigraphy of the extension-related silicic volcanism in the Çubukludag graben, western Turkey: implications for generation of thephretomagmatic eruptions triggered by dome emplacement. *Geophysical Research Abstracts, 13.*

Karacık, Z. ve Genç, Ş.C. (2012). Petrology of the Miocene volcanism at around the Karaburun Peninsula and Çubukludağ graben (Western Anatolia, Turkey): Geochemical and radiochronological data for its regional implications. *International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region (IESCA),* 1-5.

Karacık, Z., Genç, Ş.C., Esenli, F. ve Göller, G. (2011). The Gümüldür fire opal: mode of Occurrence and Mineralogical Aspects. *Turkish Journal of Earth Sciences 20,* 99-114.

Kaya, O. (1981). Miocene reference section for the coastal parts of West Anatolia. *Newsletter Stratigraphy 10,* 164-191.

Kaya, O. (1995). Tavşanlı (Kütahya) güneyindeki ankimetamorfik kayaların stratigrafisi ve yapısal konumu: İzmir-Ankara Zonu ile bağlantısı. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi 117,* 5-16.

Kaya, O., Ünay, E., Göktaş, F. ve Saraç, G. (2007). Early Miocene stratigraphy of Central West Anatolia, Turkey: implications for the tectonic evolution of the Eastern Aegean area. *Geological Journal 42,* 85-109.

Koçyiğit, A. (2005). The Denizli graben-horst System and the eastern limit of western Anatolian continental extension: basin fill, structure, deformational mode, throw amount and episodic evolutionary history, SW Turkey. *Geodinamica Acta 18,* 167–208.

Koçyiğit, A., Yusufoğlu, H., ve Bozkurt, E. (1999). Evidence from the Gediz Graben for episodic two-stage extension in western Turkey. *Journal of the Geological Society, London 156,* 605–616.

Konak, N., Akdeniz, N. ve Armağan, F. (1980). *Akhisar-Gölmarmara-Gördes-Sındırgı dolaylarının jeolojisi - Rapor No: 6916.* Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Konuk, Y.T. (1977). Bornova flişinin yaşı hakkında. *EÜ Fen Fakültesi Dergisi, Seri B, I-1, İzmir*, 65-74.

Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A. ve Zanettin, B. (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology 27*, 745-750.

Maruyama, T., ve Lin, A. (2000). Tectonic history of the Rokko active fault zone (southwest Japan) as inferred from cumulative offsets of stream channels and basement rocks. *Tectonophysics 323*, 197–216.

Matsuda, T. (1966). Right-lateral displacement of the Atotsugawa fault. *Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 44*, 1179-1212.

Matsuda, T. (1975). Active fault assessment for Irozaki fault system, Izu Peninsula. In: Tsuchi, R. (Ed.), *Reports on the Kurofune Press, Shizuoka*, 121–125.

McCalpin, J. (2009). *Paleoseismology* (2nd Ed.). California: Academic Press.

Ocakoğlu, N., Demirbağ, E. ve Kuşçu, İ. (2004). Neotectonic structures in the area offshore of Alaçatı, Doğanbey and Kuşadası (western Turkey): evidence of strike-slip faulting in the Aegean extensional province. *Tectonophysics, 391*, 67-83.

Ocakoğlu, N., Demirbağ, E. ve Kuşçu, İ. (2005). Neotectonic structures in İzmir Gulf and surrounding regions (western Turkey): Evidences of strike-slip faulting with compression in the Aegean extensional regime. *Marine Geology, 219*, 155–171.

Oğuz, M. (1966). Manisa Dağının kuzey ve kuzeybatısının jeolojisi (Geology of the northern and northwestern part of the Manisa Dag). *EÜ Fen Fakültesi İlmi Raporlar Serisi, 33*, 6-7.

Okada, A. (1980). Quaternary faulting along the Median Tectonic Line of southwest Japan. *The Memoirs of Geological Society of Japan (Chisitsugaku-Ronshu), 18*, 78-109.

Okay, A. I., İşintek, İ., Altıner, D., Altıner-Özkan, S. ve Okay, N. (2011). Bornova Fliş Zonu: Litosferik ölçekte yanal-atımlı bir yırtılma fayı boyunca oluşan olistostrom-melanj kuşağı. 64. *Türkiye Jeoloji Kurultayı, 25-29 Nisan 2011, Ankara*, 26-27.

