

**Balıkesir İli, Karesi Merkez İlçesi'nden geçen
Balıkesir Fayı (Gökçeyazı Segmenti)'nin
Yüzey Faylanması Tehlikesi/Fay Sakınım Bandı
Açısından Değerlendirilmesi**

RAPORU HAZIRLAYANLAR

Prof. Dr. Hasan SÖZBİLİR
Dr. Öğr. Üyesi Özkan Cevdet ÖZDAĞ

**Nisan / 2025
Buca-İZMİR**

İçindekiler

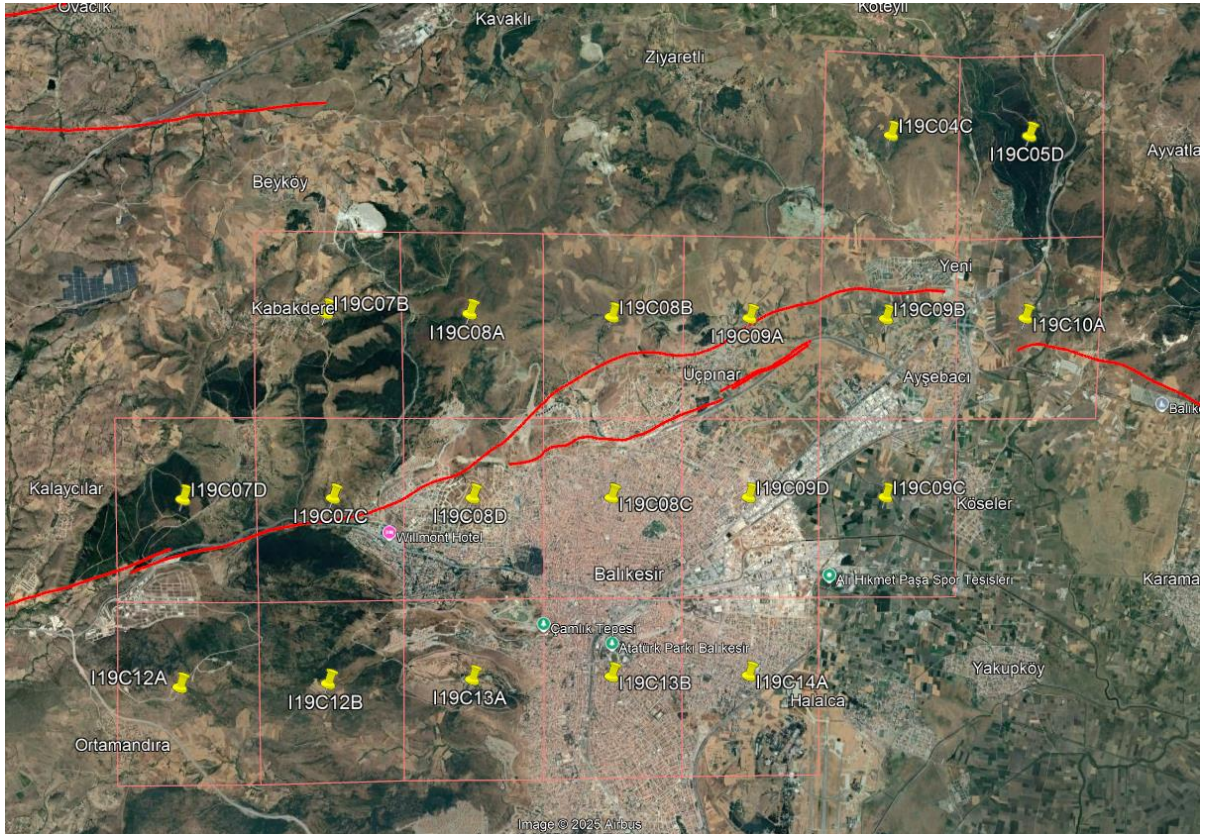
1. GİRİŞ	3
1.1 İnceleme Alanının Tanıtımı	3
1.2 Kullanılan Yöntemler	4
2. JEOLOJİK VE SİSMOTEKTONİK ÖZELLİKLER	6
2.1. Bölgesel Jeoloji	6
2.2. Bölgesel Tektonik	9
2.3. Fay Zonu Jeolojisi	12
2.3.1 Stratigrafi	12
2.3.2 Fay Segment Özellikleri	16
2.4. Jeodezik Bilgiler	20
2.5. Güney Marmara Bölgesinin Sismotektoniği	22
2.5.1 Tarihsel Dönem Depremleri	26
2.5.2 Aletsel Dönem Depremleri	29
3. JEOMORFOLOJİK YERDEĞİŞTİRME ÖLÇÜMLERİ	30
4. PALEOSİSMOLOJİK BULGULAR	33
5. İHA ÇALIŞMALARI	36
5.1. Yöntem	36
5.2. Uygulama ve Hesaplamalar	38
6. BALIKESİR FAYI'NIN YÜZEY FAYLANMASI TEHLİKESİ ve FAY SAKINIM BANDI KRİTERLERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	46
7. SONUÇLAR VE PLANA ESAS ÖNERİLER	50
TEŞEKKÜR	52
KAYNAKLAR	53

1. GİRİŞ

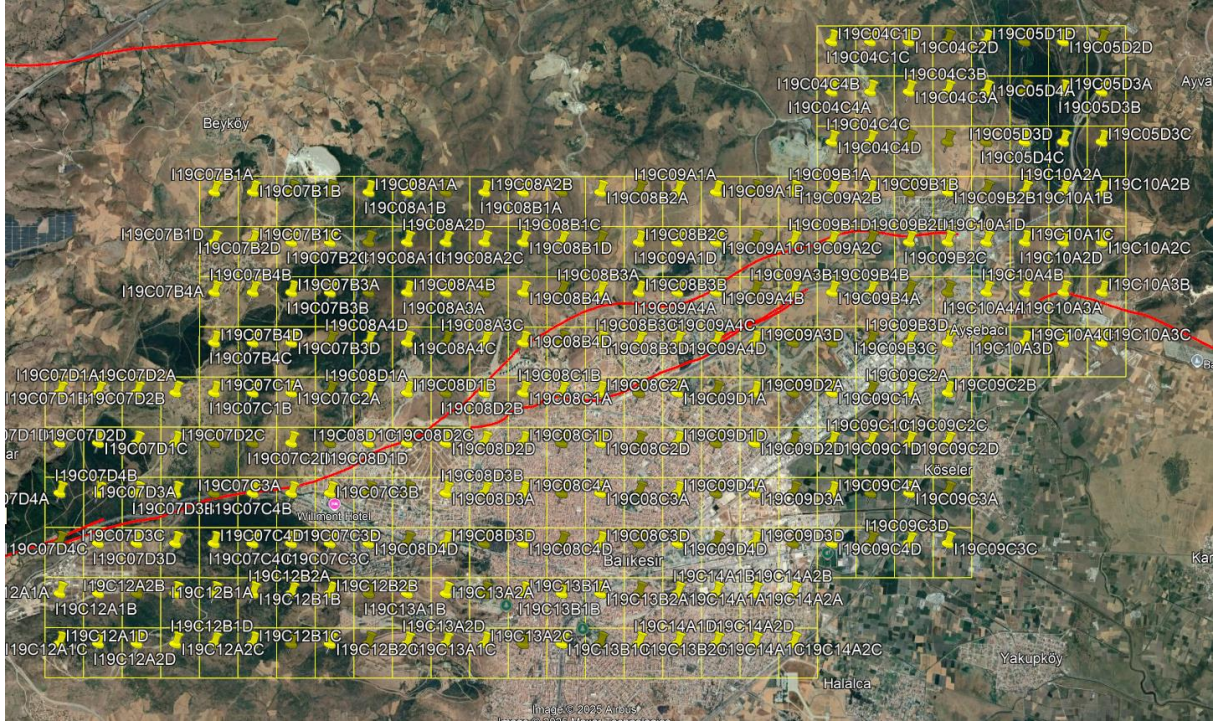
Bu rapor, Dokuz Eylül Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkez Müdürlüğü ile Karesi Belediyesi arasında imzalanan protokol uyarınca, Balıkesir İli, Karesi Merkez İlçesi'nden geçen Balıkesir Fayı (Gökçeyazı Segmenti)'nin Yüzey Faylanması Tehlikesi/Fay Sakınım Bandı Açısından Değerlendirilmesi konusundaki danışmanlık çalışmasını kapsar.

1.1 İnceleme Alanının Tanıtımı

İnceleme alanı Balıkesir İli, Karesi İlçe sınırları ve yakın çevresini kapsar (Şekil 1.1). Bu çalışmada, Balıkesir Fayı'nın Gökçeyazı segmentinin içinden geçtiği paftalar dikkate alınmıştır. Bu amaçla, Gökçeyazı segmentinin içinden geçtiği 1/1.000 ve 1/5.000 ölçekli halihazır paftalar üzerinde çalışmalar yapılmıştır (Şekil 1.1 ve 1.2).



Şekil 1.1. Balıkesir ili, Karesi İlçesi ve yakın çevresinin 1/5000 ölçekli pafta sınırlarının Google Earth üzerindeki yeri (kırmızı renkli çizgiler MTA-yerbilimleri portalından alınan Balıkesir Fayı'nın topoğrafyadaki izine aittir).



Şekil 1.2. Balıkesir ili, Karesi İlçesi ve yakın çevresinin 1/1000 ölçekli pafta sınırlarının Google Earth üzerindeki yeri (kırmızı renkli çizgiler MTA-yerbilimleri portalından alınan Balıkesir Fayı'nın topoğrafyadaki izine aittir).

1.2. Kullanılan Yöntemler

Bu çalışma, literatür taraması, arazi çalışması ve Ofis çalışması olarak 3 aşamada yürütülmüştür.

Literatür taraması aşamasında Havran-Balıkesir Fay Zonu içinde kalan Balıkesir Fayı ile ilgili yapılmış tüm çalışmalar yeniden değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, MTA'nın 2011-13'de yayınladığı Türkiye Diri Fay Haritası Envanteri ve 2012-2014 yılları arasında yapılan Tübitak raporu ile bu rapordan çıkartılan ulusal ve uluslararası yayınlar ile bölgede Balıkesir Büyükşehir Belediyesi ve farklı araştırmacılar tarafından yapılan tüm çalışmalar dikkate alınmış ve bu çalışmalardan çıkan sonuçlar Fay Sakınım Bandı açısından değerlendirilmiştir.

2. Aşamada araziye gidilerek 1/1000 ve 1/5000 ölçekli halihazır paftalar üzerine Balıkesir Fayı-Gökçeyazı segmenti haritalanmıştır. Haritalama sırasında hava-orto

fotoğraflarından yararlanılmış ve gerekli görülen lokasyonlarda Drone çekimi yapılmıştır.

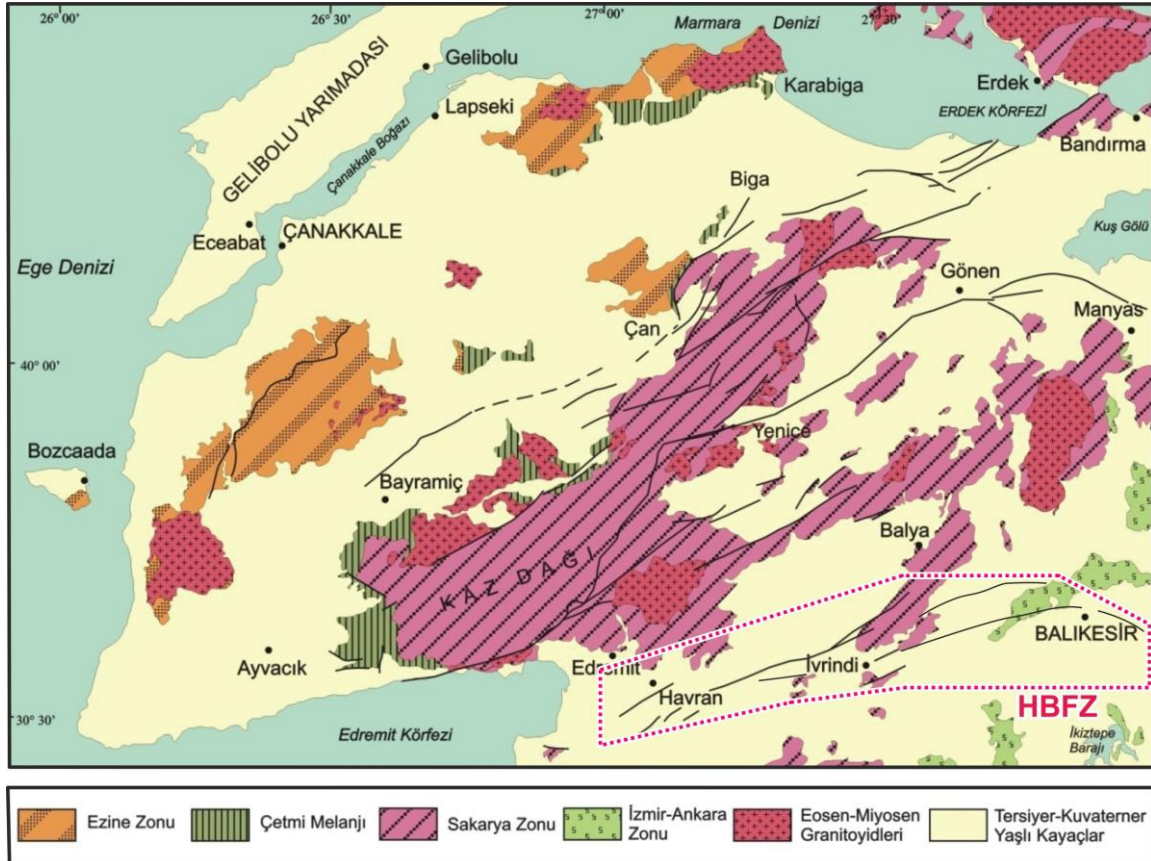
3.Aşamada, ilgili literatür ışığında, bölgenin jeolojisi, sismotektonik özellikleri, fay zonü geometrisi ve segment yapısı ile paleosismolojik veriler birleştirilerek Karesi Merkez Belediyesi sınırları içinde kalan Balıkesir Fayı, yüzey faylanması tehlikesi/Fay Sakınım bandı oluşturma kriterleri açısından değerlendirilmiştir.

Bu kapsamda aşağıda, öncelikle Balıkesir Fayı'nın içinde bulunduğu Havran-Balıkesir Fay Zonu (HBFZ) ve bu zonun bölgesel ölçekteki anlamını ortaya koymak için bölgenin jeolojik ve sismotektonik özellikleri sunulacak, ardından, fay zonü jeolojisi, fay segment özellikleri, jeodezik bilgiler, tarihsel ve aletsel dönem depremleri ve Balıkesir Fayı'nın paleosismolojik özellikleri verilecektir. Son bölümde, tüm bu veriler ışığında Balıkesir Fayı-Gökçeyazı segmenti Yüzey Faylanması tehlikesi kuşağı/fay sakınım bandı kriterleri açısından değerlendirilecektir. Bu değerlendirme sonucunda, Fay sakınım bandı genişliği ve bu band içinde kalan yapı stoğu ile ilgili haritalar sunulacaktır.

2. JEOLÖJİK VE SİSMOTEKTONİK ÖZELLİKLER

2.1. Bölgesel Jeoloji

Biga Yarımadası'nın güney doğusunda yer alan HBFZ, Edremit Körfezi ile Balıkesir arasında KKD–GGB yönünde uzanır. Bölgede yüzlek veren ana tektonik birlikler Ezine Zonu, Çetmi Melanjı, Sakarya Zonu, İzmir–Ankara Zonu, Eosen–Miyosen granitoidleri ve Tersiyer–Kuvaterner yaşlı kayalar olarak 6 grupta toplanabilir (Şekil 2.1). Kretase' de meydana gelen yüksek dereceli deformasyon ve Senozoyik magmatizmasının meydana getirdiği yoğun alterasyon sonrasında Neotektonik dönem faylarının gelişimi sözkonusudur. Bu bölümde Senozoyik öncesi birimler ile ilgili bilgiler; büyük ölçüde MTA'nın Biga Yarımadası Raporu (Duru vd., 2012) ile Okay'ın çalışmalarından, (Okay vd., 1990; Okay vd., 1991; Okay vd., 1996; Okay ve Satır, 2000; Okay ve Göncüoğlu, 2004), magmatik kayalar ile ilgili bilgiler ise Genç (1998); Yılmaz ve Karacık (2001); Karacık vd. (2008)'e atıf verilerek ve bu çalışma kapsamındaki saha gözlemlerinden derlenmiştir.



Şekil 2.1. Biga Yarımadasının bölgesel jeoloji haritası ve inceleme alanının ana tektonik birimler içerisindeki konumu (MTA, 2012). HBFZ, Havran–Balıkesir Fay Zonu.

Bozcaada, Ezine, Çan ve Karabiga çevresinde yüzlek veren **Ezine Zonu'** na ait jeolojik kaya birimlerini Kambriyen–Triyas yaşlı Çamlıca Metamorfikleri ve Karadağ Grubu ile bunlarla tektonik dokanaklı Denizgören Ofiyoliti oluşturur. Okay vd. (1990) tarafından tanımlanan Çamlıca Metamorfikleri düşük-orta dereceli metamorfik kayalardan yapılıdır. Çetmi Melanjı ile Denizgören Ofiyoliti arasında KD doğrultusunda uzanan birim başlıca kirli beyaz-gri renkli, granatlı kuvars-mika şistlerden yapılıdır. Yer yer mermer ve metaofiyolit düzeyleri içerir. Karadağ Grubu ise altta Prekambriyen yaşlı metamorfik kayalar ile başlayan üste doğru Permo–Triyas yaşlı rekristalize kireçtaşları ile devam eden bir istif olarak belirtilir (Okay vd., 1990). Bu birimler üzerinde bindirmeli bir dokanakla bulunan Denizgöre ofiyoliti genel olarak serpantinleşmiş harzburgit, bazalt ve gabrolardan oluşur ve bu dokanak boyunca KD–GB bir hat şeklinde yüzlek verir (Okay vd., 1990; MTA, 2012). Bu ofiyolitlerin literatürdeki yaşları Paleozoyik ile Triyas arasında değişse de (Bingöl vd., 1973; Okay vd., 1990), yapılan son radyometrik tayinler birimin yaşının Kretase olduğunu göstermektedir (Okay vd., 1996; Beccaletto ve Jenny, 2004).

Sakarya zonunun batı sınırını oluşturan **Çetmi Melanjı**, Ayvacık'ın doğusu ile Karabiga arasında yüzlek verir (Şekil 2.1). İlk kez Okay vd. (1990) tarafından tanımlanan birim grovak, fillat, mikaşist, eklojit, serpantinit, spilitik bazalt, radyolarit ve kireçtaşı-mermerlerin birbiri içerisinde tektonik dilimler ve bloklar halinde bulunduğu karmaşık bir kayalar topluluğundan oluşur. Yaşı Geç Kratase olarak belirtilen birimin içerisindeki eklojit ve kireçtaşı bloklarından geç Triyas ile erken Kretase arasında yaşlar elde edilmiştir (Okay vd., 1990; 1991; Okay ve Satır, 2000; Beccaletto vd., 2005). Bu veriler saha gözlemleri ile denştirildiğinde Çetmi melanjının bölgeye geç Maastrihtiyen öncesinde yerleştiği düşünülmektedir (Duru vd., 2012).

Biga Yarımadası boyunca Edremit ve İvrindi ile Erdek arasında KD doğrultusunda uzanan **Sakarya Zonu'** na ait kayalar ilk kez Şengör ve Yılmaz (1981) tarafından tanımlanmış, altta Kazdağ Metamorfikleri ve bu birimle tektonik dokanaklı Kalabak Grubu ile Karakaya Kompleksi'nden oluştuğu belirtilmiştir. Kazdağ Metamorfiklerinde yapılan çalışmalar (Bingöl, 1968; 1969; Gözler vd., 1984; Okay ve Satır, 2000) genel anlamda birimin tabanda metadünit, metagabro ve amfibolitlerden oluştuğunu, üste doğru şist ve gnayslar ile devam eden istifin mermerler ile son bulunduğunu belirtir. Elde

edilen jeokronolojik veriler (Cavazza vd., 2009; Bonev vd., 2009; Bingöl, 1971; Okay vd., 1996; Okay & Satır, 2000; Cavazza vd., 2009; Duru vd., 2012; Erdoğan vd., 2013) yapılan arazi gözlemleri ile birleştirildiğinde birimin geçirdiği son metamorfizmanın olasılıkla Oligosen'de yüzeylemesinin ise Miyosen'de gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Kalabak Grubu İlk kez Krushensky vd. (1980) tarafından Havran civarında yaptıkları çalışmalar sonucunda tanımlanmıştır. Genel anlamda düşük dereceli metamorfizma geçirmiş volkanoklastik kayalardan oluşan birim Biga Yarımadası'nda Sakarya Zonu'nun temelini oluşturan ana tektonik birliklerden biridir (Okay ve Göncüoğlu, 2004). Üst Paleozoyik yaşındaki Kalabak Grubu istifinde tabanda mermer ve metaserpantinler içeren metariyolit, fillat ve mikaşistlerden oluşur. Üste doğru metaçört ve metabazit aralanması ile son bulan istif metagranitlerle kesilmiştir (Okay vd., 1990; Duru vd., 2012). İlk kez Bingöl vd. (1973) tarafından tanımlanan ve Kazdağ Metamorfizmaları ile Kalabak Grubuna ait kayalar üzerinde bulunan Geç Permiyen–Triyas yaşlı Karakaya Kompleksi'ne ait litolojileri kırıntılı ve magmatik kayalar ile denizel karbonatlar oluşturur (Bingöl, 1976; Okay ve Göncüoğlu, 2004). Birim genel anlamda Permo-Karbonifer yaşlı egzotik kireçtaşı blokları içeren, hafif metamorfizma geçirmiş, erken Triyas yaşlı çakıltı, feldispatlı kumtaşı, kuvarsit, silttaşı, sileksit, radyolarit, çamurtaşı, metaspilit, spilitik bazalt ve diyabaz karmaşığı olarak tanımlanmıştır. Yapılan bölgesel ölçekli çalışmalar Sakarya Zonu'nun temelinde yer alan Karakaya Kompleksi litolojilerinin Anadolu'da Biga Yarımadası'ndan Erzincan'a kadar uzanan geniş bir kuşak içerisinde yayılım gösterdiğini ve Türkiye jeolojisinin paleotektonik ve paleocoğrafik evriminin belirlenmesi açısından önemli bir yere sahip olduğunu belirtilmektedir (Okay vd., 1990 ve 1996; Pickett vd., 1995).

Sakarya Zonu'nun güney-güneydoğusunda yer alan **İzmir–Ankara Zonu** kayaları ilk kez Brinkmann (1966) tarafından ofiyolitik kayalar ve bloklu flişten oluşan bir kuşak olarak tanımlanmıştır. Tabanda Bornova flişi ve bunun üzerine tektonik bir dokanakla yerleşen Yayla Melanji'nden oluşan bu zon, Şengör ve Yılmaz (1981) ile Okay vd. (1990, 1991, 1996) tarafından Neo-Tetis Okyanusu'nun kuzey kolunun kapanması ile ilişkilendirilmiştir. Bornova flişi çoğunlukla kahvemsî-yeşilimsî gri renkli, kırıklı ve orta-ince taneli kumtaşları ile siyah, yeşilimsî-gri renklerdeki kilittaşlarının aralanmasından oluşmaktadır. Birim içerisinde bu kırıntılılarla yanall geçişli mikritik kireçtaşları, çamurtaşı-radyolarit ara düzeyleri ve değişik yaş/kökene sahip denizel kireçtaşı

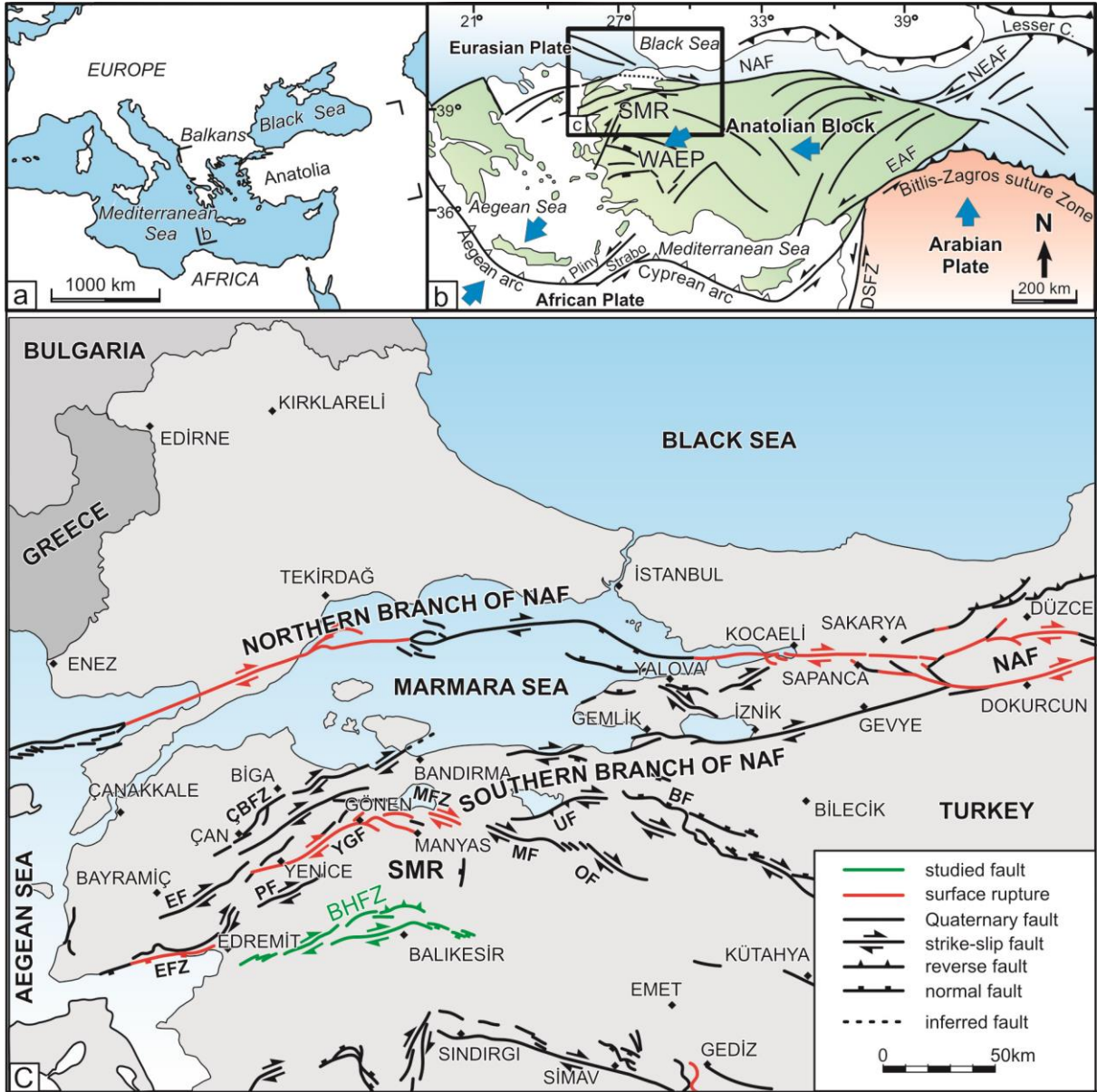
blokları olağandır. Birim yüksek derecede deformasyona bağlı kıvrım ve kırıklanma geçirmiş olmasına rağmen ilksel yapısı bozulan kumtaşlarında yer yer tane derecelenmeleri ve Bouma sekansları görülebilmektedir. İzmir ile Balıkesir arasında geniş alanlar kaplayan birim içerisinde çörtlü kireçtaşı, radyolarit, spilitik bazaltlar da yer almaktadır (Konuk, 1977; Akdeniz ve Konak, 1979; Erdoğan, 1990; Okay ve Siyako, 1993; Okay ve Tüysüz, 1999). Daha önceki çalışmalarda Bornova flışı matriksinin yaşı Turoniyen–Maastrihtiyen (Akdeniz ve Konak, 1979; Konak vd., 1980), Kampaniyen–Daniyen (Konuk, 1977; Erdoğan, 1990), Maastrihtiyen–Paleosen (Okay ve Siyako, 1993) olarak belirtilmiş, son yapılan çalışmalar da göz önüne alındığında birimin yaşı Geç Kretase–Paleosen olarak verilmiştir (Sarı, 2013).

Biga Yarımadasında yüzlek veren **Eosen–Miyosen yaşlı granitoidler** başlıca Kestanbol, Evciler, Kavlaklar, Eybekdağ, Kapıdağ, Karabiga, Orhaneli gibi intrüzyonlar oluşturur (Şekil 2.1). Jeokimyasal ve jeokronolojik açıdan ana gruba ayrılabilen bu granitik sokulumlardan yaşlı olanı ortaç K içerikli bir bileşime sahip olan diyoritler ve granitlerde oluşur. Bu magmatizmanın sokulum yaşı 36 ile 45 my arasında gerçekleşmiştir (Bingöl vd., 1982; Delaloye ve Bingöl, 2000; Karacık vd., 2008). Yüksek K bileşimi ile dikkat çeken genç magmatizma ise genel olarak kuvars monzonit ve granodiyorit olarak tanımlanır ve 19–23 my arasında gelişimini tamamlar (Ataman, 1974; Bingöl vd., 1982; Aldanmaz vd., 2000; Karacık vd., 2008).

2.2. Bölgesel Tektonik

Balıkesir il sınırları içinde Kuzey Anadolu Fayı'nın güney koluna ait fay segmentleri (Yenice-Gönen Fayı, Edremit Fay Zonu) ve Edremit Fay Zonu ile Balıkesir il merkezinden geçen Havran-Balıkesir Fay zonu ve güneydeki Simav Fayı önemli sismojenik zonlardır (Şekil 2.2). Marmara Bölgesi'nin en önemli yapısı olan KAF, tarihsel ve aletsel dönemdeki çok belirgin olan sismik aktivitesi ve önemli yerleşim alanları ile ilişkisi yüzünden dünyadaki kıtasal doğrultu atımlı fayların en çok çalışılanlarından biridir (McKenzie, 1972, 1978; Dewey ve Şengör, 1979; Şengör vd., 1985; Barka, 1992; Armijo vd., 2002; Şengör vd., 2004). En doğuda, üçlü eklem olarak adlandırılan ve yaklaşık olarak Karlıova civarında bulunan alandan başlayarak kuzeye doğru dış bükey bir geometriyle batıya ilerleyen KAF, Düzce civarında Marmara Denizi'nin suları altında devam eder. Tekirdağ açıklarından sonra Gelibolu'da son kez

karaya çıkan fay zonu, bu kez kuzeybatıya doğru dış bükey bir geometri ile Ege Denizi'ni katederek Yunanistan topraklarına doğru son bulur (Armijo vd., 2002; Şengör vd., 2004). Harita ifadesine bakıldığında KAF Marmara Bölgesi'ne geldiğinde, yaklaşık Düzce civarlarında güneye doğru birkaç kola ayrılır (Şekil 2.2). Bu noktada literatürde farklı görüşler mevcuttur. Bazı çalışmacılar KAF'in bu noktada Kuzey kol ve Güney kol olmak üzere iki kola ayrıldığını, bunlardan kuzeydeki Marmara Denizi boyunca ilerleyerek ana yapıyı oluşturduğunu, güneydeki kolun ise Yenice–Gönen, Evciler ve Edremit Fay Zonları boyunca Biga Yarımadasını şekillendirdiğini vurgular (Şengör vd., 2004). KAF ile ilgili bazı çalışmalar ise, Marmara Bölgesi'nde bu fay zonunun üç kol ile temsil edildiğini savunur. Bunlardan Kuzey kol, Mudurnu Vadisinden Marmara Denizi'nin doğusuna kadar uzanır ve Saroz Körfezi'ne girer. Orta kol ise Mudurnu Vadisi'nde Kuzey koldan güneye doğru ayrılarak İznik Gölü'ne doğru ilerler. Güney kol ise, Pamukova civarındaki KD-GB doğrultulu bir fay parçası ile başlar (Koçyiğit, 1988) ve Yenişehir, Bursa ve Ulubat Fayları boyunca güneybatıya doğru ilerler. Özalp vd. (2013) ise kuzey ve güney olarak ana kollara ayırdıkları fay zonunun, güney kolunun birbirlerinden sağa sıçramalı parçalardan oluşmuş bir geometriyle Biga içine ilerlediğini belirtirler. Literatürde Biga içine doğru ilerleyen Emre ve Doğan, (2010) ve Emre vd., (2011)'de tanımlanan, yaklaşık B – D ve DKD – BGB uzanımlı Yenice – Gönen, Çan – Biga, Bekten, Pazarköy, Evciler, Havran – Balıkesir ve Edremit Fay Zonları, bölgesel tektonik anlamında KAF ile birinci derecede ilişkili yapılar olarak değerlendirilirler.



Şekil 2.2. (a) Çalışma alanının Doğu Akdeniz'deki yeri (Kaymakçı, 2006). (b) Türkiye'nin ana tektonik hatları (Kaymakçı, 2006 ve Özkaymak, 2015'den oluşturulmuştur). (c) Kuzeybatı Anadolu'nun basitleştirilmiş diri fay haritası (Emre & Doğan, 2010 Türkiye 1/250000 ölçekli diri fay haritaları serisi Ayvalık NJ 35-2 paftası kitapçığından değiştirilerek). Bursa Fayı (BF), Ulubat Fayı (UF), Mustafakemalpaşa Fayı (MF), Orhangazi Fayı (OF), Manyas Fay Zonu (MFZ), Yenice–Gönen Fayı (YGF), Çan-Biga Fayı Zonu (ÇBFZ), Evciler Fayı (EF), Pazarköy Fayı (PF), Edremit Fayı Zonu (EFZ), and the Havran-Balıkesir Fayı Zonu (HBFZ)

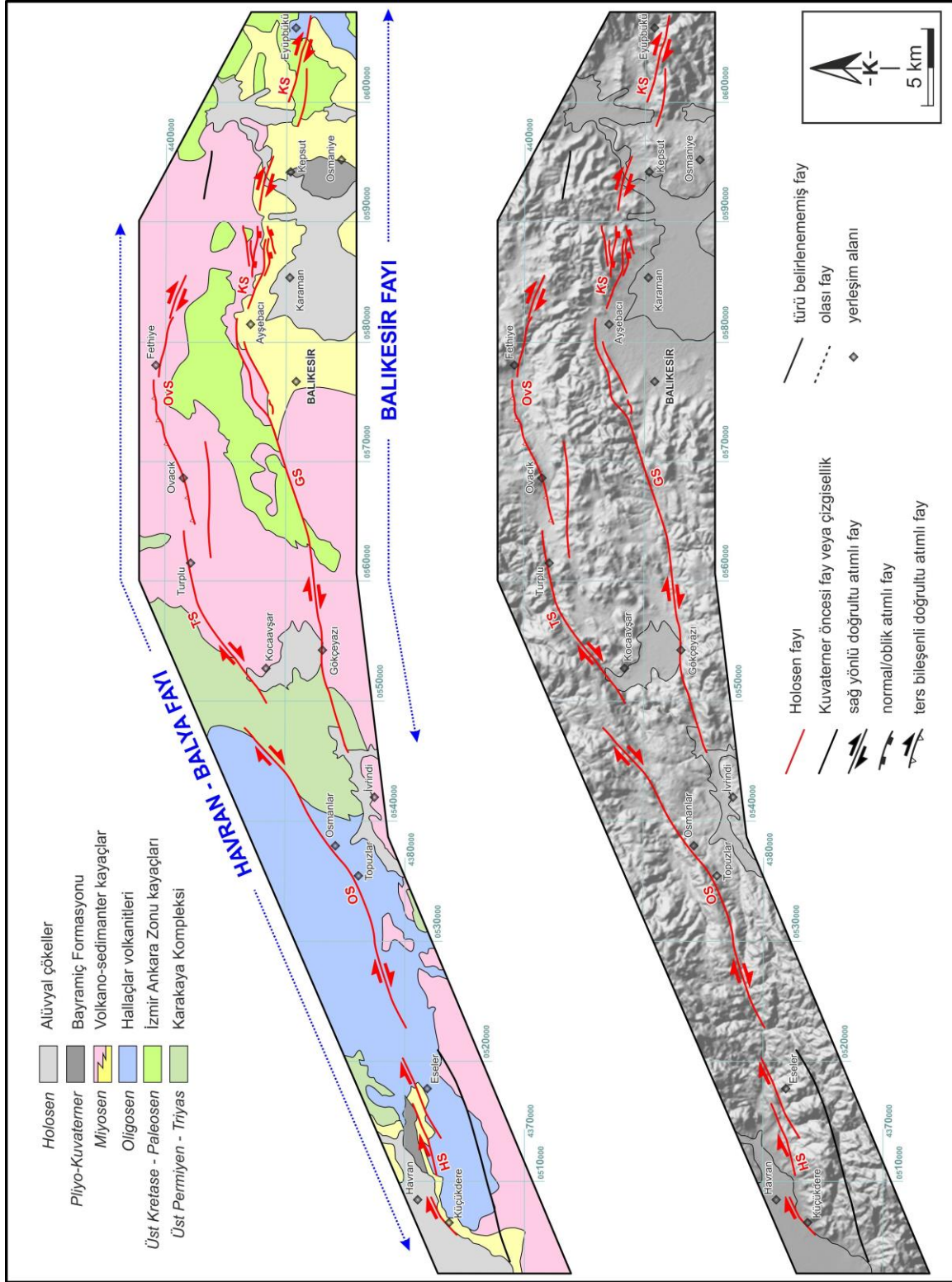
2.3. Fay Zonu Jeolojisi

HBFZ' yi oluşturan segmentlerin tanımlamalarında MTA' nın 1/250.000 ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası'nın Balıkesir NJ-35-3 paftası üzerindeki bilgiler (Emre vd., 2011) ile Duru vd. (2012) raporundaki veriler baz alınmış, Tübitak projesi (Sözbilir vd., 2014) kapsamında yapılan saha verileri birleştirilerek, HBFZ boyunca gözlenen kaya birimlerini, diri fayları ve bunların morfolojik özelliklerini gösteren kuşak jeoloji haritası oluşturulmuştur (Şekil 2.3). Bu bölümde öncelikle HBFZ boyunca yüzlek veren kaya birimleri verilecek, daha sonra fay zonu boyunca gözlenen segmentler tanımlanarak geometrik özelliklerinden (atlama, sıçrama yapıları vb.) bahsedilecektir. Kaya birimleri stratigrafik olarak alttan üste, fay segmentleri ise batıdan doğuya doğru anlatılacaktır.

2.3.1. Stratigrafi

HBFZ boyunca yüzlek verecek kaya birimleri 6 ana grup altında incelenmiştir. Bunlar yaşlıdan gence doğru: (i) geç Permien–Triyas yaşlı Karakaya Kompleksi, (ii) geç Kretase–Paleosen yaşlı İzmir–Ankara Zonu kayalar, (iii) Oligosen yaşlı Hallaçlar volkaniti, (iv) Miyosen yaşlı Volkan-sedimanter kayalar, (v) Pliyo–Kuvaterner yaşlı Bayramiç Formasyonu ve (vi) Holosen yaşlı Alüvyal çökeller olarak tanımlanmıştır (Şekil 2.3).

Karakaya Kompleksi' ne ait kayalar HBFZ'nin kuzeybatısında ve İvrindi–Kocaavşar arasındaki alanda geniş yüzlekler verir (Şekil 2.3). Birimi oluşturan ana litolojiler kahverengi–boz renkli kumtaşı, şeyl, radyolarit bazik volkanitler ve rekristalize kireçtaşlarından oluşur. Aşırı derecede deformasyona uğramış, hatta yer yer düşük dereceli metamorfizma emareleri gösteren birim bu sebeple düzenli bir istif halinde bulunmaz. İçerdiği litolojiler genellikle birbirleriyle yan al-düşey geçişli ve/veya blok konumludur (Duru vd., 2012). Çalışma alanı içindeki baskın litolojiyi ise gri–grimsi beyaz renkli rekristalize kireçtaşları teşkil eder. Devonien–Karbonifer yaşlı bu blokların dışında birim içerisinde ender olarak metakumtaşları, şist ve fillit düzeyleri de gözlenir. Okay vd. (1990, 1991) tarafından yeşilşist fasiyesinde bir bölgesel metamorfizma geçirmiş olan Nilüfer birimi olarak adlanan bu metamorfik düzeylerin, Karakaya Kompleksi'nin diğer litolojik grupları gibi, geçirdiği yüksek dereceli içsel deformasyon sebebiyle, İzmir–Ankara Zonu kayalar ve diğer Senozoyik öncesi birimlerle olan dokanaklarının niteliğini anlamak oldukça güçtür.



Şekil 2.3. Havran–Balıkesir Fay Zonu’ nu boyunca gözlenen kaya birimlerini, diri faylar ve bunların morfolojik özelliklerini gösteren kuşak jeoloji haritası (Emre vd., 2011, Duru vd.,2012 ve bu çalışmadaki gözlemlerden birleştirilerek). Havran HS: Havran Segmenti, OS: Osmanlar Segmenti, TS: Turplu Segmenti, OvS: Ovacık Segmenti, GS: Gökçe yazı Segmenti, KS: Kepsut Segmenti.

Balıkesir'in kuzeyinde ve Kepsut'un kuzeydoğusundaki alanlarda geniş yüzlekler veren **İzmir-Ankara Zonu** kayaları, HBFZ boyunca gözlenen diğer bir Senozoyik öncesi kaya birimidir (Şekil 2.3). Arazi gözlemlerine göre birim içerisindeki kaya toplulukları merceksel mikritik kireçtaşları içeren kumtaşı-şeyl ardalanmasından oluşan bir matriks ve bu matriks içerisindeki çeşitli boyulardaki blok konumlu rekristalize kireçtaşı, çört, serpantin ve denizaltı volkanitlerinden oluşur. Yoğun bir deformasyona uğramış ve kıvrımlı-kırıklı bir yapı kazanmış olan birim inceleme alanının batı sınırı boyunca yüzlek verir. Başlıca grimsi-kahverengi ince taneli kumtaşı, daha az oranda çamurşeyl, çamurtaşı ve çok az miktarda kanal dolgusu şeklindeki çakıltaşından oluşur. Matriks içinde yer alan kumtaşlarının dayanımı çamurkayalarından daha fazladır. Yanal ve düşey olarak filiş fasiyesine ait karakteristik özellikleri yansıtan kırıntılı ve karbonat kayalardan oluşan matriks, aşırı derecede kıvrımlanarak deformasyon geçirmiştir. Tektonizma nedeniyle kaya birimlerinin ilksel katman yapıları bozulmuş ve yapısal süreksizlikler meydana gelmiştir. HBFZ'nun doğu kesimlerinde bulunan ve Fethiye ile Balıkesir arasında yükselen tepeler, kumtaşı-çamurtaşı matriks ile bu matriks içerisinde yüzer konumlu olan rekristalize kireçtaşı bloklarının ağırlıklı olduğu yüzleklerden meydana gelir. İzmir-Ankara Zonu'na ait kayaçlar, Oligosen yaşlı Hallaçlar volkanitleri ve daha genç yaştaki volkano-sedimanter birimler tarafından açısal uyumsuzlukla üzerlenir.