Okay, A. I., İşintek, İ., Altıner, D., Altıner-Özkan, S. ve Okay, N. (2012). An olistostrome-melange belt formed along a suture: Bornova Flysh zone, western Turkey. *Tectonophysics 568/569*, 282-295.

Okay, A. I. ve Siyako, M. (1993). İzmir-Balıkesir arasında İzmir Ankara Neo-Tetis Kenedinin yeni konumu. Turgut, S. (Ed.). Tectonics and Hydrocarbon Potential of Anatolia and Surrouding Regions. *Ozan Sungurlu Symposium, November 1991, Ankara*, 333-355.

Öngür, T. (1972a). *İzmir-Urla jeotermal sahasına ilişkin jeolojik rapor - Rapor No:4835*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Özener, H., Doğru, A., ve Acar, M. (2013). Determination of the displacements along the Tuzla fault (Aegean region-Turkey): Preliminary results from GPS and precise leveling techniques. *Journal of Geodynamics, 67*, 13–20.

Özgenç, İ. (1975). İzmir-Cumaovası bölgesi perlit yataklarının jeolojisi. *TÜBİTAK V. Bilim Kongresi*, 261-272.

Özgenç, İ. (1978). Cumaovası (İzmir) asit volkanitlerinde saptanan iki ekstrüzyon aşaması arasındaki göreli yaş ilişkisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni 21*, 31-34.

Özkaymak, Ç. (2012). *Manisa Havzası'nın Aktif Tektoniği ve Depremselliği, Batı Anadolu, Türkiye*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Parejas, E. (1940). Le flysch Cretace des environs de Smyrna. *İÜ Fen Fakültesi Mecmuası, B IV*,(6).

Ring, U. ve Layer, P.W. (2003). High-pressure metamorphism in the Aegean, eastern Mediterranean: Underplating and exhumation from the Late Cretaseous until the Miocene to Recent above the retrating Hellenic subduction zone. *Tectonics 22*, (3), 1022.

Rojay, B., Toprak, V., Demirci, C., ve Süzen, L. (2005). Plio–Quaternary evolution of the Küçük Menderes Graben Southwestern Anatolia, Turkey. *Geodinamica Acta 18*, 317–331.

Sangawa, A. (1978). Fault topography and Quaternary faulting along the middle and eastern parts of the Arima–Takatsuki Tectonic Line, Kinki district, central Japan. *Geographical Review of Japan, 51*, 760–775.

Sarıca, N. (2000). The Plio–Pleistocene age of Büyük Menderes and Gediz grabens and their tectonic significance on N–S extensional tectonics in West Anatolia: mammalian evidence from the continental deposits. *Geological Journal, 35*, 1–24.

Savaşçın, Y. (1978). *Foça-Urla neojen volkanitlerinin mineralojik ve jeokimyasal incelenmesi ve kökensel yorumu (mineralogical and geochemical ınvestigationsand source ınterpretations of Foça-Urla neogene volcanites)*. Yayımlanmamış Doktora Tezi, Tubingen Üniversitesi, Almanya.

Seyitoğlu, G., Tekeli, O., Çemen, İ., Şen, Ş., ve Işık, V. (2002). The role of the flexural rotation/rolling hinge model in the tectonic evolution of the Alaşehir Graben, western Turkey. *Geological Magazine 139*, 15–26.

Sözbilir, H., Sarı, B., Akgün, F., Gökçen, N., Akkiraz, S., Sümer, Ö., ve Erkül, F. (2004). First example of a transtensional supradetachment basin in western

Anatolia: The Kemalpaşa-Torbalı Basin, Turkey. *32nd Internatinonal Geological Congress, Italy, 2*, 894.

Sözbilir, H., Sarı, B., Uzel, B., Sümer, Ö. ve Akkiraz, S. (2011). Tectonic implications of transtensional supradetachment basin development in an extension parallel transfer zone: the Kocaçay Basin, western Anatolia, Turkey. *Basin Research, 23* (4), 423-448.