Oligosen yaşlı **Hallaçlar volkaniti** HBFZ'nin en batı kesimleri boyunca Küçükdere, Eseler ve Topuzlar civarındaki yüksek ve sarp tepelerde yüzlek verir (Şekil 2.3). Bingöl vd. (1973) ile Akyürek ve Soysal (1980) tarafından genellikle yeşil, gri ve kahverengi renkli, andezit, tüf ve aglomeralardan oluştuğu belirtilen birim, Ercan vd. (1984) tarafından andezit, dasit, tüf ve silisifiye tüfler olarak vurgulanır. Duru vd., (2012) çalışmasında ise Hallaçlar volkanitleri yer yer alterasyona uğramış andezit, bazaltik andezitik lav ve bunların piroklastiklerden oluşan kayaçlar olarak tanımlanır. HBFZ boyunca gözlenen yüzleklerde yapılan arazi gözlemlerinde birimin aşırı alterasyona uğradığı gözlenir. Bu sebeple birim mostralarda beyaz, sarı, kahverengi ve kırmızı renkleri ile dikkat çeker. Birimin bozunmamış kesimlerinden alınan örneklerde andezitik bileşimi yansıtan mineral bileşimi izlenir ve hipokristalen porfirik dokulu olduğu gözlenir (Ercan vd., 1984; Duru vd., 2012). Krushensky (1976), Altunkaynak ve Genç (2008) ile Duru vd. (2012) tarafından yapılan radyometrik yaşlandırma

alışmalarında elde edilen 23.6–26.5 my yaş verileri Hallaçlar volkanitlerinin oluşumu ile ilişkili volkanizmanın Oligosen’ de etkin olduğunu göstermektedir. Birim Miyosen’ de gelişen daha genç bir volkanizma ile kesilerek uyumsuzlukla üzerlenir.

HBFZ kuşağı içerisinde batıdan doğuya doğru Küçükdere, Eseler, İvrindi, Gökçeyazı, Turplu, Ovacık, Fethiye, Balıkesir ve Ayşebacı civarında olmak üzere en geniş alanı kaplayan Miyosen yaşlı **Volkano-sedimanter kayaçlar** genel olarak asidik bileşimli lavlar, dayklar ve bunlarla ilişkili olan piroklastik kayaçlar ile eş yaşlı gölssel çökellerden oluşur. Bu kayaçlar Hallaçlar köyü ve İvrindi civarında grimsi beyaz renkli, bol kuvars ve biyotit mineralleri içeren dasitik lav ve piroklastiklerle temsil edilir. Bu alanda Hallaçlar volkanitlerini üzerlediğı gözlenen kayaçlar, Krushensky (1976) ile Benda vd. (1974) tarafından 19.5–20.3 my olarak yaşlandırılmıştır. Turplu ile Ovacık civarında yüzlek veren volkanik kayaçlar daha çok koyu gr ile koyu kahve arasında yer yer yeşilimsi ve turuncumsu renklere sahiptir. Andezit, dasit, bazaltik andezit bileşimindeki bu kayaçlar lav, dayk, dom ve bunlarla ilişkili piroklastikler ile simgelenir.

Altunkaynak ve Genç (2008)’e göre HBFZ çevresindeki Miyosen volkanizması 2 farklı evre içerir. İlk evre erken Miyosen’ deki granitik bir magmatizma ile bunun yüzeydeki eşleniklerini oluşturan bazaltik andezit, andezit, dasit ve trakiandezitlerden ibarettir ve Oligosen volkanizması üzerler niteliktedir. Kimyasal anlamda yüksek K ve şoşonitik bileşimi ile ayrımlaşır. Bu evreden elde edilen radometrik yaşlar 18.5 ile 21.3 my arasında yoğunlaşır (Krushensky, 1976; Ercan vd., 1995 ve 1998; Aldanmaz vd., 2000; Altunkaynak ve Genç, 2008). Ortaç alkalın bileşime sahip trakiandezit ve andezitlerle simgelen ikinci evre volkanizma 15.3 ile 16.8 my arasında gelişmiştir (Altunkaynak ve Genç, 2008). HBFZ boyunca bu volkanizmaya eşlik eden gölssel çökeller mevcuttur. Volkanizmanın tabanından en üst seviyelerine kadar gözlenebilen bu çökeller baskın olarak çakıltaşı, kumtaşı ve kilttaşları ile bunlarla yanıl düşey geçişli olan gölssel karbonatlardan oluşur.

Biga Yarımadası’nda çok geniş alanlarda yüzlekler veren, HBFZ boyunca ise Havran ve Balıkesirin doğusunda küçük yüzleklere sahip olan. Pliyo–Kuvaterner yaşlı **Bayramiç formasyonu** kendinden önce oluşmuş tüm birimler üzerinde uyumsuz olarak yer alır. Birim tabanda baskın olarak alüvyon yelpazesi ve örgülü akarsu

ortamlarını yansıtan çakıltaşı, kumtaşlarından yapılıdır. Üst kesimlerine doğru killi kireçtaşı mercikleri ile kıltaşı düzeyleri olağandır.

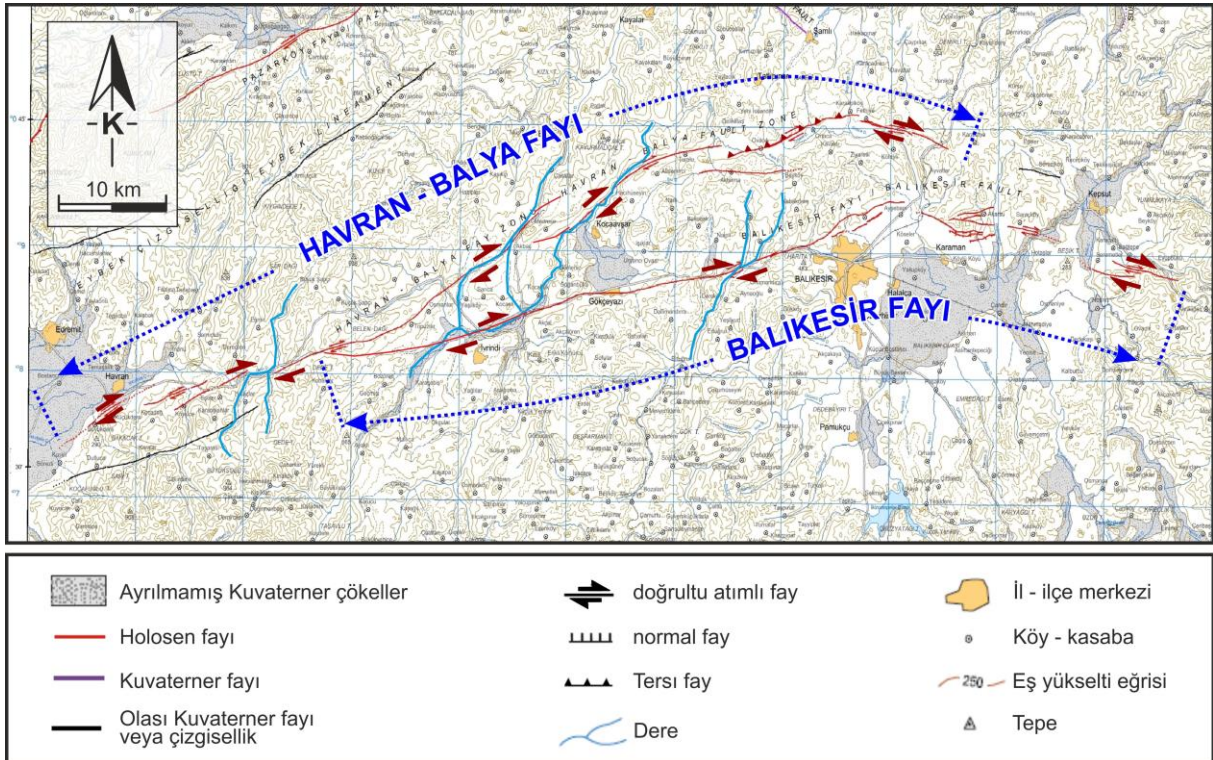
Holosen yaşlı **Alüvyal çökeller** HBFZ boyunca gelişen güncel drenaj ağının ürünlerini oluşturur. Özellikle Havran, İvrindi, Gökçeyazı ve Karaman civarında geniş yüzlekler veren bu birim baskın olarak; alüvyon yelpazesi, alüvyon düzlüğü ve güncel dere çökellerinden yapılıdır. Oluşumu HBFZ' ye ait fay parçaları tarafından denetlenen alüvyon yelpazesi çökelleri bu fayların göreceli düşen bloğu önünde gelişir. Genel anlamda kızılımsı turuncu renkte, bloktan kuma değişen tane boylarına sahip genelde kaba kırıntılı karasal tortullardan oluşur. Bu çökeller arazide aramadde ve yer yer tane destekli, zayıf boylanmış, az-ortaç yuvarlaklaşmış bloklu kaba çakıltaşı, çakıllı kumtaşı ve kaba kumtaşı olarak izlenir. Blok ve çakıllar egemen olarak kumtaşı, kireçtaşı ve volkanik kayalardan yapılıdır. Aramadde destekli çakıltaşlarının çakıl bileşenleri çeşitli olmasına karşın tane destekli çakıltaşları genellikle monojenik kökenlidir. Yelpaze çökelleri topoğrafyanın düzleştiği yerde yanal olarak alüvyon düzlüğü çökellerine geçiş yapar. Bunlar genellikle orta/ince kum ve çamurdan oluşur ve HBFZ boyunca doğrultuları baskın olarak KD–GB ve D–B olan büyük vadilerde gelişmiş dere çökelleriyle birleşirler. Bu dereler güncel kanal ve taşkın fasiyeslerinde çökelmiş ve çökelimlerine hala devam eden açık ve koyu grimsi alaca renkli kaba ve orta/ince kırıntılı tortullardan yapılıdır.

2.3.2. Fay Segment Özellikleri

Bu çalışma kapsamında HBFZ' yi oluşturan segmentler tanımlanırken bu fay zonu için MTA' nın 1/250.000 ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Balıkesir NJ-35-3 paftası (Emre vd., 2011) ve Duru vd. (2012)'nin bu Biga Yarımadası için oluşturduğu raporlardaki adlamalar kullanılmıştır. Bu bağlamda, Edremit ile Balıkesir arasındaki alanda haritalanan 2-5 km uzunluğa ve 100-120 genişliğe sahip, yaklaşık K70°D uzanımlı, kuzeybatı ve güneybatıya eğimli birçok fay parçasından oluşan ana yapı Havran–Balıkesir Fay Zonu (HBFZ) olarak isimlendirilmiştir (Duru vd. 2012). İyi gelişmiş bu fay zonu boyunca ana fay zonu örgüsü, hem arazide hem de topoğrafik haritalarda morfolojik olarak net bir şekilde izlenebilen en-echolon diziliimli tepeler ile karakterize olur (Şekil 2.4). Zon batıdan doğuya doğru; (i) Havran–Balya ve (ii) Balıkesir Fayı olmak üzere 2 ana faydan oluşur (Emre vd., 2011). Yaklaşık 90 km uzunluğundaki bir

Holosen Fayı olarak sınıflandırılmış olan Havran–Balya Fayı; (i) Havran, (ii) Osmanlar, (iii) Turplu ve (iv) Ovacık olmak üzere 4 fay segmentine ayrılır. Yaklaşık 65 km uzunluğa sahip olan ve yine Holosen fayı olarak sınıflandırılmış Balıkesir Fayı'nı oluşturan segment sayısı 2' dir ve batıdan doğuya doğru; (i) Gökçeyazı ve (ii) Kepsut Segmenti olarak isimlendirilmiştir.

Havran–Balya Fayı en batıda Küçükdere ve Hallaçlar köyleri arasında uzanan **Havran segmenti** ile başlar. Segment birbirine paralel/yarı paralel birçok fay parçasından oluşur. Harita ifadesinde, Edremit ovasının güney sınırı boyunca sağa sıçramalı bir geometri sunar (Şekil 2.4). Ana segment boyunca gözlenen bu fayların dışında bazı R' Riedel fayları olarak tanımlanabilecek sol yönlü doğrultu atımlı faylar da haritalanmıştır. HBFZ' nin batı segmenti olan Havran Segmenti Holosen yaşlı alüvyal çökeller ile daha yaşlı kayaları birbirinden ayırarak Edremit ovasının oluşumunu denetler. Morfolojik haritalar incelendiğinde bu oluşumu sağlayan ve Edremit ovasına dökülen vadi tabanlarında Havran segmenti boyunca sağ yönde ötelenmeler net bir şekilde gözlenir.



Şekil 2.4. Havran–Balıkesir Fay Zonu (Havran–Balya ve Balıkesir Fayları) ve yakın çevresinin 1/250.000 ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası' nın Balıkesir NJ-35-3 paftası üzerindeki konumu (Emre vd., 2011).

Doğuya doğru gidildikçe Havran segmenti Gelin Deresi boyunca büyük bir sağa sıçrama yaparak **Osmanlar segmenti**' ne geçer. Hallaçlar Köyü'nün kuzeyinde Osmanlar Segmenti' ne ait fay parçaları Oligo-Miyosen yaşlı volkanik kayalar keser ve yanal yönde öteleyerek Holosen yaşlı alüvyal çökeller ile yan yana getirir (Şekil 2.4). Biraz daha doğuya doğru gidildikçe KD uzanımlı Belen Tepesi'nin kuzeybatı ve güneydoğu yamaçlarını şekillendiren Osmanlar Segmenti'ne ait fay parçaları. Topuzlar ve Osmanlar yerleşimlerini kat ederek Kocaavşar Köyü civarında diğer bir büyük ölçekli sağ yönlü sıçrama ile Turplu segmentine geçer.

Turplu segmenti yaklaşık 15 km uzunluğunda, 1 km genişliğinde, KD gidişli ve Kocaavşar ile Turplu yerleşimleri arasında uzanan S şekilli bir fay zonudur (Şekil 2.4). Arazide ana yer değiştirme zonu olan Kocaçay Deresi'ne lokalize olmuş birçok R ve R' Riedel fay parçası gözlenebilir. Özellikle Oligo-Miyosen yaşlı volkanik kayalar ile Karakaya Kompleksine ait tortul kayalar iyi gelişmiş fay düzlemleri boyunca yoğun bir deformasyona uğramıştır. Bu segmentin ana KD gidişi arazide ve topoğrafik haritalarda belirgin bir şekilde izlenebilen fay sarplıkları, dağ önü çizgisellikleri, doğrusal/uzanımlı sırtlar, doğrusal vadi tabanları ve yükseltiler ile karakterize olur. Turplu yerleşiminin kuzeyine gelindiğinde segment önemli bir dönüş yaparak doğrultusunu K50°D'dan K80°D'ya değiştirir. Bu dönüşten sonra segment son bularak sağ yönde yaptığı bir sıçrama ile Ovacık segmenti olarak isimlendirilen bölüme geçer.

Havran–Balya Fayı'nın en doğu bölümü, baskın olarak K65°D' dan K80°B' ya değişen uzanımlara sahip sağ yönlü doğrultu atımlı fay setlerinden oluşan **Ovacık segmenti** ile karakterize edilir (Şekil 2.4). Saha verilerine göre bu segment Ovacık'ın batısında yaklaşık K70°D yönelim ile başlar ve Fethiye civarında K80°B doğrultusuna bükülür. Bu segmentin etkisi altında gelişen sağ yönlü ötelenmeler faya ulaştığında S şeklinde burkulan dere tabanlarında da belgelenmiştir. Fethiye çevresinde bu segment genel olarak KD-GB uzanımlı olan ve görece daha küçük ölçekli fay parçaları içerir. Bu noktada birkaç sağ sıçramadan sonra HBFZ kuzeye ve doğuya doğru daha fazla izlenemez.

Balıkesir Fayı' nın batı ucunu oluşturan 40-45 km uzunluğunda, 2-5 km genişliğinde ve K70°D yönelimli olan **Gökçeyazı Segmenti**, HBFZ' nin en önemli yapısı olarak göze

çarpar (Şekil 2.4). Bu segment yan yana dizili drenaj sistemleri, uzanımlı/yarı uzanımlı vadiler, burkulmuş vadi tabanları, uzamış tepeler ve taze fay yüzlekleri gibi sahip olduğu jeomorfolojik özellikler ile topografik haritalarda ve uydu görüntülerinde kolayca izlenebilmektedir. Drenaj ağları ve vadi tabanlarında izlenen KKD-GGB ve KKB-GGD yönelimler bu bölgedeki fayların ve ana çizgiselliklerin topografyadaki etkisini göstermektedir. Özellikle Gökçeyazı'nın batısında ve doğusunda Karakaya Kompleksi ve İzmir–Ankara Zonu kayaları ile Miyosen volkano-sedimanter kayalar arasındaki stratigrafik dokanaklar harita ifadesinde bu segment boyunca sağ yanal yönde belirgin bir şekilde ötelenmiştir. İvrindi'nin doğusunda birbirine paralel/yarı paralel ve yaklaşık $80^{\circ}\text{GD}'$ ya eğimli olan fay parçalarından oluşan Gökçeyazı segmenti Karakaya Kompleksi ve İzmir-Ankara Zonu'na ait kayalar ile Oligo-Miyosen yaşlı birimler ve Pliyosen yaşlı İlyasbaşı Formasyonu'nu keser ve yanal yönde öteler. Bu alandaki genç akarsuların aşındırdığı vadi tabanlarında Gökçeyazı segmenti boyunca gözlenen sağ yanal ötelenmeler, topoğrafik haritalar ve uydu görüntülerinde net olarak izlenebilmektedir. Bu noktadan sonra segment Koca Dere boyunca Kurçalı Tepe'nin kuzey yamacını şekillendirerek Balıkesir yerleşim alanına kuzeyden girer. Topografik haritalar ile uydu görüntülerinde Ayşebacı'nın kuzeybatısına kadar izlenebilen Gökçeyazı segmentine ait $K60-70^{\circ}\text{D}$ çizgiselliği bu alanda yaklaşık $K85^{\circ}\text{D}$ doğrultusuna bükülerek sağa yaptığı bir sıçrama ile Kepsut segmenti'ne geçer.

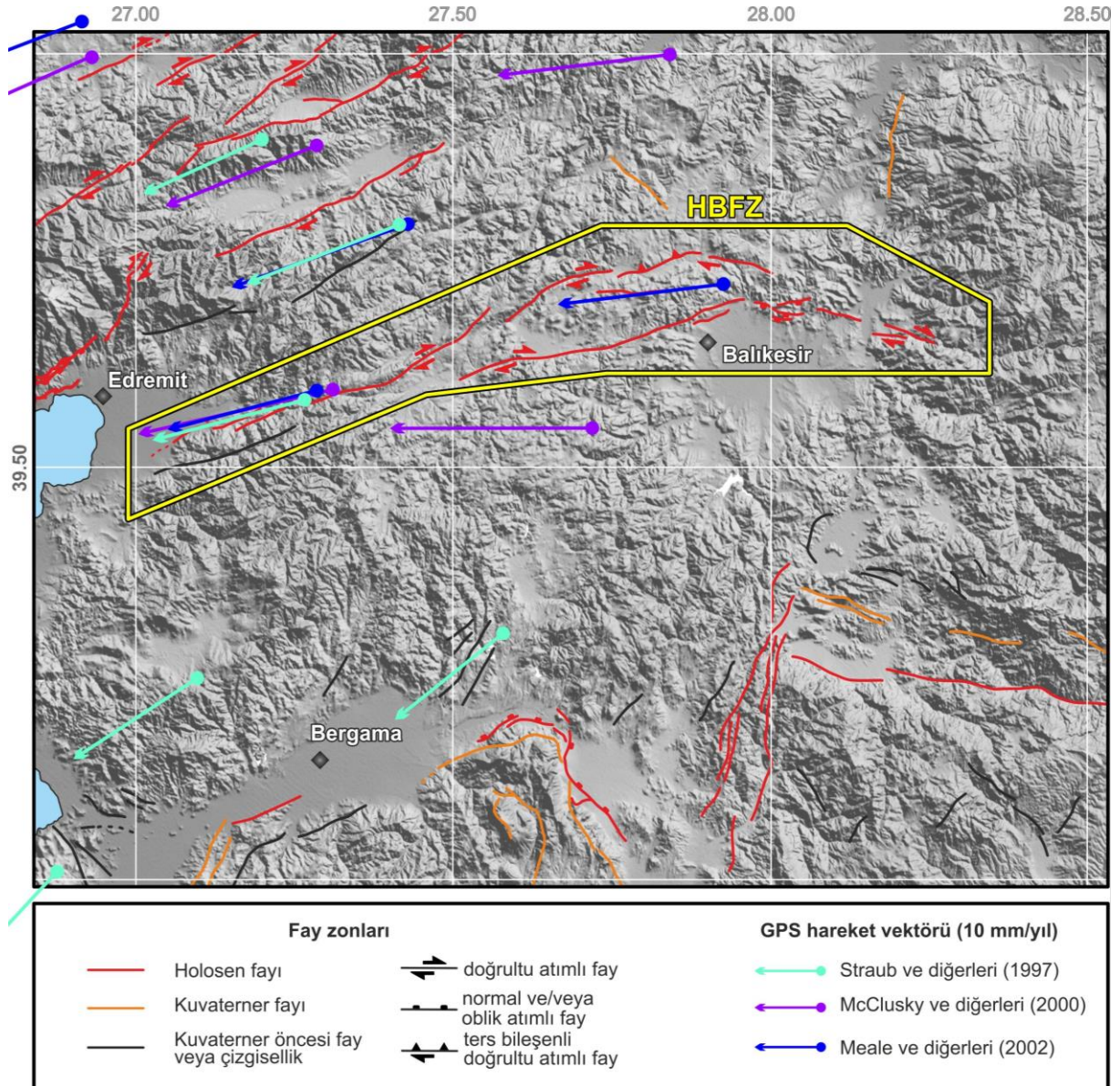
Ayşebacı ve Eyüpbükü köyleri arasında uzanan HBFZ'nin en doğu bölümü, en az 7 fay setinden oluşan, 25 km uzunluğa ve 1–3 km genişliğe sahip olan $K70^{\circ}\text{B}$ yönelimli Kepsut Segmenti ile karakterize edilir (Şekil 2.4). Bu fay parçalarının her biri en fazla 10 km civarında izlenebilmektedir. Kepsut segmenti Karaman'nın kuzeyindeki bölgede topoğrafyadaki ani kırılmalar şeklinde net bir şekilde izlenebilir. Bağlarbayırı Tepe'nin güneybatı yamacındaki Miyosen yaşlı volkano-sedimanter kayalar içerisinde segmente ait belirgin basamaklı yapılar saptanmıştır. Bu fay basamakları Ayşebacı'dan itibaren doğuya doğru dallar halinde ilerleyen ve güneye doğru eğimli olan fay parçalarının morfolojideki izlerini yansıtır. Kepsut'un kuzeyinde tekrar tek bir ana yer değiştirme zonuna lokalize olan segment Eyüpbükü'ne dek izlenebilir. Özellikle kuzeyden güneye doğru akan ana dere yataklarının Kepsut segmentine ait fay parçaları tarafından burkulduğu, yer yer sağ yanal yönde ötelendiği morfolojik olarak saptanmıştır. Eyüpbükü'nün hemen doğusunda İzmir–Ankara Zonu kayaları ile

Miyosen yaşı volkano-sedimanter kayaçlar arasındaki stratigrafik dokanağın harita ifadesinde sağ yanal yönde belirgin bir şekilde ötelendiği görülür. Harita ifadesinde sağ yanal doğrultu atımlı HBFZ' nin en doğu ucunda açılan Balıkesir ovasının, bu zonun eğim atımlı Kepsut segmenti tarafından kontrol edilen bir fay ucu havzası olarak geliştiği jeolojik ve morfolojik haritalardan izlenebilmektedir.

2.4. Jeodezik Bilgiler

Bölgesel ölçekte Türkiye ve yakın çevresinin bugünkü şeklini almasını sağlayan ana tektonik yapılar; sağ yönlü Kuzey Anadolu fay zone (KAF), sol yönlü Doğu Anadolu ve Ölüdeniz fay zonları ve güneyde Ege-Kıbrıs aktif dalma-batma zonudur. Bu yapılar boyunca Afrika ve Avrasya levhaları birbirine yaklaşırken, Anadolu levhası batı-güneybatıya doğru saat yönünün tersi yönde hareket eder ve böylece Afrika ve Arap levhaları; Ege yayı, Kıbrıs yayı ve Bitlis-Zagros suture zone boyunca Anadolu ve Avrasya levhalarının altına dalar (Şengör, 1979; Barka, 1999; Bozkurt, 2001). Özellikle Anadolu bloğunun batıya olan hareketi, bu hareketin Anadolu bloğu içerisindeki dağılımı ve güncel deformasyon alanları ile ilişkisini anlamak için birçok GPS çalışması gerçekleştirilmiştir (Kahle vd., 1998, 2000; Straub vd., 1997; Reilinger vd., 1996, 1997; McClusky vd., 2000; Aydan vd., 2000; Meade vd., 2002; Nyst ve Thatcher, 2004).

Anadolu bloğunun Avrasya'ya göre bağlı hareket vektörlerine bakıldığında KAF ve Doğu Anadolu Fay Zone boyunca GPS çalışmaları ile belirlenen hareketin en doğuda batıya doğru ve yaklaşık 15 mm/yıl olduğu; Marmara Bölgesi civarına gelindiğinde ise bu hareketin güneybatıya dönerek hızını yaklaşık 25 mm/yıl'a çıkardığı gözlenir (Kahle vd., 1995, 2000; Straub vd., 1997; Reilinger vd., 1997; McClusky vd., 2000). En güneyde, Hellenik Yay civarında ise bu hareket güneybatıya doğru 30 mm/yıl'ı geçmektedir. Anadolu bloğunun ana hareketini kompanse eden KAF ve Doğu Anadolu Fay Zone boyunca hesaplanan kayma hızları yaklaşık (sırasıyla) 25 mm/yıl ve 9 mm/yıl'dır (Reilinger vd., 2006; McClusky vd., 2000). Bu çalışma kapsamında incelenen HBFZ ve güney Marmara alanına bakıldığında hareket vektörlerinin gösterdiği ana yerdeğiştirmenin BGB yönünde olduğu görülmektedir (Şekil 2.5; Straub vd., 1997; McClusky vd., 2000; Meade vd., 2002).



Şekil 2.5. Balıkesir ve yakın çevresindeki diri fayların konumları ve bu bölge için elde edilmiş GPS hız vektörlerinin dağılımı (Straub vd., 1997; McClusky vd., 2000; Meade vd., 2002).

Yaklaşık D–B uzanımlı olan fay zonunun kuzey bloğunda konumlu olan GPS istasyonları Balıkesir’in hemen kuzeyindeki hareketin 258°’lik bir yön açısına sahip olduğunu ve yaklaşık yer değiştirmenin 20 mm/yıl olduğunu gösterir. Batıya doğru kuzey bloktaki bu hareketin 250°’ye dönüştüğü ve 25 mm/yıl olduğu birçok istasyon verisi ile saptanmıştır. HBFZ’ nun güneyinde konumlu olan birkaç GPS istasyonundan elde edilmiş veriler bu bloktaki hareket vektörlerinin yaklaşık 270° yön açısına sahip olduğunu belirtir. Bu alandaki batıya doğru olan yer değiştirme miktarı yaklaşık 30

mm/yıl'ı bulmaktadır. Fay zonunun kuzey bloğunda yer alan ve batı ile 20° açı yapan 25 mm/yıl'lık ana yer değiştirmenin batı bileşeni düşünüldüğünde yaklaşık 22 mm/yıl olduğu ve güney bloktaki batıya olan 30 mm/yıl yer değiştirme ile arasındaki yaklaşık 6 mm/yıl olan sağ yanal hareket farkının HBFZ tarafından kompanse edildiği söylenebilir. Kuzey ve güney bloklar arasındaki hareket yönlerindeki farklılık ise özellikle fayın büküm ya da sıçrama yaptığı sıkışmalı alanlarda (örn. Ovacık) fay zonu boyunca gelişen ters bileşenli hareket tarafından karşılanmaktadır (Şekil 2.5).

2.5. Güney Marmara Bölgesinin Sismotektoniği

Inceleme alanının içinde yer aldığı Güney Marmara bölgesi, gerek nüfus yoğunluğu gerekse sanayi alanlarının dağılımı göz önünde bulundurulduğunda Türkiye'nin en önemli bölgesidir. Dünyanın en aktif faylarından biri olan Kuzey Anadolu Fayı'nın bölgedeki varlığı, Marmara'yı deprem aktivitesi bakımından dünyada en çok araştırılan ve bilinen alanlardan biri haline getirmiştir. Antik çağlardan beri bölgede yerleşim alanları olması ve bu kentlerde yaşanan depremlerin kayıt altına alınarak arşivlenmesi de tarihsel deprem kataloglarının oluşturulmasına büyük ölçüde katkıda bulunmuştur. Depremselliği açısından değerlendirildiğinde Marmara bölgesi, Anadolu'nun diğer kalan kısmından farklı bir sismik karakter göstermektedir (Crampin & Evans, 1986). Bu çalışmacılar, bu farklı sismik özelliği nedeniyle bölgeyi ayrı bir tektonik ünite olarak Marmara bloğu şeklinde tanımlarlar. Eyidogan & Jackson (1985) ve Eyidoğan (1988) birleşmiş iç merkez tekniğinden yararlanarak yaptıkları çalışmalarda, bölgede gelişen depremlerin 10 – 15 km'den daha derin olmadığına işaret ederler. Bölgenin sismik aktivitesi ve dağılımının görülebilmesi adına proje kapsamında birçok deprem kataloğu taranmış ve bu depremler sayısal arazi modeli üzerine düşürülmüştür (Şekil 2.6). Marmara bölgesinde aletsel dönemde $4 \leq M$ büyüklüğüne sahip 500'ün üzerinde deprem meydana geldiği belirlenmiştir. İstatiksel olarak son yüzyılda 15 büyük deprem meydana getirmiş olan KAF'ın dünyanın en aktif fayı olduğu bilinmektedir. Bu depremlerin karadaki toplam yüzey yırtılmasının 1100 km'ye ulaştığı belirtilmektedir (Özalp vd., 2013). Bu 15 depremde $7 \leq M$ büyüklüğüne sahip, 1999 Düzce ve 2014 Gökçeada depremleri de dahil 6'sı Marmara bölgesinde uzanan parçalarda meydana gelmiştir. Bunun yanında, 1953 Yenice-Gönen depremi de güney kolda en son gerçekleşmiş olan 6 depremde en önemlisi olarak bilinir. Şekil 2.6'da bölgede aletsel

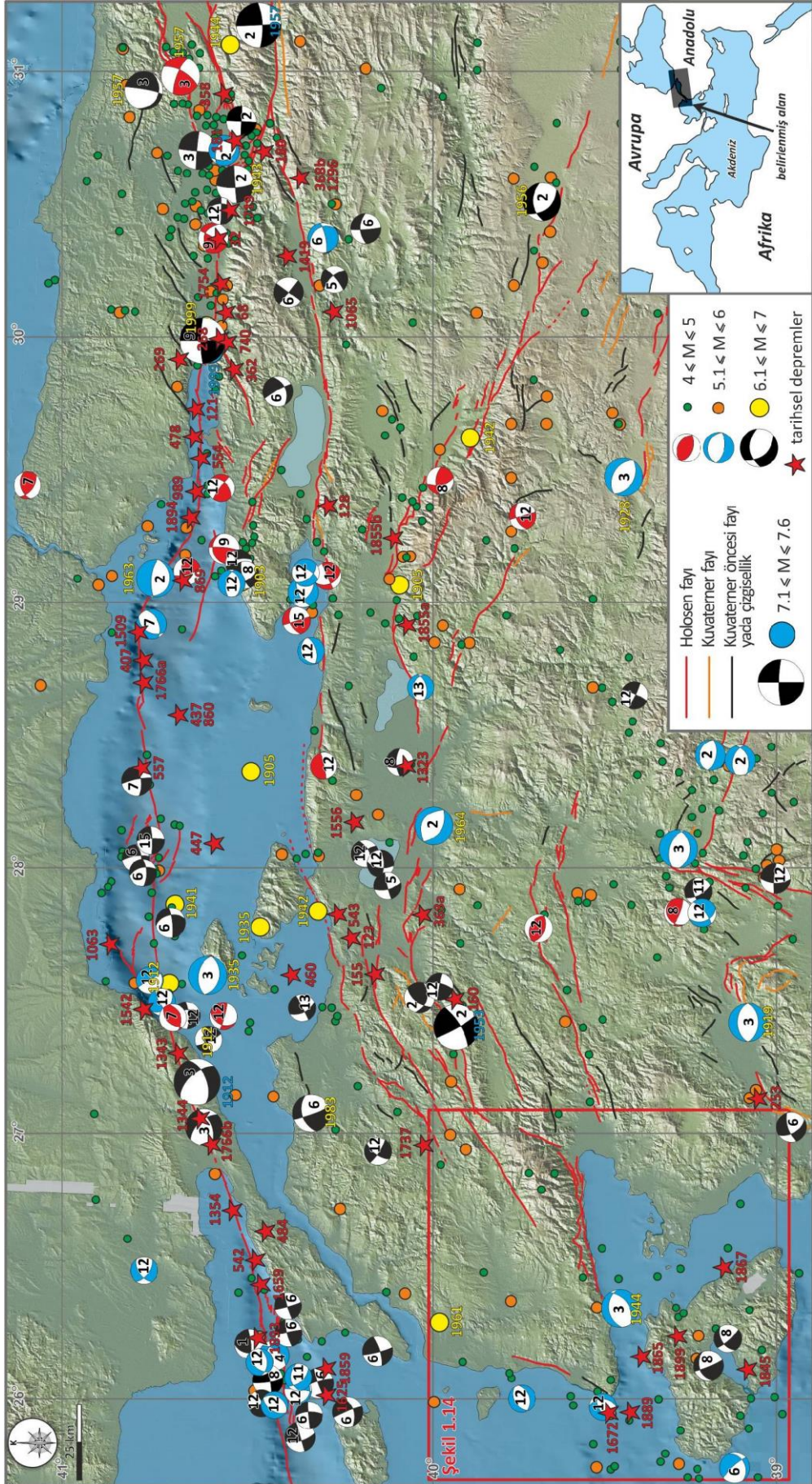
dönem içerisinde meydana gelmiş 4 ve üzeri büyüklüğe sahip olan depremlerden, 15 adet farklı katalogsal çalışma ve sismoloji merkezlerinden elde edilen veriler birleştirilmiş ve 102 adet çözümü olan deprem de şekil üzerine aktarılmıştır. Ters çözümler, bölgenin genel anlamda doğrultu atımlı bir deformasyon sonucunda şekillendiğini gösterse de, özellikle kuzey kolda ve bölgenin güneyinde normal faylanma mekanizmasının az da olsa güney kol üzerinde ters bileşenli deprem çözümlerinin de varlığı görülmektedir.

Tarihsel deprem kayıtlarına bakıldığında, Ambraseys & Finkel (1991), MS 1 ile MS 1899 arasında bölgede toplamda 600 civarında olay gerçekleştiğini fakat bunların 38'inin $7.0 \leq M$ olduğunu ve bölgeyi etkilediğini belirtmektedir. Tarihsel ve aletsel deprem kayıtlarının yaklaşık dağılımına bakıldığında KAF'ın kuzey kolunun aktivitesinin en yüksek olduğu görülmektedir. Orta koldaki deprem dağılımları ise en son depremlerin 1509 ve 1766 yılında gerçekleştiğini, 200–250 yıllık dönüş periyotları olduğu düşünüldüğünde bu alanın bir sismik boşluk olarak değerlendirilmesi gerektiği görülmektedir (Ambraseys, 2002). Bohnhoff vd., (2013) aynı zamanda bu boşluğun doğu ucundaki mikro depremleri değerlendirdiği çalışmasında, 30 km uzunluğunda ve 10 km derinliğindeki bir asismik zonun varlığını tanımlar. Aynı alanda Ergintav vd., (2014) 20 yıllık GPS verilerini değerlendirmiş ve diğer kolların hızlarına göre buradaki hızların çok daha yavaş geliştiğini belirlemiştir.

2000 yıllık deprem kayıtları değerlendirildiğinde KAF üzerindeki deprem tekrarlama periyotlarının benzer olduğu dikkat çekicidir (Ambraseys, 1988, 2002; Ambraseys & Finkel, 1991; Şengör vd., 2005). KAF'ın kuzey kolundaki paleosismolojik çalışmalar ise yüzey yırtılmasıyla gerçekleşen depremlerin dönüş periyotlarının 150–300 yıl arasında olduğunu göstermektedir (İkeda vd., 1991; Rockwell vd., 2001 ve 2009; Hartleb vd., 2003 ve 2006; Kozacı vd., 2009 ve 2011; Özaksoy vd., 2010). Güney kolda ise az sayıda paleosismolojik çalışma bulunmasına karşın. Özalp vd. (2013) büyük depremlerin dönüş periyotlarının düzensiz olduğunu fakat en az kuzey kolda gelişmiş depremlerin büyüklüklerine yakın depremlerin güney kolda da gerçekleşmiş olması gerektiğini bildirmektedir.

Bu bölümde Havran-Balıkesir Fay Zonu ve yakın çevresinde meydana gelmiş tarihsel/aletsel depremler harita ve tablolar halinde verilerek olasılıkla bu fay zonu üzerinde gerçekleşmiş depremler ayrı ayrı irdelenecektir.

Edremit–Balıkesir–Bergama alanı ve yakın çevresine ait tarihsel dönem depremleri incelenirken, önceki yıllarda hazırlanan rapor, katalog ve derlemelerden yararlanılarak tüm deprem kayıtları taranmış ve tespit edilen deprem kayıtlarından 5 ve üzeri şiddetteki depremler değerlendirilmeye alınmıştır. Yapılan değerlendirme sonucu proje alanı ve çevresinde M.S 160 ile MS 1898 yılları arasında meydana gelen 10 adet tarihsel, 22 adet aletsel dönem deprem tespit edilmiştir. Tarihsel dönem depremlerden bazıları için çalışmalarda benzer lokasyonlar önerildiği görüldüğünden belirlenen 10 deprem için önerilen lokasyon sayısı 9 olarak kayıtlara geçmiştir. Bölge için öngörülen/saptanan tüm önemli deprem lokasyonlarının coğrafik dağılımları Şekil 2.7’ te verilmiş olup, tarihsel döneme ait lokasyonlarda meydana gelen depremlerin kataloglardaki özellikleri ve hangi kaynaklardan yararlanılarak elde edildiği ise Tablo 2.1’ de sunulmuştur.



Şekil 2.6. Marmara Bölgesinin sismotektonik haritası. Neotektonik döneme ait yapısal veriler Maden Tetkik Arama Müdürlüğü, Türkiye Diri Fay Haritaları Serisi (Emre, 2010; Emre & Doğan, 2010; Emre, Duman, & Özalp, 2011a, b and c) birleştirilerek alınmıştır. Marmara Denizi'ndeki aktif faylar Le Pichon vd., 2001; Armijo vd., 2002; Cormier vd., 2006'dan yararlanılarak oluşturulmuştur. Aletsel depremlerin büyüklük ve dış merkez lokasyonları ISC (International Seismological Centre), USGS-NEIC (United States Geological Survey National Earthquake Information Center), KOERI (Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute) ve Tan vd., 2008'den alınmıştır. Bölgeyi etkileyen tarihsel depremlerin ($6.8 \leq M$) yaklaşık lokasyonları Ambraseys & Finkel, 1991, Ambraseys, 2002, Shebalin vd., 1974 ve Pınar & Lahn, 1952'den birleştirilerek oluşturulmuştur. Odak Mekanizma çözümü olan depremler ise (1) Canitez & Toksöz, 1971, (2) McKenzie, 1972, (3) Euro-Med Seismological Centre (EMSC), (4) McKenzie, 1978, (5) United States Geological Survey National Earthquake Information Center (USGS-NEIC), (6) Harvard Centroid-Moment Tensor Project CMT (HRV), (7) Kalafat, 1989, (8) Kalafat, 1998, (9) Taymaz, 1999, (10) Tibi vd., 2001, (11) Tan & Taymaz, 2004, (12) Kalafat vd., 2009, (13) KOERI, (14) Altınok vd., 2012a (15) Republic of Turkey Prime Ministry Disaster & Emergency Management Presidency-Earthquake Research Department (AFAD-ERD)'den alınmıştır.