Sperner, B., Muller, B., Heidbach, O., Delvaux, D., Reinecker, J., ve Fuchs, K. (2003). Tectonic stress in the Earth's crust: advances in the World Stress Map project. *Geological Society London, 212*, 101-116.

Sylvester, A. G. (1988). Strike-slip faults. *Geological Society of Amerika Bulletin, 100*, 1666- 1703.

Şahiner, E., Erturaç, M. K., ve Meriç, N. (2017). Termal-asistan optik uyarmalı lüminesans (ta-osl) tekniğiyle milyon yıl mertebesindeki jeolojik örneklerin tarihlendirilmesi: Gediz taraçaları, Kula/Manisa. *Türkiye Jeoloji Bülteni, 60*(4), 489-506.

Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Boray, A. (1987). *Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri.* Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etüdleri Dairesi Başkanlığı.

Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Kuşçu, İ. (1992). *Türkiye Diri Fay Haritası, 1:2,000,000 ölçekli.* Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Tan, O. ve Taymaz, T. (2001). Source parameters of November 6, 1992 Doğanbey (Izmir) earthquake (Mw=6.0) obtained from inversion of teleseismic body-waveforms. *4th International Turkish Geology Symposium*, 171.

Tan, O. ve Taymaz, T. (2002). Source parameters of November 6, 1992 Doğanbey – Izmir (Mw=6.0, W Turkey) and November 15, 2000 Van (Mw=5.7, Eastern Turkey) earthquakes. *1st International Symposium of Istanbul Technical University the Faculty of Mines on Earth Sciencesand Engineering,* 70.

Trikkalinos, J.K. (1955). Über das alter der metamorphen Gesteine Attikas. *Annales Géologiques des Pays Helléniques*, *16,* 193-198.

Uzel, B., ve Sözbilir, H. (2008). A first record of strike-slip basin in western Anatolia and its tectonic implication: The Cumaovası basin as an example. *Turkish Journal of Earth Sciences 17,* 559-591.

Uzel, B., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Kaymakcı, N., ve Langereis, C. G. (2013). Structural evidence for strike-slip deformation in the İzmir–Balıkesir transfer zone and consequences for late Cenozoic evolution of western Anatolia (Turkey). *Journal of Geodynamics, 65,* 94-116.

Ünay, E., ve De Bruijn, H. (1998). Plio–Pleistocene rodents and lagomorphs from Anatolia. The Dawn of the Quaternary, *Mededelingen Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowettenschappen 60,* 431-467.

Ünay, E., Göktaş, F., Hakyemez, H. Y., Avşar, M., ve Şan, Ö. (1995). Büyük Menderes Grabeni'nin kuzey kenarındaki çökellerin Arvicolidae (Rodentia, Mammalia) faunasına dayalı olarak yaşlandırılması. *Türkiye Jeoloji Bülteni, 38,* 75-80.

Verdier, J. (1963). Étude du Kemalpaşa Dağı (Province d'Izmir, Turquie). *Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 61,* 38-40.

Wallace, R.E., (1990). Th e San Andreas Fault System, California. *U.S. Geological Survey Professional Paper 1515*, 304.

Wells, D. L., ve Coppersmith, K. J., (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, *84*, 974-1002.

Wipp, Ç. L. (2006). *İzmir-Cumaovası-Görece köyü civarı volkanitleri ve Menderes Masifi metamorfitleri içindeki bazı granatların mineralojik-petrografik ve jeokimyasal incelenmesi ve olası arkeogemolojik bağlantıları.* Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

Woodcock, N. H. (1987). Kinematics of strike-slip faulting, builth Inlier, mid-Wales. *Journal of Structural Geology*, *9*, 353-363.

Yağmurlu, F. (1980). Bornova (İzmir) güneyi fliş topluluklarının jeolojisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, *23*, 141-152.

Yazıcıgil, H., Doyuran, V., Karahanoğlu, N., Çamur, Z., Toprak, V., Rojay, B., Yılmaz, K., Şakıyan, J., Süzen, L., Yeşilnacar, E., Gündoğdu, A., Pusatlı, T., ve Tuzcu, B. (2000). Revize hidrojeolojik etüdler kapsamında K. Menderes havzasının yeraltısularının incelenmesi ve yönetimi. *ODTU-DSİ Projesi (yayımlanmamış)*, *7*, 1014.