2.5.1. Tarihsel Dönem Depremleri

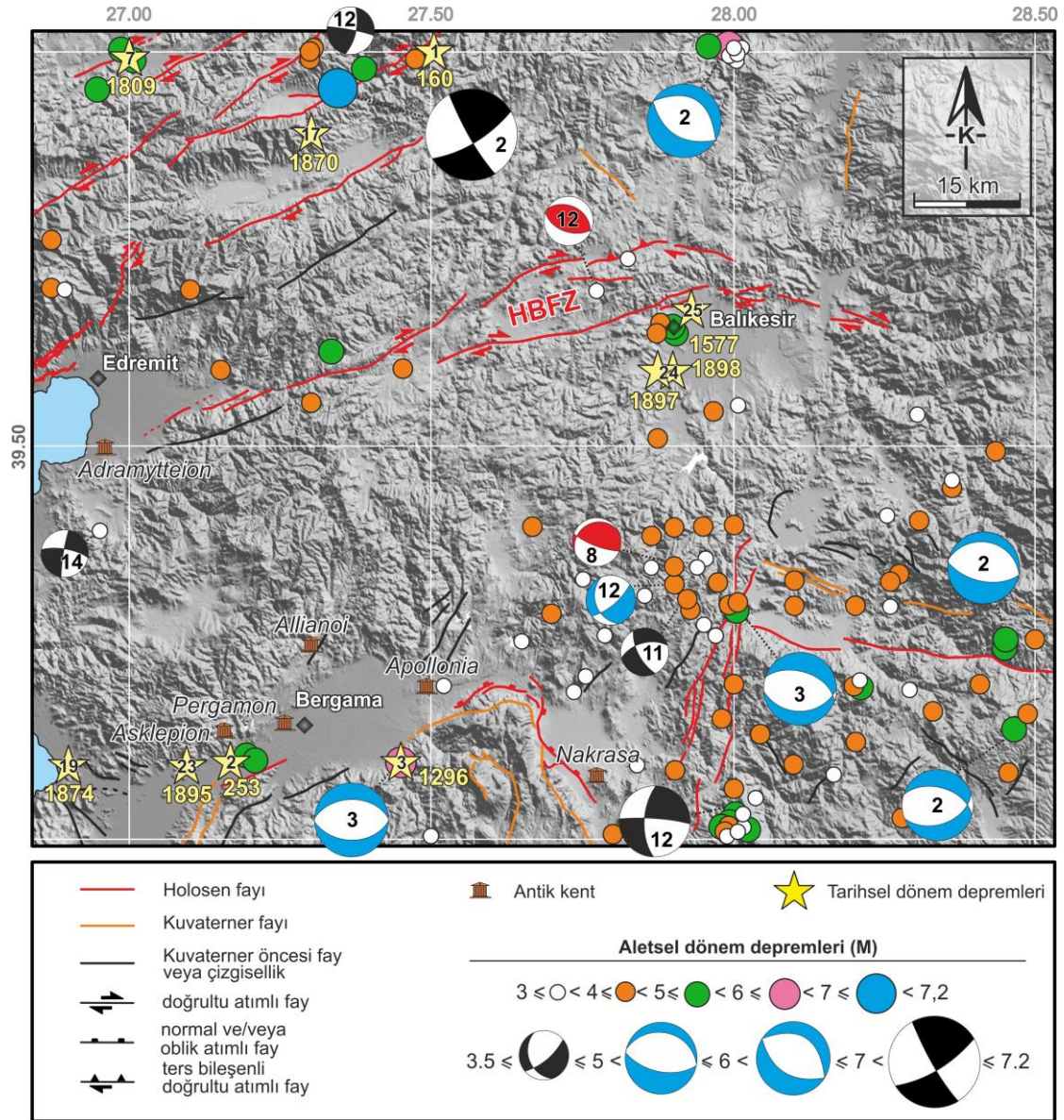
Güney Marmaranın tarihsel deprem kayıtlarına bakıldığında, Ambraseys & Finkel (1991) tarafından MS 1 ile MS 1899 yılları arasında 600' ün üzerinde sismik olayın gerçekleştiğini fakat bunların 38'inin büyüklüğünün 7.0' den büyük olduğunu ve bölgeyi etkilediğini belirtilmiştir. Bu proje kapsamında Pınar ve Lahn (1952), Ergin vd. (1967), Öcal (1968), Shebalin vd. (1974), Ambraseys ve Finkel (1991), Ambraseys ve Jackson (2000) ile Ambraseys (2002) gibi çalışmalar taranarak büyüklüğü $6 \leq M$ olan 10 tarihsel olay belirlenmiş, bu depremler için belirtilen yaklaşık dış merkez bilgileri Şekil 2.7 üzerine aktarılmıştır.

Tarihsel döneme ait deprem kayıtlarında Balıkesir ve yakın çevresini etkileyerek yıkıma sebebiyet vermiş 3 önemli deprem göze çarpar. Bu sarsıntılardan kronolojik olarak ilk deprem 21 Eylül 1577 depremidir. Çoğu katalogta bulunmayan fakat Ambraseys &

Finkel (1995)' de verilen bu depremin ayrıntıları aynı tarihte Balıkesir kadısına yazılan bir mektuptan yola çıkarak verilmektedir. Bu mektubun bir bölümünün çevirisi Erdogan (1968)'da verilmektedir. Zelzele birçok evin yıkılmasına neden oldu, şehir merkezi ve köylerde insanlar öldü. Zağanos Paşa Camii' nin minberi, destekleri ve iki harim kubbesi ile beş avlu kubbesi tahrip oldu. Bu tahribat öylesine fazladır ki yeniden yapılması gerekiyor. Minarenin şerefesi ile mermer sütunlar koptuğu için, insanlar onarım işlemlerini yapamıyor. İmaretin ahırının bir tarafı tamamen çöktü ve türbesinin kubbesi çatladı. Yıldırım Han Camii harabeye döndü, minaresi çöktü tamirat için büyük masraf gerekiyor. Bazı mescitler ve muallim mektepleri çökerek kullanılmaz hale geldi. Kennte ve köylerde 40 kişi hayatını kaybetti. Bu mektup açık bir biçimde yıkımın fazla olduğunu belirtirken, yıkımın daha çok şehir merkezinde yoğunlaşması da dikkat çekicidir.

Tablo 2.1. Biga ve yakın çevresinde gerçekleşmiş önemli tarihsel dönem depremler, bu depremlerin yaklaşık lokasyonları, etkiledikleri başlıca alanlar ve bu depremlerin alındıkları kaynaklara ait referanslar.

No	Lokasyon (Şekil 2.15)	Tarih	Kordinat Lat. (N)- Long.(E)	Etkilenen Yerleşim Yerleri	Io / M	Referanslar
1	1*	160	40.00/27.50	Yenice Gönen Biga	M: 7.1	Ambraseys, 2002
2	2*	253	39.10/27.15	Bergama ve Yöresi	IX	Ergin ve diğ., 1967
3	3*	17.07.1296	39.10/27.45		?	Ergin ve diğ., 1967
4	25*	21.09.1577	39.70/27.70	Balıkesir	?	Ambraseys & Finkel, 2006
5	7*	07.02.1809	40.00/27.00		?	Ambraseys & Jackson, 2000
6	9*	12.05.1826	39.10/26.50	Midilli ve İzmir	VI	Ergin ve diğ., 1967
7	17*	10.08.1870	39.90/27.30	Balıkesir ve Çanakkale	VII	Ergin ve diğ., 1967
8	19*	18.11.1874	39.10/26.90	Dikili, İzmir, Midilli	VI	Öcal, 1968
9	23*	14.11.1895	39.10/27.10	Bergama	VIII	Shebalin ve diğ., 1974
10	24*	?12.1897	39.60/27.90	Balıkesir ve çevresi	VIII	Shebalin ve diğ., 1974
11	24*	28.02.1898	39.60/27.90	Balıkesir ve çevresi	VIII	Öcal, 1968



Şekil 2.7. Havran-Balıkesir Fay Zonu ve çevresinin sismotektonik haritası. Neotektonik döneme ait yapısal veriler Duru vd. (2012) Raporu, 1/250.000 ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası' nın Balıkesir NJ-35-3 paftası (Emre vd., 2011) ve bu çalışma kapsamında elde edilen saha verilerinden birleştirilmiştir. Aletsel dönem depremler ISC, USGS-NEIC, KOERI' den derlenmiştir. Odak Mekanizma çözümlerinin referans açıklamaları: (2) McKenzie (1972), (3) Euro-Med Seismological Centre (EMSC), (8) Kalafat (1998), (11) Tan ve Taymaz (2004), (12) Kalafat vd. (2009)' dan alınmıştır. Bölgeyi etkileyen tarihsel dönem depremler ise Salomon-Calvi (1941), Pınar ve Lahn (1952), Ergin vd. (1967), Öcal (1968), Shebalin vd. (1974), Soysal vd. (1981), Ambraseys ve Jackson (2000), Ambraseys (2002) ile Ambraseys ve Finkel (2006)' dan derlenmiştir.

Şehir merkezini etkilemiş diğer önemli depremler ise 1897 ve 1898 depremleridir. Bu depremlerden 29 Ocak 1898 depremi ile ayrıntılı bilgi tarihsel kayıtlarda mevcuttur. Bu deprem Koca Zelzele olarak bilinir (Yazıcı, 2003). Ramazan ayının ilk haftasının Cumartesi günü meydana gelmiş olan depremin öncesinde 3–4 saat öncesinde meydana gelmiş küçük öncü depremler, halkı sokağa dökmüş ve böylelikle can kaybını azaltıcı bir etki sağlamıştır. Kent arşivinden 51 binanın orta ve ağır derecede hasar gördüğü belirlenmektedir (Yazıcı, 2003). Ölü sayısı hakkında her hangi bir sayısal veri olmamasına karşın yazar, sayının yıkıma göre azlığının öncü şoklara bağlı olduğunu ifade etmektedir.

2.5.2. Aletsel Dönem Depremleri

Elde edilen verilere göre, devam eden aletsel dönem içinde Biga Yarımadası ve çevresinde, 3.0–4.0 aralığında 84 deprem, 4.0–5.0 aralığında 114 deprem, 5.0–6.0 aralığında 30 deprem, 6.0–7.0 aralığında 4 deprem ve 7.0–7.5 aralığında ise 3 olmak üzere toplam 232 deprem meydana gelmiştir. Bu veriler içerisinde HBFZ ve çevresindeki deprem aktivitesine bakıldığında magnitüdü 5' ten büyük olan 22 adet deprem meydana geldiği görülmektedir (Şekil 2.7). Bu depremlerden HBFZ' nin kuzeyinde konumlanmış olan Yenice–Gönen ve Manyas Depremleri ile güneyinde meydana gelmiş olan Bergama Depremi dışında her hangi birinin hasara veya can kaybına sebebiyet verdiği bilinmemektedir. Sismolojik kayıtlar incelendiğinde 1953 yılında meydana gelen ve $M_s=7.2$ büyüklüğündeki Yenice–Gönen Depremi için ana kayma düzleminin konumu $150^\circ/84^\circ$ olarak verilmekte, kayma vektörünün ise yatay düzlem ile 14° açı yaptığı belirtilmektedir (McKenzie, 1972). 1964 yılında kayıtlara geçmiş olan Manyas Depremi $M_s=6.2$ büyüklüğündedir ve kırılan fay düzlemi $122^\circ/54^\circ$ konumludur (McKenzie, 1972). Bu düzlem boyunca gelişen kayma vektörünün yerçekimi yönünde olduğu ve yatay düzlemle 90° açı yaptığı hesaplanmıştır. $M_s=6.8$ büyüklüğündeki Bergama Depremi ise 1919 yılında meydana gelmiş ve toplanan sismik verilere göre $270^\circ/45^\circ$ konumlu olan bir fay düzlemindeki yaklaşık 90° lik eğim atımlı bir kırılmanın sonucu olarak gerçekleşmiştir (EMSC). HBFZ boyunca kayıtlanan depremlerden sadece 29.09.2007 tarihli olanına ait deprem odak çözümü bulunmaktadır (Şekil 2.7). Kalafat vd. (2009)' da verilen ters faylanmayı karakterize eden çözüm dikkat çekicidir.

3. JEOMORFOLOJİK YERDEĞİŞTİRME ÖLÇÜMLERİ

Yüzey bulguları kapsamında arazi çalışmaları ve toğografik haritalar ile uydu görüntülerinden saptanan ve fayların genç dönem aktivitelerini belgeleyen jeomorfolojik ötelenmeler aşağıda hem harita (Şekil 3.1) ve hem de tablo halinde (Tablo 3.1) verilmiştir.

HBFZ' nin en doğu bölümü olan Havran segmenti boyunca gözlenen en genç çökeller olan alüvyon yelpazelerinde belirgin fay sarplıkları gözlenmiştir. Bu sarplıklar boyunca fay düzleminin kuzey bloğu morfolojik olarak aşağıdadır ve bu durum fayın eğim atım bileşeninden kaynaklanmaktadır. Segmentin baskın olan sağ yanal bileşenini ise, Havran ile Eseler arasındaki sağ yönde ötlenmiş sırtlar ve vadiler yansıtır. Bunlardan Havran civarındakiler arazi gözlemleri ile saptanmış ve yanal yönde 2–20 m olarak not edilmiştir. Eseler' e doğru gidildikçe bu yanal ötlenemenin dereceli bir şekilde arttığı gözlenir. Güneye akan Mezarlık deresi boyunca ölçülen sağ yanal ötlenme yaklaşık 700 m, daha doğudaki kuzeye drene olan Çakmak Deresi boyunca ölçülen ötlenme ise topografik haritalardan 875 m olarak ölçülebilmektedir.

HBFZ' nin merkez bölümünü oluşturan Turplu ve Gökçeyazı segmentleri zonun yaklaşık D–B doğrultusundan KD'ya bükülmüştüğü alanı nitelerler. Özellikle doğrultu atımlı fay geometrisine sahip olan Turplu segmenti boyunca izlenebilen sağ yanal ötlenmeler oldukça belirgindir. Kocaavşar'ın batısında bulunan ve Karakaya Kompleksi'ne ait kaya birimleri boyunca güneydoğuya doğru akan Karaağaç Deresi Turplu segmentinin kolları tarafından yaklaşık 75 m sağa ötlenmiştir. Bu ötlenme hemen paralelindeki birçok vadi tabanında da net bir şekilde 50 ile 100 m arasında değişen miktarlarla izlenebilmektedir. Bu bölümdeki en belirgin morfolojik kırılma bölgedeki en yaşlı vadilerden biri olan Kocaçay Deresinde gözlenir. Turplu segmenti boyunca kuzeye doğru drene olan bu dereye ait vadi sağ yönde yaklaşık 9.8 km dirseklenir. Fay zonunda kurtulan kısmı çıkarıldığında bu hareketin 4.2 km' sinin fayın yanal atımı ile karşılandığı söylenebilir. Kocaçay Deresi daha güneyde Gökçeyazı segmenti tarafından yine sağ yanal yönde belirgin bir şekilde ötlenir. Ötlenme miktarında benzer bir ilişki gözlenen bu noktada, topografik haritalar ve uydu görüntüleri incelendiğinde segment boyunca 5.2 ile 9.3 km' lik sağ yanal yer değiştirme hesaplanır. Emre vd. (2011) tarafından Turplu segmenti için rapor edilen bu ötlenme

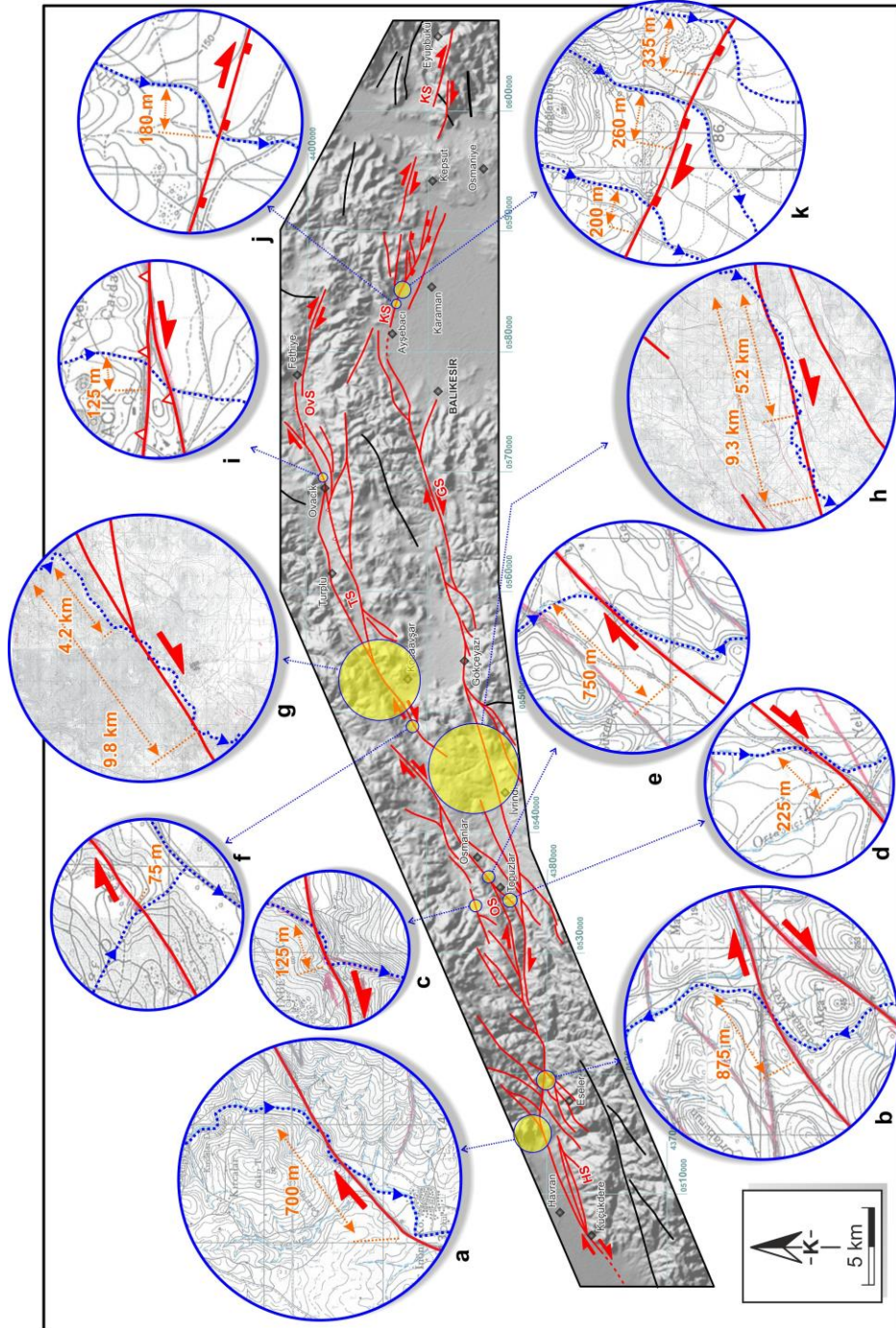
miktarlarından, bölgedeki drenaj ağlarının Pliyosen’ de gelişmeye başladığı ve segment boyunca gözlenen diğer morfolojik gözlemler düşünüldüğünde, yaklaşık 4.5 km’ lik sağ yanal ötelenmenin bu segmentten kaynaklandığı yorumlanmıştır.

Tablo 3.1. Havran–Balıkesir Fay Zonu boyunca elde edilen jeomorfolojik yer değiştirme verilerine ait detaylı bilgiler.

Segment	Dere	Atım (m)	Atım Yönü	Pafta	Koordinat
KEPSUT	Çınarlı	180	Sağ	İ19-C2	84-85,92-93
	Kızılyar	200	Sağ	İ19-C2	85-86,91-92
	Koğuk	260	Sağ	İ19-C2	85-87,91-92
	Kızılkaya	335	Sağ	İ19-C2	85-87,91-92
OVACIK	Arap	125	Sağ	İ19-C1	68-69,98-99
GÖKÇEYAZI	Kocaçay	5200	Sağ	İ19-D2	62-64,87-89
TURPLU	Karaağaç	75	Sağ	İ19-D1	50-51,91-92
	Kocaçay	4200	Sağ	İ19-D2	54-55,94-95
OSMANLAR	Ağıl	750	Sağ	İ18-C2	39-40,87-89
	Kızılçubuk	500	Sağ	İ18-C4	27-28,81-82
	Fay	525	Sağ	İ18-C3	32-34,85-86
	İnerpınar	125	Sol	İ18-C3	37-38,84-85
	Karahisar	625	Sağ	İ18-C4	22-24,84-85
	Nazpirin	125	Sağ	İ18-C3	37-38,85-86
	Karacaören	500	Sağ	İ18-C4	27-28,81-82
	Günbürdek	225	Sağ	İ18-C3	34-35,82-83
	Armutlu	750	Sağ	İ18-C3	35-36,82-85
HAVRAN	Badi-Mezarlık	700	Sağ	İ18-D3	13-15,82-83
	Çakmak	875	Sağ	İ18-D3	18-19,80-78

Osmanlar segmenti boyunca ana litolojiyi Oligo–Miyosen yaşlı volkanitleri ile Karakaya Kompleksine ait kayaçların oluşturduğu fay zonuna doğru akan vadilerden Salman, Karalar ve Koçan Dereleri boyunca 100 ile 500 m arasında değişen miktarlarda sağ yanal ötelenmelerin gözlemlendiği rapor edilmiştir (Emre vd., 2011). Bunlara ek olarak İnerpınar, Günbürdek ve Ağıl Derelerinin Osmanlar segmentine ait fay parçaları ile bulunduğu noktalarda, sırasıyla; 125, 225 ve 750 m’ lik sağ yanal ötelenmelerin gerçekleştiği saptanmıştır. Ana yer değiştirmenin sağ yanal bileşenli ters faylar tarafından karşılandığı Ovacık segmentinde birbirine paralel ve kavisli fay sarplıkları arazide net bir şekilde izlenir. Özellikle faya dik olarak gelişen vadi tabanlarında Miyosen yaşlı volkanik kayaçların Holosen yaşlı alüvyal çökellerin üzerine itildiği

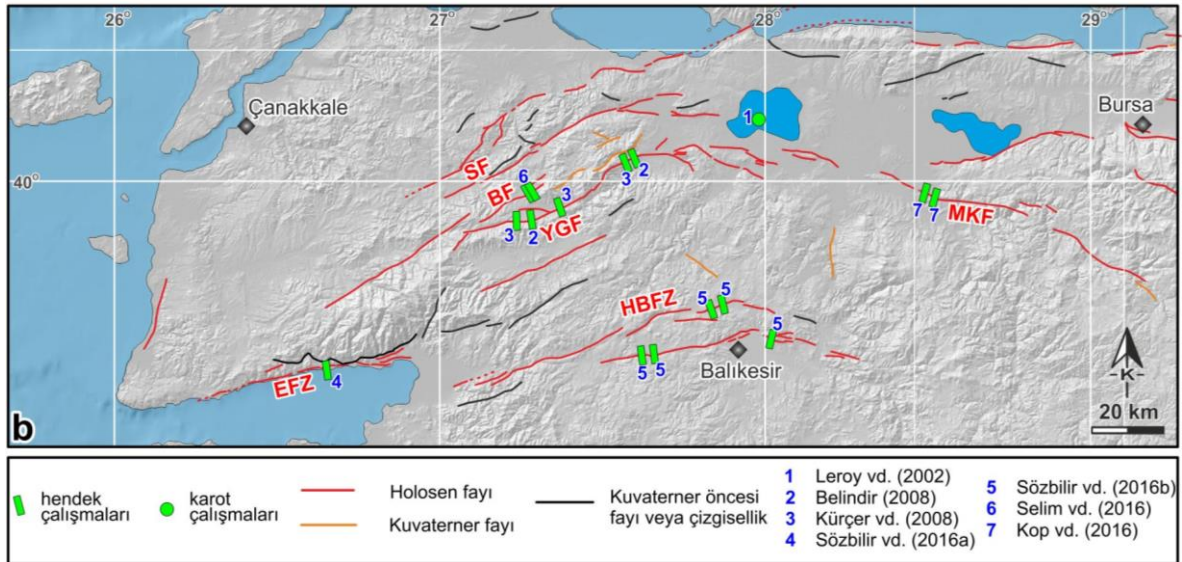
gözlenmekte, Arap Deresinde olduğu gibi, sağ yanal yer değiştirmenin ise yer yer 125 m'yi bulduğu gözlenmektedir. Emre vd. (2011) tarafından bu bölgede yapılan morfolojik gözlemlerde 2–25 m arasında değişen sağ yanal ötelenmeler rapor edilmiştir.



Şekil 3.1. Havran–Balıkesir Fay Zonu’ nu boyunca gözlenen çizgisellikler ve elde edilen ötelenme miktarlarından bazılarını gösteren topografik haritalar. HS: Havran Segmenti, OS: Osmanlar Segmenti, TS: Turplu Segmenti, OvS: Ovacık Segmenti, GS: Gökçeyazı Segmenti, KS: Kepsut Segmenti.

4. PALEOSİSMOLOJİK BULGULAR

Şu ana kadar Marmara güneyinde TÜRKPAP projeleri kapsamında Edremit Fay Zonu (Sözbilir vd. 2016a), Havran Balıkesir Fay Zonu (Sözbilir vd., 2016b ve Sümer vd., 2018), Mustafakemalpaşa Fayı (Kop vd., 2016) ve Bekten Fayı'na (Özalp vd., 2016) ait hendek tabanlı paleosismolojik çalışmaların sonuçları uluslararası dergilerde yayımlanmış, bu proje dışında Yenice Gönen Fayı üzerinde yapılmış olan Kürçer vd. (2008) ve Belindir (2008) ile Manyas gölündeki genç sedimanlardan elde edilen Leroy vd. (2002)'nin verileri bölgede yapılan yaş analizine dayalı paleosismolojik çalışmaları oluşturmuştur (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Güney Marmara bölgesinde yayımlanmış paleosismolojik çalışmaların dağılımı. Şekil Sözbilir vd. (2016a)'dan alınarak derlenmiştir. Diri faylar, MTA Diri Fay Haritaları serisi Çanakkale, Ayvalık, Balıkesir, Bandırma ve Bursa paftalarından (sırasıyla Emre, 2010; Emre & Doğan, 2010; Emre vd., 2011a; Emre vd., 2011b; Emre vd. 2011c) alınmıştır. SF: Sarıköy Fayı, BF: Bekten Fayı, YGF: Yenice Gönen Fayı, EFZ: Edremit Fay Zonu, HBFZ: Havran Balıkesir Fay Zonu, MKF: Mustafakemalpaşa Fayı.

Havran-Balıkesir Fay Zonu boyunca yapılan paleosismoloji çalışmaları, bu fay zonlarına ait segmentlerin tarih öncesi, tarihsel ve aletsel dönemde bölgede meydana gelen ve yüzey kırığı oluşturan depremlerden sorumlu olduklarını ortaya çıkarmıştır.

Balıkesir Fayı' na ait Gökçeyazı segmeni üzerinde açılan Güngörmez ve Dede Hendeği (Şekil 4.1), bu segmentin MÖ yüzey faylanmasıyla sonuçlanmış depremler ürettiğini ve fakat MS döneminde henüz kırılmadığını göstermektedir. Özellikle Güngörmez hendeği içerisinde elde edilen veriler, MÖ 850±50' ye kadar 4 paleodepremin geliştiği saptanmıştır. Bu depremlere göre fayın deprem tekrarlama aralığı yaklaşık 1000 yıl olarak kabul edilmiştir. Buna göre, fayın MS dönemde deprem ürettiğine dair herhangi bir sismolojik kayıt olmadığından, bu faydan kaynaklanan son depremin üzerinden 2000 yıl gibi uzun bir süre geçtiği anlaşılmaktadır. Hendeği verileri ayrıca Dede hendeğindeki fay kolunun Güngörmez Hendeğindeki fay koluna göre daha yaşlı olduğunu göstermektedir. Gökçeyazı segmenti diri bir fay olup yaklaşık 40 km boyuca takip edilebilmektedir. Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülüne göre, Gökçeyazı segmentinden kaynaklanacak en büyük depremin moment büyüklüğü $M_w = 6.95$ 'dir.

Şimdiye kadar yapılan yaş-tabanlı paleosismolojik çalışmalarda Fay zonları boyunca toplam 5 hendeği çalışması yapılmıştır (Sözbilir ve diğ. 2014). Hendeği verileri HBFZ içindeki Kepsut, Gökçeyazı ve Ovacık segmentlerinin ortalama 1000 yıllık bir deprem tekrarlama aralığına sahip oldukları görülmektedir. Bu sonuca göre, Gökçeyazı segmenti üzerinde yakın gelecekte yıkıcı bir deprem beklenmektedir. Jeomorfolojik veriler ve hendeği duvarlarındaki atım değerleri birlikte değerlendirildiğinde segmentlerin ortalama 1–1.5 mm/yıl kayma hızına sahip oldukları hesaplanmıştır.

Tablo 4.1. Paleosimolojik hendeği çalışmalarının ayrıntıları. HBFZ: Havran–Balıkesir Fay Zonu; GS: Gökçeyazı, OS: Ovacık, KS: Kepsut Segmenti (Sözbilir vd. 2014).

HENDEK	FAY ZONU	SEGMENT	OLAY SAYISI	İLİŞKİLİ DEPREMLER
Dede	HBFZ	GS	4	MÖ 6420–MÖ 5319
Güngörmez	HBFZ	GS	3	MÖ 4445–4420; MÖ 1175–925
Ovacık 1	HBFZ	OS	2	MS 160 veya 253; MS 1296
Ovacık 2	HBFZ	OS	2	MS 1296
Ayşebacı	HBFZ	KS	3	MS 1897/1898

Havran-Balıkesir Fay Zonu içerisinde yer alan Balıkesir Fayı'na ait Kepsut Segmenti üzerinde açılan Ayşebacı hendeği, M.S. yüzey faylanması ile sonuçlanan üç olayın

varlığına işaret eder. Bunlardan sonuncusu 1897 Balıkesir depremi ile eşleştirilmiştir. Balıkesir ve yakın çevresinde, ilk iki depremi eşleştirecek tarihsel dönem deprem kaydı yer almamaktadır. Elde edilen hendek logu ve yaş verilerine göre Balıkesir Fayı' nın Kepsut segmenti üzerinde deprem tekrarlanma aralığı son iki deprem göre yaklaşık 1000 yıl hesaplanmıştır. Bölgede meydana gelen en son yüzey kırığı oluşturan depremin 1897 depremi olduğu göz önüne alındığında, son büyük depremden sonra geçen zaman 118 yıl olarak hesaplanmıştır. Elde edilen verilere göre, Kepsut segmenti diri bir fay olup yaklaşık 25 km boyunca takip edilebilmektedir. Wells ve Coppersmith'in (1994) kuramsal formülüne göre, bu segmentten kaynaklanacak en büyük depremin moment büyüklüğü $M_w = 6.7$ tür.

Balıkesir Fayı'nın iki segmentinin de birleşerek birlikte deprem üretmesi durumunda, bu fay segmentlerinden kaynaklanacak en büyük depremin moment büyüklüğü $M_w = 7.2$ 'dir.

5. İHA ÇALIŞMALARI

5.1 Yöntem

Fotogrametri temel olarak fotoğraflar üzerinde ölçme teknikleri kullanılarak, objeler hakkında bilgi sahibi olmamızı ve çeşitli analizler yapmamızı sağlayan bir bilim dalıdır. Fotogrametri sözcüğü, Latince'den ışık anlamına gelen (photo), çizim anlamına gelen (gramma) ve ölçme anlamına gelen (metron) sözcüklerinden türetilmiştir. Sözcük anlamı olarak bakıldığında ışık yardımıyla ölçme ve çizim yapma anlamına gelmektedir.

XV. yüzyılların başında Leonardo Da Vinci'nin optik izdüşüm teorisi fotogrametrik hesaplamaların temellerini oluşturmuştur. 1900'lü yılların başında analog fotogrametri yöntemi 1960'lı yıllara kadar uygulanmıştır. 1960'lı yıllardan itibaren elektronik ve bilgisayar teknolojisinin getirdiği imkânlarla analitik fotogrametri olarak adlandırdığımız fotogrametrik değerlendirme yöntemleri ortaya çıkmıştır. 2000'li yılların başından itibaren de sayısal görüntü işleme yazılımlarının geliştirilmesi, donanımlarının performanslarının artması, sayısal hava kameralarının gelişerek GNSS/IMU destekli uygulamalarla desteklenmesi fotogrametrik uygulamaların tamamen dijital fotogrametri olarak adlandırılan üretim teknikleriyle üretilmesine altlık hazırlamıştır. Artık, günümüzde gelişen kamera sistemleri, yazılımların performansları, değerlendirme donanımlarının kapasiteleri üretimlerin çok daha pratik ve hızlı yapılmasına imkân vermektedir. Gelişen görüntü işleme tekniklerinin yanında yüksek kapasiteli işlemciler ve ekran kartları kullanılarak binlerce görüntüyle aynı anda dengelenmesi ve veri üretimi mümkün olabilmektedir. Dünyada bu alandaki evrensel gelişmeler ülkemizde de eşzamanlı olarak uygulama imkânı bulmuş ve özellikle Harita Genel Müdürlüğü, Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü, diğer kamu kurumları ve özel sektör ülkemizde ve yurt dışında yaptıkları çalışmalarla fotogrametrinin gelişmesine ön ayak olmuşlardır.

Fotogrametri uydudan, havadan ve yersel olmak üzere kamera konumuna göre üç sınıfa ayrılır;

- Uydu Fotogrametrisi

Uydulardan çekilen yeryüzünün fotoğrafları kullanılarak yapılan fotogrametri işlemidir. Çok büyük alanlar için diğer veri elde etme yöntemlerine göre az sayıda resim ile

çalışılabilir. Farklı yıllarda aynı bölgenin aynı sensörler ile elde edilen bilgiler sayesinde herhangi bir değişim analizi için çok sık kullanılır (Tunay ve Ateşoğlu, 2008; Akkartal, vd., 2005; Oğuz ve Zengin, 2011; Bıyıklı, 2019).

- Hava Fotogrametrisi

Yerden yüksekte mesafe katetme özelliğine sahip uçak, helikopter ve insansız hava aracı gibi vasıtalarla bağlanan kameralar ile yeryüzünden alınan resimler kullanılarak yapılan fotogrametri yöntemidir. Fotogrametrik olarak en sık kullanılan yöntemdir. Buradan elde edilen modeller vasıtasıyla ortofoto üretimi çok yaygın bir uygulamadır (Öztürk, vd., 2017; Yılmaz, vd., 2018).

- Yersel Fotogrametri

Yakın resim fotogrametrisi veya yakın mesafe fotogrametrisi olarakta bilinen bu fotogrametri yöntemi çok hassas üç boyutlu model oluşturmak için sıklıkla kullanılır (Mohammed ve Yakar, 2016; Duran, vd., 2017). Genellikle kamera ile modeli oluşturulacak obje arasında en fazla 300 metre bulunur.

Model oluşturabilmek için gözlerdeki sistem kullanılır. İnsandaki iki göz aynı noktaya doğru odaklandırılır ve oluşan görüntüler beyine gönderilir. Gözlerden gelen iki görüntü, beyinde üst üste bindirilir ve üç boyutlu model oluşturulur. Odak uzaklığının objenin göze olan uzaklığına göre ayarlanması dahil olmak üzere tüm işlemler saniyenin kat kat altında bir sürede gerçekleştirildiğinden insan bakar ve hemen derinlik bilgisine ulaşır. Burada olduğu gibi en az iki farklı noktadan aynı bölgenin resimleri alınıp üst üste bindirilerek derinlik bilgisine ulaşılmaya çalışılır. Geometrik olarak iki temel resim çekim tekniği uygulanır.

- Şerit geometri resim çekim tekniği ile belli bir güzergah üzerinden alan taranır ve düzgün bir bindirme oranı ayarlanır. Genelde hava fotogrametrisi bu teknik ile gerçekleştirilir.
- Konvergent geometri resim çekim tekniği ise daha çok bir obje ya da bir yapı üzerinde uygulanır. Objenin etrafında düzenli ya da düzensiz kamera konumları saptanır ve tamamının bindirmeli bir şekilde resimlerinin alınması ile tamamlanır. Bu teknik için yakın resim fotogrametrisi ve insansız hava araçları sıklıkla kullanılır (Yakar, vd., 2016; Mahmod ve Yılmaz, 2018; Yiğit ve Ulvi, 2020). Oluşan üç boyutlu modelde yükseklikten kaynaklanan resim kayıklıkları

giderilerek iki boyutlu tematik bir harita elde edilir. Fotogrametri ile topoğrafik haritaların yanı sıra ortofoto haritaları gibi ürünlerde elde edilmek istenebilir. Çünkü birçok sektör için yükseklik bilgisi bir ihtiyaç değildir. İki boyuttaki düzgün bir harita çoğu zaman amaçlar doğrultusunda bu sektörlerle yeterli hizmeti verebilmektedir. Elektromanyetik spektrumdan yararlanmak içinde ortofoto önemli bir ürün olmuştur (Buch, 2005).

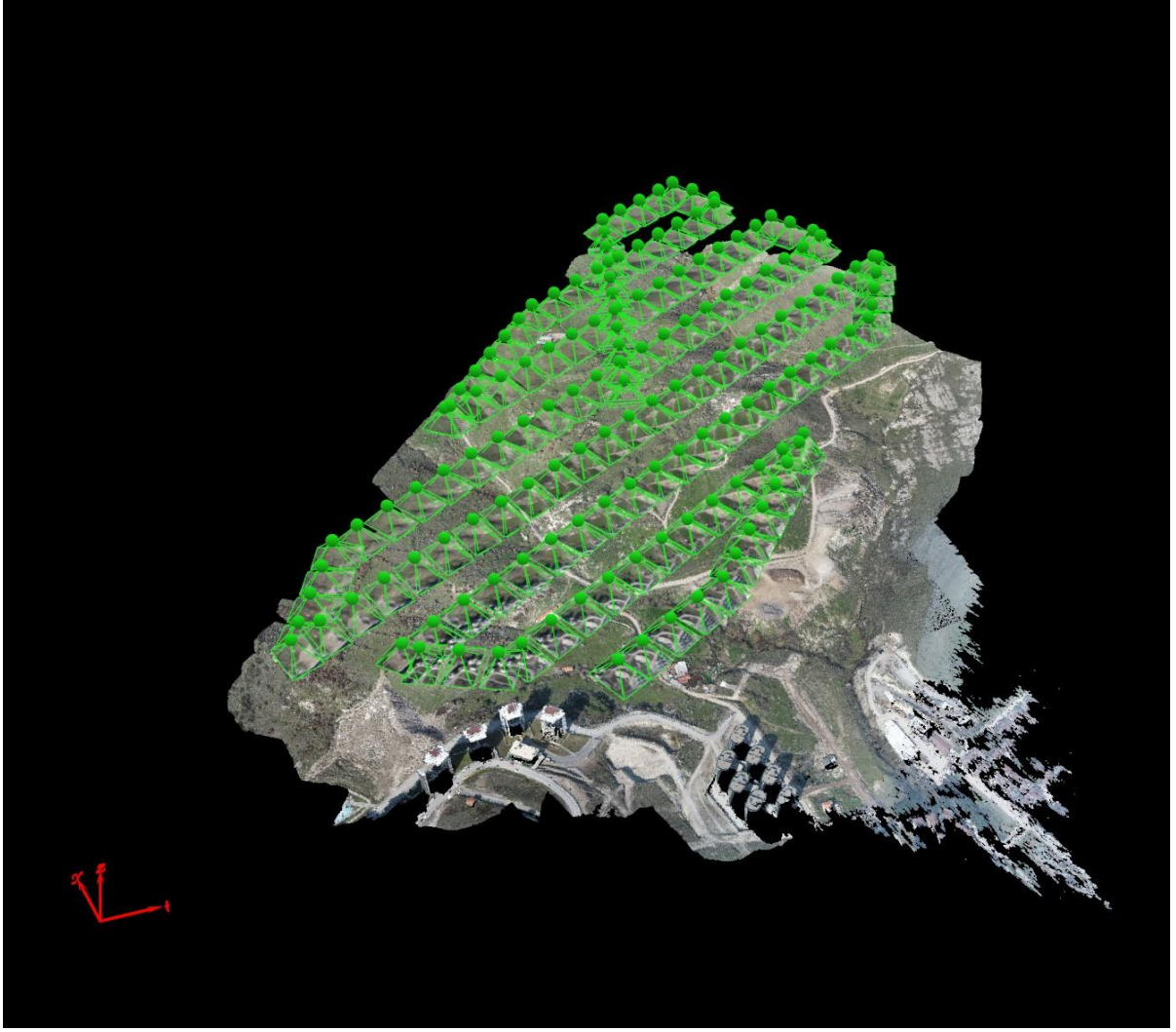
5.2 Uygulama ve Hesaplamalar

Çalışma alanının 3B topoğrafik yapısının yüksek çözünürlükle belirlenmesi ve ortofoto oluşturulması amacıyla insansız hava aracı (İHA) ile uçuş gerçekleştirilmiştir. Uçuşlar DJI Phantom 4 RTK İHA ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.1).

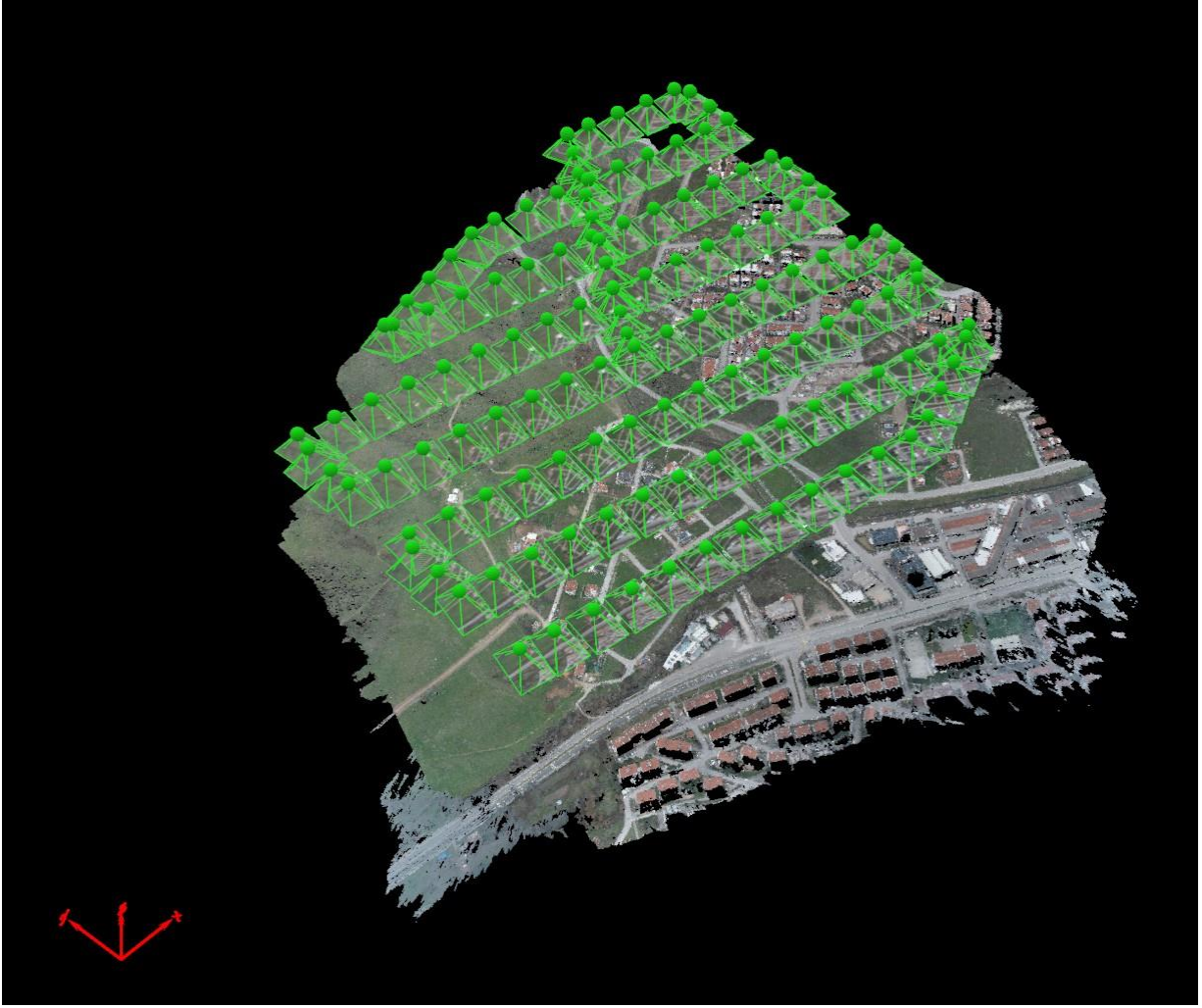


Şekil 5.1. Phantom 4 RTK İHA

Ölçüm hassasiyetinin maksimize edilmesi için uçuş RTK GPS ile ve elde edilecek çıktılarının koordinat düzeltmelerinin yapılabilmesi için 4 yer kontrol noktası ile uçuş dizayn edilmiştir. Uçuşlarda %80 yatay bindirme %80 düşey bindirme uygulanmıştır. Kalkış noktasına göre 100 m irtifada gerçekleştirilen uçuşlar sonucunda farklı açılardan çekilen 1. Bölge için 151, 2. Bölge için 133 hava fotoğrafı elde edilmiştir (Şekil 5.2 ve Şekil 5.3).