Yeats, R., Sieh, K. ve Allen, C. (1997). *The geology of earthquakes.* Oxford: Oxford University Press.

Yılmaz, Y., Genç, S., C., Gürer, O. F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş., ve Elmas A. (2000). When did the western Anatolian grabens begin to develop? In: Bozkurt, E., Winchester, J. A., ve Piper, J. D. A. (eds), Tectonics and magmatism in Turkey and the surrounding area. *Geological Society, London, Special Publications 173*, 353–384.

Zhang, Y.Q., Vergely, P. ve Mercier, J. (1995). Active faulting in and along the Qinling Range (China) inferred from SPOT imagery analysis and extension tectonics of south China. *Tectonophysics, 243*, 69–95.

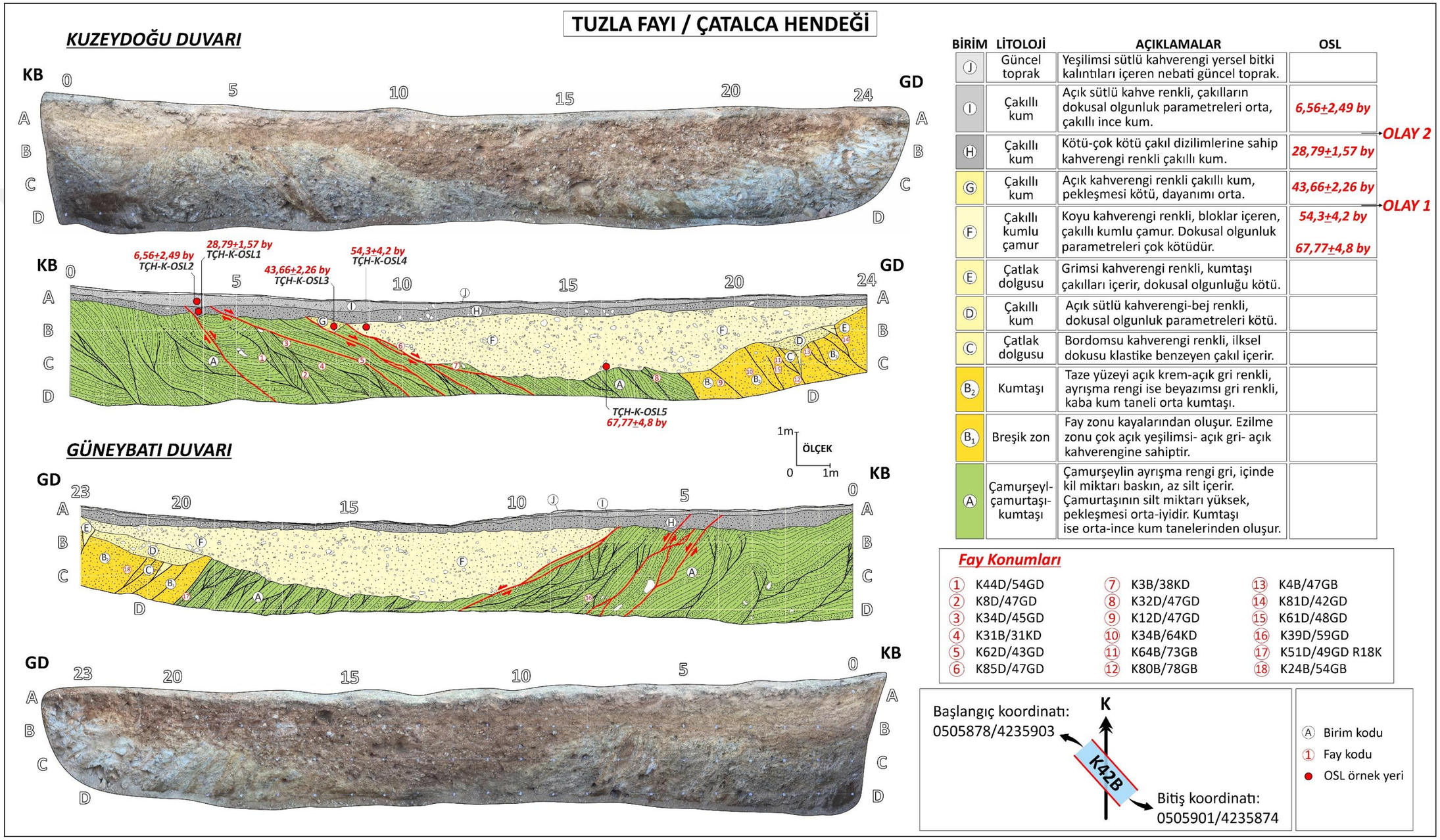
Zhu, L., Akyol, N., Mitchell, B. J., ve Sözbilir, H. (2006). Seismotectonics of western Turkey from high resolution earthquake relocations and moment tensor determinations. *Geophysical Research Letters, 33*, L07316.

Zielke, O., Klinger, Y. ve Arrowsmith, J. R. (2015). Fault slip and earthquake reccurence along strike-slip faults-Contributions of high-resolution geomorphic data. *Tectonophysics, 638*, 43-62.

Zucchi, F. (1970). *Batı Türkiye Perlit yatakları (İzmir-Manisa bölgesi). Maden Tetkik ve Arama Genel Direktörlüğü - Rapor No: 4704*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

EKLER

EK-1: Çatalca Hendeğine Ait Fotomozaik ve Log Çizimi



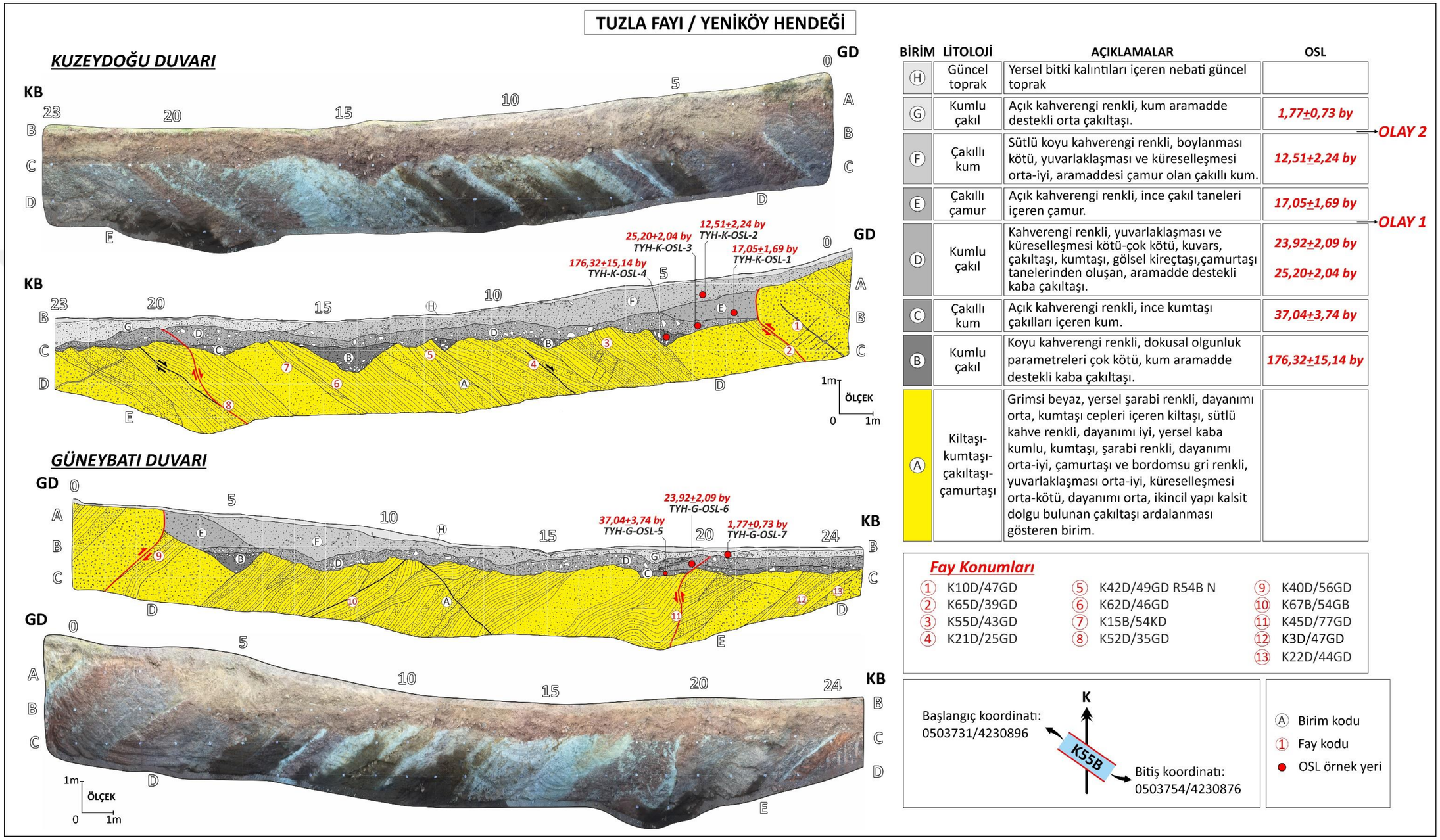
BİRİM	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR	OSL	
J	Güncel toprak	Yeşilimsi sütlü kahverengi yersel bitki kalıntıları içeren nebati güncel toprak.		
I	Çakıllı kum	Açık sütlü kahve renkli, çakılların dokusal olgunluk parametreleri orta, çakıllı ince kum.	6,56±2,49 by	
H	Çakıllı kum	Kötü-çok kötü çakıl dizilimlerine sahip kahverengi renkli çakıllı kum.	28,79±1,57 by	OLAY 2
G	Çakıllı kum	Açık kahverengi renkli çakıllı kum, pekleşmesi kötü, dayanımı orta.	43,66±2,26 by	