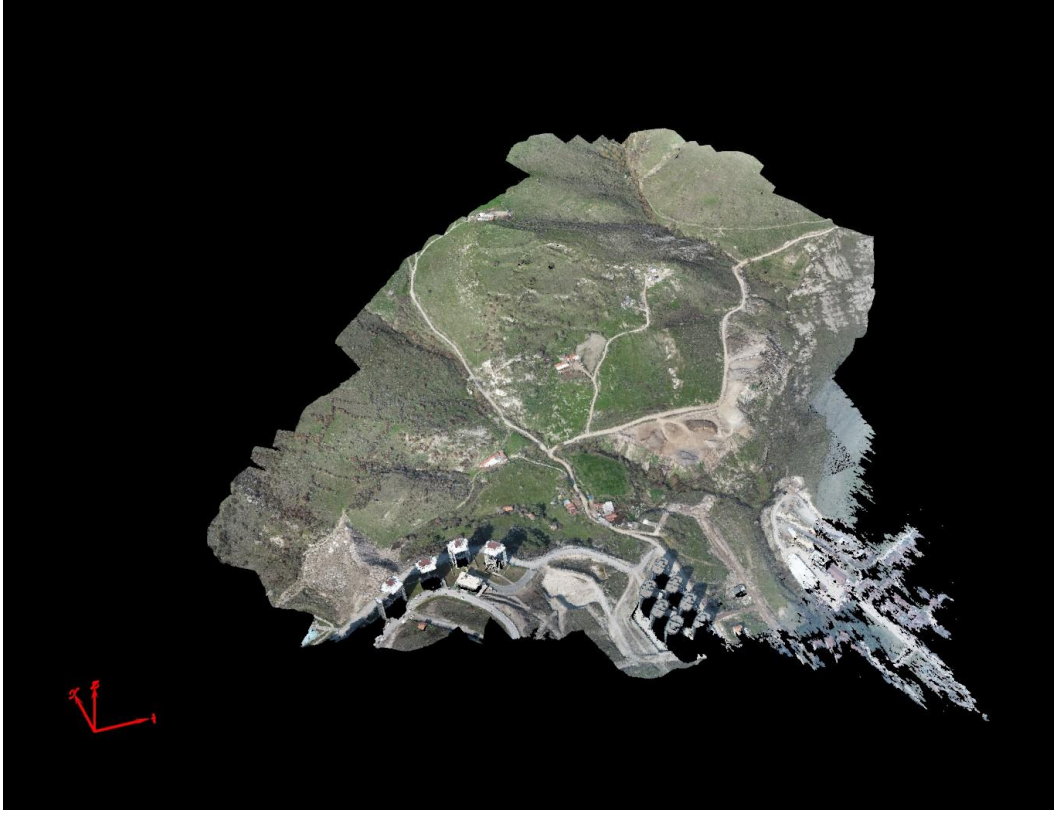


Şekil 5.2. İHA hava fotoğrafları saha dağılımı (1. Bölge)



Şekil 5.3. İHA hava fotoğrafları saha dağılımı (2. Bölge)

Elde edilen hava fotoğrafları ve yer kontrol noktaları fotogrametrik işleme yazılımı yardımıyla işlenerek elde edilebilecek en yüksek çözünürlükte nokta bulutu oluşturulması sağlanmıştır. Elde edilen nokta bulutunda istenmeyen bitki örtüsü vb. noktaların eliminasyonu için nokta bulutu sınıflandırılarak filtre edilmiştir. Elde edilen nokta bulutu Şekil 5.4-5.5'te verilmiştir.

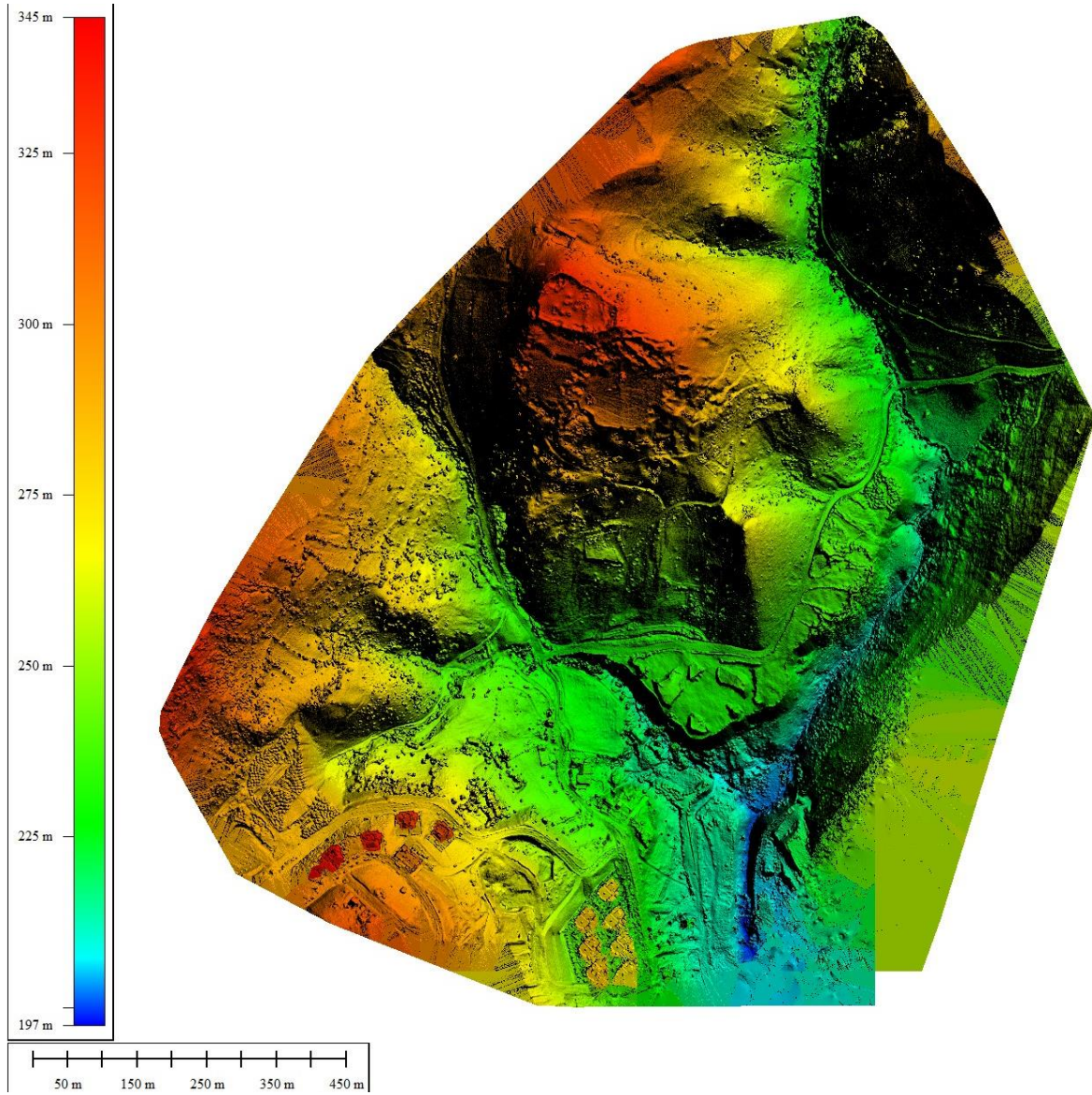


Şekil 5.4. 1.Bölge Nokta Bulutu

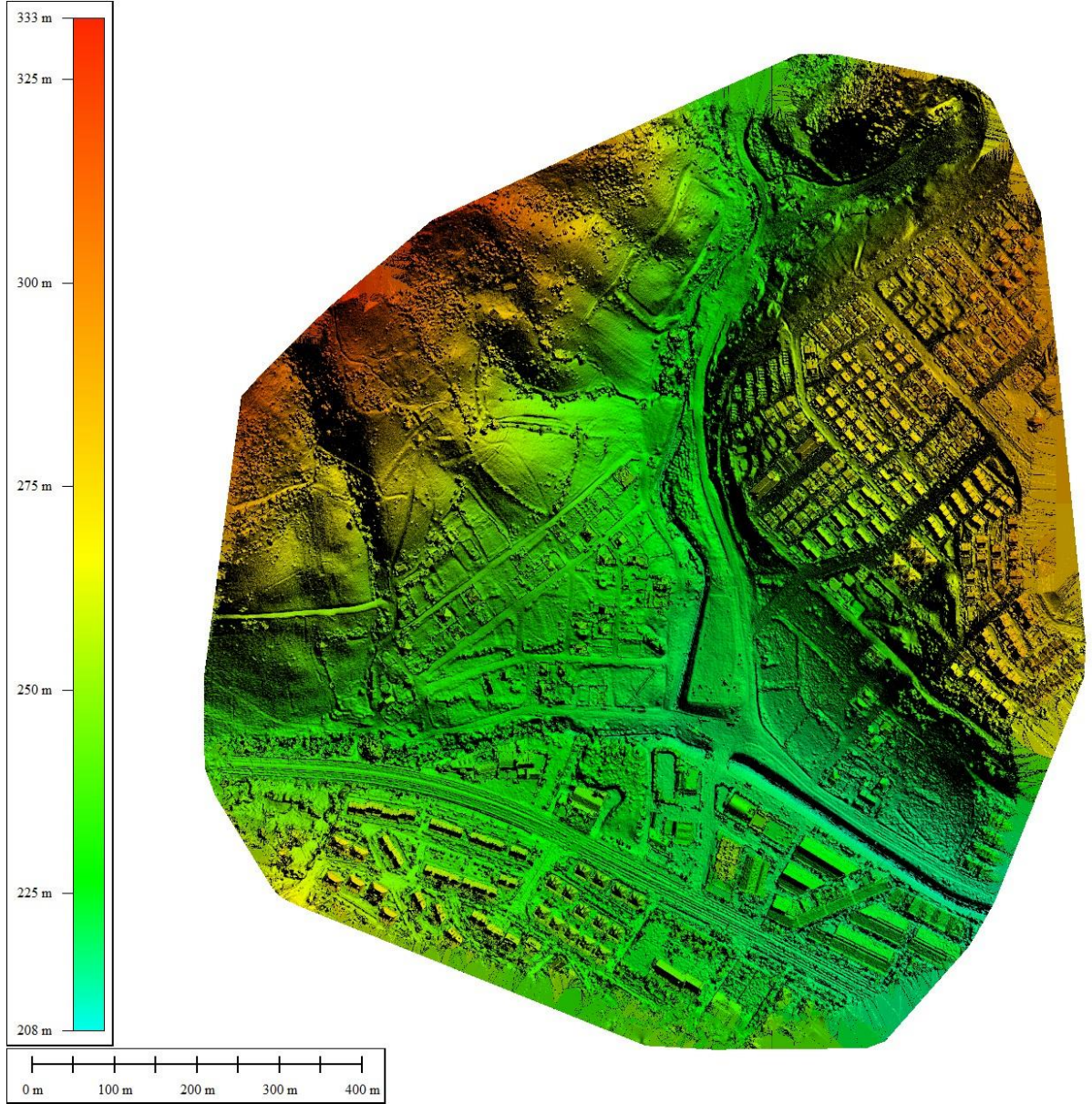


Şekil 5.5. 2.Bölge Nokta Bulutu

Elde edilen nokta bulutu gerekli filtre işlemlerinden sonra dijital yer modeline dönüştürülmüştür. Dijital yer modeli Şekil 5.6-5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.6. 1. Bölge Dijital Yer Modeli



Şekil 5.7. 2. Bölge Dijital Yer Modeli

Sonraki aşamada çalışma alanlarında diri fayların jeomorfolojik yaklaşımla belirlenmesinde kullanılmak üzere dijital yer modelinden saha münhane eğrileri hesaplanmıştır. 1 m aralıklı münhane eğrileri Şekil 5.8 ve 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.8. 1. Bölge Topografik Kontur Haritası (1m)



Şekil 5.9. 2. Bölge Topografik Kontur Haritası (1 m)

Drone görüntüleri daha sonra orto fotolar ve arazi verileriyle birleştirilerek gökçeyazı segmentine ait izler saptanmış ve 1/1000-1/5000 ölçekli halihazır paftalara işlenerek Gökçeyazı segmenti ve bu segment üzerindeki fay sakınım bandı kmz dosyası olarak oluşturulmuştur.

6. BALIKESİR FAYI'NIN YÜZEY FAYLANMASI TEHLİKESİ ve FAY SAKINIM BANDI KRİTERLERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Deprem sırasında aktif faylar üzerinde gerçekleşecek yüzey kırıklarından deformasyon alanlarının belirlenmesi ve bu alanların mikrobölgeleme çalışmalarına aktarımı hızlanan kentleşme sırasında yaşamsal bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır (Sözbilir vd., 2018). Bugüne kadar aletsel dönem içinde $M_w \geq 6$ ve üzeri büyüklükteki depremlerin insan yapılarında yıkıcı etki oluşturmalarının temelinde üç nedeni bulunmaktadır. Bunlar; (1) kötü ve aşırı derecede zayıf zemin üzerine yerleşim (genelde alüvyonlar), (2) yapı inşa kalitesinin düşük olması ve mühendislik anlamındaki hatalı uygulamalar, (3) doğrudan yüzey kırığı üzerine yerleşim.

Günümüzde zeminlerin iyileştirilebildiği ve düşük kaliteli yapıların bile yıkıcı bir depreme dayanıklı hale getirilebildiği bir dönemde bulunmaktayız. Fakat hali hazırda, kuvvetli bir deprem sırasında gerçekleşen yüzey kırığı üzerindeki bir yapının zarar görmemesi mümkün olmamakla birlikte, bunu sağlayabilecek herhangi bir mühendislik teknolojisi de geliştirilebilmiş değildir. Bu nedenle, yüzey kırıklarının oluşturabileceği deformasyon alanlarının mikrobölgeleme çalışmalarına uygulanması hayati derecede öneme sahiptir. Dünyada sadece birkaç ülke bu deformasyon alanlarının belirlenmesinde bazı kriterler çerçevesinde uygulama yapmaktadır. Örneğin ABD'de Christenson vd., (2003) ve Yeni Zelanda'da Kerr vd. (2003). Türkiye'de ise sadece Gökçe vd. (2014); JMO (2017) ve Sözbilir vd. (2018) bu bağlamda belli standartlar getirmeye yönelik çalışmalarda bulunmuştur.

Gökçe vd., (2014), dünyadaki benzer çalışmaların hepsini bir araya getirerek uygulamada gerek yöntemsel gerekse uyulması gereken standartlara ilişkin açıklamalarda ve önerilerde bulunmuştur. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası (JMO) 2017'de (Nurlu, 2017) Planlama ve yapılaşma açısından yüzey faylanması tehlikesinin değerlendirilmesi kılavuzu yayınlamıştır. Bu kılavuzda, depremde meydana gelen yüzeydeki kırılmaya bağlı olarak üst yapıda (mühendislik yapılarında) gelişen hasarı azaltmak için oluşturulması gereken kuşak tanımlanmıştır. Bu kuşak (tampon bölge/fay sakinim bandı), fayın türüne bağlı olarak gelişen ve fay boyunca farklı lokasyonlarda değişkenlik gösterebilen fay zonu genişliği "Yüzey Faylanması Tehlike Kuşağı" ve bu

zonunun dışında ve fayın her iki bloğunda da oluşturulması gereken sakınım bandı şeklinde ifade edilmiştir. Sakınım bandı ise, yüzey faylanması tehlike kuşağının her iki tarafında, fayın belirlenmesi ve haritalanmasındaki hata payını azaltmak için koyulan ve yapılan çalışmanın yöntemiyle değişiklik gösteren (Yersel Konum Hassasiyeti) ile buna ek olarak koyulan Güvenlik Mesafesinin bir bileşkesidir. Nurlu (2017)'de tanımlanan bu parametrelerin uygulamalarına yönelik özeti Tablo 6.1'de sunulmuştur.

Tablo 6.1. Fay ve Ölçüt türlerine göre hesaplanması gereken Sakınım Bandı mesafeleri (Nurlu, 2017'de önerilen ölçütler birleştirilerek hazırlanmıştır).

Tampon Bölge = Yüzey Faylanması Tehlike Kuşağı (YFTK) + Sakınım Bandı (SB)						
FAY TÜRÜ	Sakınım Bandı (SB)				Güvenlik Mesafesi (GM)	
	Bloklarda Yatay Konum Hassasiyeti (YKH)					
Doğrultu Atımlı Faylar	Her İki Bloкта			+	Her İki Bloкта	
	Ö1	0.1 – 1 m	0.1 – 1 m		20 m	20 m
	Ö2	5 m	5 m			
	Ö3	10 – 15 m	10 – 15 m			
	Ö4	25 – 30 m	25 – 30 m			
Ters Faylar / Ters Bileşeni Yüksek Doğrultu Atımlı Faylar	Taban Bloкта YKH		Tavan Bloкта YKH	+	Taban Bloкта	Tavan Bloкта
	Ö1	0.1 – 1 m	(0.2 – 2 m)		20 m	20 m
	Ö2	5 m	(10 m)			
	Ö3	10 – 15 m	(20 – 30 m)			
	Ö4	25 – 30 m	(50 – 60 m)			
Eğim/Verev Atımlı Normal Faylar	İHMAL EDİLİR			+	Taban Bloкта	Tavan Bloкта
					15 m	40 m
Ölçüt 1 (Ö1): Hendek çalışmalarının ya da yüzeyden takip edilebilen izlerin jeodezik GPS vasıtasıyla ölçülüp doğrulanmasıyla “yatay konum belirsizliği” (±0,1m / 1m) olarak kabul edilebilir.						
Ölçüt 2 (Ö2): Fay yapısı belirgin / keskinse ve ortofotolarda açıkça görülebiliyorsa bu yapıların koordinatlandırılmasındaki doğruluk ± 5 metre olarak kabul edilebilir,						
Ölçüt 3 (Ö3): Konumlandırmada belirsizlik, açıkça gözlenememe gibi bir sebepten dolayı hassasiyet problemi varsa, yaklaşık (±10m / ±15m olarak kabul edilebilir,						
Ölçüt 4 (Ö4): Ya da tahmini haritalanabiliyorsa (±25m / ±30m) olarak kabul edilebilir.						

Sözbilir vd. (2018) ise, dünyada ilk kez diri fayları, üzerlerindeki sismik boşluk ve deprem tekrarlama periyoduna dayanan yeni bir Aktif Fay Sınıflaması oluşturmuş, bu sınıflamayı 2007 yılında Resmi Gazetede yayınlamış Türkiye deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkındaki yönetmelikte tanımlanmış bina türlerine göre düzenleyip yapı imar izinleri ile ilgili öneriler getirmiştir (Tablo 6.2).

Tablo 6.2. Aktif Fayların deprem tekrarlama sıklığına göre sınıflaması ve bu sınıflamanın Yapı İhraz Yönetmeliğindeki yapı türleri ile ilişkileri (Sözbilir vd., 2018'den türkçeleştirilmiştir). Bina türleri ve önem katsayıları 06.03.2007 tarihli ve 26454 sayılı Resmi Gazete'den, Aktif Fay Sınıfı ve Bina türlerine göre yapı izin önerileri Kerr vd., 2003; King vd., 2003; Van Dissen vd., 2003 ve Langridge & Ries, 2016'dan birleştirilerek yeniden Türkiye standartlarına göre düzenlenmiştir.