F	Çakıllı kumlu çamur	Koyu kahverengi renkli, bloklar içeren, çakıllı kumlu çamur. Dokusal olgunluk parametreleri çok kötüdür.	54,3±4,2 by 67,77±4,8 by	OLAY 1
E	Çatlak dolgusu	Grimsi kahverengi renkli, kumtaşı çakılları içerir, dokusal olgunluğu kötü.		
D	Çakıllı kum	Açık sütlü kahverengi-bej renkli, dokusal olgunluk parametreleri kötü.		
C	Çatlak dolgusu	Bordomsu kahverengi renkli, ilksel dokusu klastike benzeyen çakıl içerir.		
B_2	Kumtaşı	Taze yüzeyi açık krem-açık gri renkli, ayrışma rengi ise beyazımsı gri renkli, kaba kum taneli orta kumtaşı.		
B_1	Breşik zon	Fay zonu kayalarından oluşur. Ezilme zonu çok açık yeşilimsi- açık gri- açık kahverengine sahiptir.		
A	Çamurşeyl-çamurtaşı-kumtaşı	Çamurşeylin ayrışma rengi gri, içinde kil miktarı baskın, az silt içerir. Çamurtaşının silt miktarı yüksek, pekleşmesi orta-iyidir. Kumtaşı ise orta-ince kum tanelerinden oluşur.		

Fay Konumları

1 K44D/54GD	7 K3B/38KD	13 K4B/47GB
2 K8D/47GD	8 K32D/47GD	14 K81D/42GD
3 K34D/45GD	9 K12D/47GD	15 K61D/48GD
4 K31B/31KD	10 K34B/64KD	16 K39D/59GD
5 K62D/43GD	11 K64B/73GB	17 K51D/49GD R18K
6 K85D/47GD	12 K80B/78GB	18 K24B/54GB

A Birim kodu
1 Fay kodu
OSL örnek yeri

EK-2: Yeniköy Hendeğine Ait Fotomozaik ve Log Çizimi



BİRİM	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR	OSL
H	Güncel toprak	Yersel bitki kalıntıları içeren nebati güncel toprak	
G	Kumlu çakıl	Açık kahverengi renkli, kum aramadde destekli orta çakıltaşı.	1,77±0,73 by
F	Çakıllı kum	Sütlü koyu kahverengi renkli, boylanması kötü, yuvarlaklaşması ve küreselleşmesi orta-iyi, aramaddesi çamur olan çakıllı kum.	12,51±2,24 by → OLAY 2
E	Çakıllı çamur	Açık kahverengi renkli, ince çakıl taneleri içeren çamur.	17,05±1,69 by
D	Kumlu çakıl	Kahverengi renkli, yuvarlaklaşması ve küreselleşmesi kötü-çok kötü, kuvars, çakıltaşı, kumtaşı, gölsel kireçtaşı,çamurtaşı tanelerinden oluşan, aramadde destekli kaba çakıltaşı.	23,92±2,09 by 25,20±2,04 by → OLAY 1
C	Çakıllı kum	Açık kahverengi renkli, ince kumtaşı çakılları içeren kum.	37,04±3,74 by
B	Kumlu çakıl	Koyu kahverengi renkli, dokusal olgunluk parametreleri çok kötü, kum aramadde destekli kaba çakıltaşı.	176,32±15,14 by
A	Kiltaşı-kumtaşı-çakıltaşı-çamurtaşı	Grimsi beyaz, yersel şarabi renkli, dayanımı orta, kumtaşı cepleri içeren kiltaşı, sütlü kahve renkli, dayanımı iyi, yersel kaba kumlu, kumtaşı, şarabi renkli, dayanımı orta-iyi, çamurtaşı ve bordomsu gri renkli, yuvarlaklaşması orta-iyi, küreselleşmesi orta-kötü, dayanımı orta, ikincil yapı kalsit dolgu bulunan çakıltaşı ardalanması gösteren birim.	

Fay Konumları

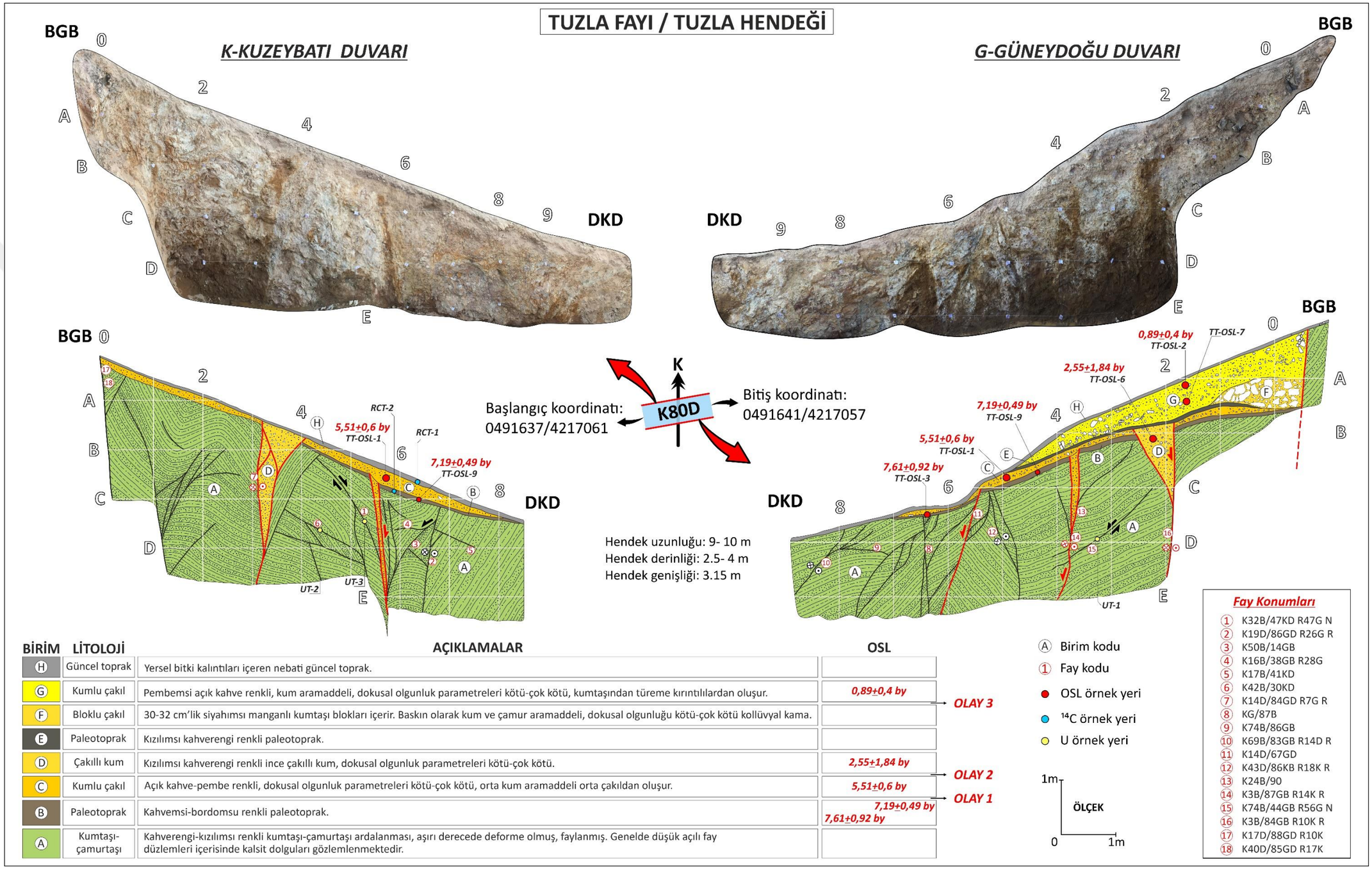
1 K10D/47GD	5 K42D/49GD R54B N	9 K40D/56GD
2 K65D/39GD	6 K62D/46GD	10 K67B/54GB
3 K55D/43GD	7 K15B/54KD	11 K45D/77GD
4 K21D/25GD	8 K52D/35GD	12 K3D/47GD
		13 K22D/44GD

Başlangıç koordinatı: 0503731/4230896

Bitiş koordinatı: 0503754/4230876

A Birim kodu
1 Fay kodu
OSL örnek yeri

EK-3: Tuzla Hendeğine Ait Fotomozaik ve Log Çizimi



BİRİM	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR	OSL
H	Güncel toprak	Yersel bitki kalıntıları içeren nebati güncel toprak.	
G	Kumlu çakıl	Pembemsi açık kahve renkli, kum aramaddeli, dokusal olgunluk parametreleri kötü-çok kötü, kumtaşından türeme kırıntılılardan oluşur.	0,89±0,4 by
F	Bloklu çakıl	30-32 cm'lik siyahımsı manganlı kumtaşı blokları içerir. Baskın olarak kum ve çamur aramaddeli, dokusal olgunluğu kötü-çok kötü kollüvyal kama.	
E	Paleotoprak	Kızılımsı kahverengi renkli paleotoprak.	
D	Çakıllı kum	Kızılımsı kahverengi renkli ince çakıllı kum, dokusal olgunluk parametreleri kötü-çok kötü.	2,55±1,84 by
C	Kumlu çakıl	Açık kahve-pembe renkli, dokusal olgunluk parametreleri kötü-çok kötü, orta kum aramaddeli orta çakıldan oluşur.	5,51±0,6 by
B	Paleotoprak	Kahvemsi-bordomsu renkli paleotoprak.	7,19±0,49 by 7,61±0,92 by
A	Kumtaşı-çamurtaşı	Kahverengi-kızılımsı renkli kumtaşı-çamurtaşı ardalanması, aşırı derecede deforme olmuş, faylanmış. Genelde düşük açılı fay düzlemleri içerisinde kalsit dolguları gözlemlenmektedir.	

- A Birim kodu
- 1 Fay kodu
- OSL örnek yeri
- ^{14}C örnek yeri
- U örnek yeri

Fay Konumları

1	K32B/47KD R47G N
2	K19D/86GD R26G R
3	K50B/14GB
4	K16B/38GB R28G
5	K17B/41KD
6	K42B/30KD
7	K14D/84GD R7G R
8	KG/87B
9	K74B/86GB
10	K69B/83GB R14D R
11	K14D/67GD
12	K43D/86KB R18K R
13	K24B/90
14	K3B/87GB R14K R
15	K74B/44GB R56G N
16	K3B/84GB R10K R
17	K17D/88GD R10K
18	K40D/85GD R17K