Binanın Kullanım Amacı veya Türü						Bina Kodu	Bina Önem Katsayısı (I)	
Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar	Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları)					1a	1.5	
	Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar					1b		
İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar	Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb.					2a	1.4	
	Müzeler					2b		
İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar	Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.					3	1.2	
Diğer binalar	Konutlar, isyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb					4a	1.0	
	Geçici binalar, basit köy evleri, bungalovlar, basit depolama yapıları					4b		
YAPILAŞMA İMARİ BELLİ YERLEŞİM ALANLARI								
Aktif Fay Sınıfı	DTP / YFZ * (yıl)	Bina Kodu						
		1a	1b	2a	2b	3	4a	4b
A	<150 ya da sismik boşluk	Y	Y	Y	Y	Y	İ	İ
B	150 - 350	UD	UD	UD	UD	UD	İ	İ
C	350 - 1000	UD	UD	UD	İ	İ	İ	İ
D	1000 - 2000	UD	UD	UD	İ	İ	İ	İZ
E	2000 - 10000	UD	UD	UD	İ	İ	İZ	İZ
F	10000 <	UD	UD	İ	İ	İ	İZ	İZ
KIRSAL ALANLAR VEYA HALİ HAZIRDA İMARİ PLANLANAN/PLANLANACAK ALANLAR								
A	<150 ya da sismik boşluk	Y	Y	Y	Y	Y	Y	İ
B	150 - 350	Y	Y	Y	Y	Y	Y	İZ
C	350 - 1000	Y	Y	Y	Y	Y	UD	İZ
D	1000 - 2000	Y	Y	Y	Y	UD	İ	İZ
E	2000 - 10000	Y	Y	UD	UD	UD	İ	İZ
F	10000 - 2.5 Ma	UD	UD	UD	İ	İ	İ - İZ	İZ
DTP: Deprem Tekrarlama Periyodu YFZ: Son Yüzey Faylanmasından Sonra Geçen Zaman ile DTP arasında kalan minimum süre (* eğer biliniyorsa) İZ: İzin Verilen ; İ: İhtiyari ; UD: Uygun Değil ; Y: Yasaklanmış								

Bu çalışmada, Sözbilir vd. (2016a)'da sunulmuş ve HBFZ üzerinde yapılmış paleosismolojik çalışmaların verileri kullanılarak, Nurlu (2017) kılavuzu ve Sözbilir vd. (2018)'de önerilen Fay Sınıflamasına göre bir değerlendirme yapılmış ve Gökçeyazı

(GS) segmenti mikrobölgeleme anlamında tampon bölge/Fay Sakınım Bandı belirleme çalışmalarındaki kriterler açısından değerlendirilmiştir.

GS üzerinde açılan hendekte Yüzey Faylanması Tehlike Kuşağı 10 metre olarak ölçülmüştür. Segmentin bu bölümü sağ doğrultu atımlı bir fay karakterinde ve çalışmada ortofoto-Drone kullanıldığından yatay konum belirsizliği en aza indirgenmiştir. Bu durumda, fayın her bir bloğunda 20'er metre güvenlik mesafesi ve yüzey faylanması tehlikesi kuşağı genişliği 10 metre olarak alındığında, fay izinin her iki tarafında 25'er metre olmak üzere, en az 50 metrelik bir sakınım bandı konması uygun görülmüştür. Fayın bir zon oluşturacak şekilde birbirine paralel birden fazla kola ayrıldığı kesimlerde ise, sakınım bandı genişliği maksimum 158 metre olmaktadır.

GS üzerindeki paleosismolojik veriler deprem tekrarlama aralığının 1000 - 2000 yıl arasında olduğunu göstermektedir. Fakat segment üzerinde 2000 yıldan beri herhangi bir yüzey kırılması ile sonuçlanan deprem gerçekleşmediğini göstermektedir. Dolayısıyla segment, bir sismik boşluktur ve A Sınıfı olarak dikkat çeker. Bu bağlamda, Balıkesir ve çevresinde Gökçeyazı Segmenti özelinde mikrobölgeleme çalışmalarındaki yerleşime uygunluk haritalarında dikkate alınması gerekmektedir.

7. SONUÇLAR VE PLANA ESAS ÖNERİLER

Edremit ile Balıkesir arasında yer alan Havran–Balıkesir Fay Zonu (HBFZ), yaklaşık 120 km uzunluğunda, 10–12 km genişliğinde, K80°B–K70°D uzanımlı bir fay zonudur. Havran–Balya ve Balıkesir Fayı olmak üzere birbirine paralel/yarıparalel uzanan 2 ana faydan yapılıdır. Yaklaşık 60 km uzunluğunda bir Holosen Fayı olarak sınıflandırılmış olan Havran–Balya Fayı batıdan doğuya doğru; (i) Havran, (ii) Osmanlar, (iii) Turplu ve (iv) Ovacık olmak üzere 4 fay segmentine ayrılır. Yaklaşık 65 km uzunluğa sahip olan ve yine Holosen Fayı olarak sınıflandırılmış Balıkesir Fayı ise batıdan doğuya doğru; (i) Gökçeyazı ve (ii) Kepsut segment altında incelenmiştir.

Havran-Balıkesir Fay Zonu içerisinde yer alan Balıkesir Fayı'na ait Kepsut Segmenti üzerinde açılan Ayşebacı hendeğinde, M.S. yüzey faylanması ile sonuçlanan üç olay saptanmasına rağmen, Gökçeyazı segmeni üzerinde açılan Güngörmez ve Dede Hendekleri, bu segmentin MÖ yüzey faylanmasıyla sonuçlanmış depremler ürettiğini ve fakat MS döneminde henüz kırılmadığını göstermektedir. Özellikle Güngörmez hendeği içerisinde elde edilen veriler, MÖ 850±50' ye kadar 4 paleodepremin geliştiği saptanmıştır. Bu depremlere göre fayın deprem tekrarlama aralığı yaklaşık 1000 yıl olarak kabul edilmiştir. Buna göre, fayın MS dönemde deprem ürettiğine dair herhangi bir sismolojik kayıt olmadığından, bu faydan kaynaklanan son depremin üzerinden 2000 yıl gibi uzun bir süre geçtiği anlaşılmaktadır. Benzer bir şekilde jeomorfolojik veriler ve hendek duvarlarındaki atım değerleri birlikte değerlendirildiğinde segmentlerin ortalama 1–1.5 mm/yıl kayma hızına sahip oldukları söylenebilir.

Tablo 7. Paleosismolojik Hendek Çalışmalarının Ayrıntıları. EFZ: Edremit Fay Zonu, HBFZ: Havran–Balıkesir Fay Zonu; BS: Batı, AS: Altınoluk, GS: Gökçeyazı, OS: Ovacık, KS: Kepsut Segmenti. (Sözbilir vd. 2014)

HENDEK	FAY ZONU	SEGMENT	OLAY SAYISI	İLİŞKİLİ DEPREMLER
Dede	HBFZ	GS	4	MÖ 6420–MÖ 5319
Güngörmez	HBFZ	GS	3	MÖ 4445–4420; MÖ 1175–925
Ovacık 1	HBFZ	OS	2	MS 160 veya 253; MS 1296
Ovacık 2	HBFZ	OS	2	MS 1296
Ayşebacı	HBFZ	KS	3	MS 1897/1898

Elde edilen verilere göre, Havran-Balıkesir Fay Zonu'na ait olan ve Balıkesir il merkezinden geçen Gökçeyazı segmentinin kırılma zamanı deprem tekrarlama aralığını iki kat aşmış durumdadır. Bu nedenle, Balıkesir il merkezi ve ilçelerinden geçen diri faylar 1/1000 ve 1/5000 ölçekli imara esas haritalara aktarılmış ve bu zonlar yüzey faylanması tehlikesi kuşağı ve fay sakınım bandı kriterleri açısından değerlendirilmiştir. Buna göre, fayın her bir bloğunda 20'er metre güvenlik mesafesi ve yüzey faylanması tehlikesi kuşağı genişliği 10 metre olarak alındığında, fay izinin her iki tarafında 25'er metre olmak üzere, en az 50 metrelik bir sakınım bandı konması uygun görülmüştür. Fayın bir zon oluşturacak şekilde birbirine paralel birden fazla kola ayrıldığı kesimlerde ise, sakınım bandı genişliği maksimum 158 metre olmaktadır.

Bununla birlikte, 2016 yılında Balıkesir Büyükşehir Belediyesi tarafından Analiz mühendislik şirketine yaptırılan imar planına esas mikrobölgeleme etüt raporunda Balıkesir Fayı diri fay kabul edilmemiş ve bu nedenle yerleşime uygunluk haritalarında yer almamıştır. 2016'daki raporda, hem MTA tarafından 2011 yılında yayınlanmış Türkiye Diri Fay Haritası Balıkesir Paftasında çizilmiş olan Balıkesir Fayı dikkate alınmamış ve hem de 2014 yılında tamamlanmış olan ve Balıkesir Fayı'nda yaşa dayalı paleosismolojik veriler içeren UDAP-AFAD projesi ve bu projeden 2016 yılında çıkan ulusal/uluslararası yayınlar gözardı edilmiştir.

Sonuç olarak, tüm literatür çalışmalarından çıkan sonuçlara göre, Balıkesir il sınırları içinde kalan ve kırıldığında yüzey faylanmasıyla sonuçlanacak olan yıkıcı depremler üretebilecek 20 adet fay segmenti bulunmaktadır (Sözbilir vd. 2018). Bunlardan, Edremit fayı, Havran-Balıkesir Fayı ve Yenice-Gönen Fay zonu boyunca yoğun bir yapılaşma ve dolayısıyla nüfus yoğunluğu söz konusudur. Bu nedenle yerleşim yerlerinden geçen fay diri fay zonları boyunca yüzey faylanması tehlikesi kuşağı ve fay sakınım bandı çizilmesi zorunlu önerilmektedir. Halihazırda, kent merkezlerinden geçen (örneğin Balıkesir Fayı) diri faylar üzerinde yer yer yoğun yapılaşmaların olduğu anlaşılmaktadır. Bu fay zonları boyunca Yüzey Faylanması Tehlike Kuşağı + Fay Sakınım Bandı çizildikten sonra oluşturulan tampon bölge içinde kalan bina envanteri çıkartılmalı, bu binaların "Bina performans analizi" yapılmalı, zon içinde kalan yoğun nüfusun barındığı Hastane Okul vb. gibi yapıların ise, kentsel dönüşüm kapsamında yeniden değerlendirilmesi hayati derecede önemlidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Dokuz Eylül Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkez Müdürlüğü ile Karesi Belediyesi arasında imzalanan protokol uyarınca, Karesi Belediyesi tarafından desteklenmiştir. Böyle önemli bir çalışmanın yapılması konusunda desteklerini Esirgemeyen Karesi Belediye Başkanı Mesut AKBIYIK'a çok teşekkür ederiz. Çalışmanın paleosismolojik bulgularıyla ilgili verileri, AFAD-Deprem Dairesi Başkanlığı Ulusal Deprem Araştırma Programı (UDAP) kapsamında başlatılan Türkiye Paleosismoloji Projesi (TÜRKPA) 'nın UDAP-G-13-18 nolu alt projesinden alınmıştır. Bu Projenin geniş kapsamlı raporu 2014 yılında Deprem Daire Başkanlığına teslim edilmiş, projenin özgün sonuçları Geodinamica Acta dergisinde TÜRKPA özel sayısında üç ayrı makale şeklinde basılmıştır. Projenin sonuçları birçok ulusal ve uluslararası toplantılarda da sunulmuş ve tartışmaya açılmıştır. TMMOB-JMO-Balıkesir İl Temsilciliği tarafından Yerel Yönetimler, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir AFAD ve Balıkesir Ticaret Odası destekleriyle 28 Şubat-1 Ocak 2019 tarihlerinde "Balıkesir'in Afet Durumu ve Yönetimi Çalıştayı" kapsamında "**Balıkesir İlinin Deprem Tehlike Kaynakları ve Alınması Gereken Önlemler**" isimli bir bildiri sunulmuş ve bu bildirinin tam metni ayrıca çalıştay kitabında basılmıştır.

KAYNAKLAR

- AFAD. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, <https://deprem.afad.gov.tr/>
- Akkartal, A., Türüdü, O. ve Erbek, F. S. (2005). "Çok zamanlı uydu görüntüleri ile bitki örtüsü değişim analizi", TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 28.
- Akyuz, H. S., Altunel, E., Karabacak, V., & Yalciner, C. C. (2006). Historical earthquake activity of the northern part of the Dead Sea Fault Zone, southern Turkey. *Tectonophysics*, 426(3-4), 281-293.
- Altınok, Y., Alpar, B., Yaltırak, C., Pınar, A., & Özer, N. (2012a). The earthquakes and related tsunamis of October 6, 1944 and March 7, 1867; NE Aegean Sea. *Natural hazards*, 60(1), 3-25.
- Altınok Y., Alpar Ş.B., Yaltırak C., & Vardar H., (2012b). Şarköy-Mürefte 1912 Tsunami And Estimation of Underwater Failures In The Sea of Marmara. *Paleoseismology along the North Anatolian Fault & Commemorating the 9 August 1912 Mürefte Earthquake after 100 Years*, Türkiye, PANAF.
- Altunel, E., Meghraoui, M., Karabacak, V., Akyüz, S. H., Ferry, M., Yalçiner, Ç., & Munsch, M. (2009). Archaeological sites (tell and road) offset by the dead sea fault in the Amik Basin, southern Turkey. *Geophysical Journal International*, 179(3), 1313-1329.
- Altunel, E. (1999). Geological and geomorphological observations in relation to the 20 September 1899 Menderes earthquake, western Turkey. *Journal of the Geological Society*, 156(2), 241-246.
- Ambraseys, N. N., & Finkel, C. F. (1991). Long-term seismicity of Istanbul and of the Marmara Sea region. *Terra nova*, 3(5), 527-539.
- Ambraseys, N. N. , & Finkel, C. F. (1995). *Seismicity of Turkey and Adjacent Areas: A Historical Review, 1500-1800*. MS Eren.
- Ambraseys, N. N., & Finkel, C. F. (2006). *Türkiye'de ve komşu bölgelerde sismik etkinlikler: Bir tarihsel inceleme, 1500-1800* [Seismic activity in Turkey and neighboring regions: A historical investigation, 1500-1800] (Academic serial 4). TR: Ankara: TUBITAK Publications.
- Ambraseys, N. N., & Jackson, J. A. (1998). Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, 133(2), 390-406.
- Ambraseys, N. N., & Jackson, J. A. (2000). Seismicity of the Sea of Marmara (Turkey) since 1500. *Geophysical Journal International*, 141(3), F1-F6.
- Ambraseys, N.N. (2002). The seismic activity of the Marmara Sea region over the last 2000 years. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(1), 1-18.
- Ambraseys, N. N. (1988). Engineering seismology: part II. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 17(1), 51-105.
- Ambraseys, N. (2009). *Earthquakes in the Mediterranean and Middle East: a multidisciplinary study of seismicity up to 1900*. Cambridge University Press.
- Armijo, R., Meyer, B., Navarro, S., King, G., & Barka, A. (2002). Asymmetric slip partitioning in the Sea of Marmara pull-apart: A clue to propagation processes of the North Anatolian fault?. *Terra Nova*, 14(2), 80-86.
- Analiz Mühendislik, 2016, Balıkesir ili Karesi ve altıeylül ilçelerinde toplam 9.053,75 hektar alanın imar planına esas mikrobölgeleme etüt raporu. Balıkesir Büyükşehir Belediyesi.
- Barka, A. A., & Kadinsky-Cade, K. (1988). Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7(3), 663-684.
- Barka, A. A. (1992). The north Anatolian fault zone. In *Annales tectonicae* (Vol. 6, No. Suppl, pp. 164-195).
- Beccaleto, L., & Steiner, C. (2005). Evidence of two-stage extensional tectonics from the northern edge of the Edremit Graben, NW Turkey. *Geodinamica Acta*, 18(3-4), 283-297.
- Belindir, F. (2008). Yenice-Gönen fay zonunun Neotektonik özellikleri ve paleosismolojisi [Neotectonic characteristics and paleoseismology of the Yenice-Gönen Fault Zone, NW Anatolia, Turkey](PhD thesis, p. 293). *Hacettepe Üniversitesi, Ankara (in Turkish with English Summary)*.

- Bıyıklı, D. (2019). "Landsat-8 uydu görüntüleri kullanarak nesne-tabanlı sınıflandırma yöntemi ile ormanlık alanlardaki zamansal değişimin izlenmesi: Muğla ili örneği". TMMOB, 6, 23-25.
- Bingöl, E. (1968). *Contribution à l'étude géologique de la partie centrale et sud-est du massif de Kazdağ (Turquie)* (Doctoral dissertation).
- Bingöl, E. (1969). Kazdağ masifinin merkezi ve güneydoğu kesiminin jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 72(72).
- Bohnhoff, M., Bulut, F., Dresen, G., Malin, P. E., Eken, T., & Aktar, M. (2013). An earthquake gap south of Istanbul. *Nature communications*, 4, 1999.
- Bonev, N., Beccaleto, L., Robyr, M., & Monié, P. (2009). Metamorphic and age constraints on the Alakeçi shear zone: implications for the extensional exhumation history of the northern Kazdağ Massif, NW Turkey. *Lithos*, 113(1-2), 331-345.
- Buch, S. (2005). Ortofoto. *Geoforum Perspektiv*, 4(8).
- Calvi, V. S. (1941). *Erdbebenkatalog der Türkei und Einiger Benaehbarter Gebiete (unpublished)* (No. 276). Report.
- Canitez, N., & Nafi Toksöz, M. (1971). Focal mechanism and source depth of earthquakes from body- and surface-wave data. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 61(5), 1369-1379.
- Caputo, R., & Helly, B. (2008). The use of distinct disciplines to investigate past earthquakes. *Tectonophysics*, 453(1-4), 7-19.
- Caputo, R., Helly, B., Pavlides, S., & Papadopoulos, G. (2004). Palaeoseismological investigation of the tyrnavos fault (Thessaly, Central Greece). *Tectonophysics*, 394(1-2), 1-20.
- Cavazza, W., Okay, A. I., & Zattin, M. (2009). Rapid early-middle Miocene exhumation of the Kazdağ Massif (western Anatolia). *International Journal of Earth Sciences*, 98(8), 1935-1947.
- Christenson, G. E., Batatian, L. D., & Nelson, C. V. (2003). *Guidelines for evaluating surface-fault-rupture hazards in Utah*. Utah Geological Survey.
- Comninakis, P. E., & Papazachos, B. C. (1982). *A catalogue of historical earthquakes in Greece and the surrounding area for the period 479 B.C–1900 A.D.* University of Thessa-Ioniki Publications, No. 5, 24 pp.
- Cormier, M. H., Seeber, L., McHugh, C. M., Polonia, A., Çagatay, N., Emre, Ö., ... & Ryan, W. B. (2006). North Anatolian Fault in the Gulf of Izmit (Turkey): Rapid vertical motion in response to minor bends of a nonvertical continental transform. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(B4).
- Crampin, S., & Evans, R. (1986). Neotectonics of the Marmara Sea region of Turkey. *Journal of the Geological Society*, 143(2), 343-348.
- Cetin, H., Güneşli, H., & Mayer, L. (2003). Paleoseismology of the Palu–Lake Hazar segment of the East Anatolian fault zone, Turkey. *Tectonophysics*, 374(3-4), 163-197.
- Demoulin, A., Altin, T. B., & Beckers, A. (2013). Morphometric age estimate of the last phase of accelerated uplift in the Kazdag area (Biga Peninsula, NW Turkey). *Tectonophysics*, 608, 1380-1393.
- Dirik, K., Belindir, F., Özsayın, E., & Kutluay, A. (2008). Neotectonic features and paleoseismology of Yenice-Gönen Fault Zone. *Final report of TUBİTAK. Report no: TUJJB-UDP04-02, Ankara*.
- Duran, Z., Muhammed Enes, A. ve Çelik, M. F. (2017). "Yersel fotogrametrik yöntem ile yersel lazer taramanın karşılaştırılması ve doğruluk analizi". *Harita Dergisi*, 158, 20-25.
- Duru, M., Pehlivan, Ş., Okay, A. I., Şentürk, Y., & Kar, H. (2012). Biga Yarımadası'nın Tersiyer Öncesi Jeolojisi [The pre-Tertiary geology of Biga Peninsula]: General Directorate of Mineral Research and Exploation (MTA). *Special Publication Series*, 28, 7-75.
- Duru, M., Pehlivan, Ş., Şentürk, Y., Yavaş, F., & Kar, H. (2004). New results on the lithostratigraphy of the Kazdağ Massif in northwest Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13(2), 177-186.
- Emre, Ö. (2010). *1:250,000 Scale active fault map series of Turkey Çanakkale (NK 35–10b) Quadrangle (Serial num-ber: 1)*. Ankara: General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA).

- Emre, Ö., & Doğan, A. (2010). *1:250,000 Scale active fault map series of Turkey Ayvalık (NJ 35-2) Quadrangle (Serialnumber: 4)*. Ankara: General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA).
- Emre, Ö., Doğan, A., Duman, T. Y., & Özalp, S. (2011a). *1:250,000 Scale active fault map series of Turkey, Bursa(NK 35-12) quadrangle(Serial number: 9)*. Ankara: General Directorate of Mineral Research and Exploration(MTA).
- Emre, Ö., Doğan, A., & Özalp, S. (2011b). *1:250,000 Scale active fault map series of Turkey Balıkesir (NJ 35-3) quadrangle (Serial number: 4)*. Ankara: General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA).
- Emre, Ö., Doğan, A., Özalp, S., & Yıldırım, C. (2011c). *1:250,000 Scale active fault map series of Turkey Bandırma (NK 35-11b) quadrangle (Serial number: 3)*. Ankara: General Directorate of Mineral Research and Exploration(MTA).
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H., & Çan, T. (2016). Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(8), 3229-3275.
- Erdoğan, M. 1968. *Osmanlı devrinde Anadolu Camilerinde Restorasyon Faaliyetleri*. Vakıflar Dergisi, 7, 149-205.
- Erdoğan, B., Akay, E., Hasözbeke, A., Satır, M., & Siebel, W. (2013). Stratigraphy and tectonic evolution of the Kazdağı Massif (NW Anatolia) based on field studies and radiometric ages. *International Geology Review*, 55(16), 2060-2082.
- Ergin, K., Güçlü, U., & Uz, Z. (1967). *A catalog of earth-quakes for Turkey and surrounding area (11 A.D to 1964A.D.)* (Technical Report No. 24). Istanbul Technical University, Faculty of Mines, Institute of Physics of the Earth.
- Euro-Med Seismological Centre (EMSC). Retrieved from <http://www.emsc-csem.org>.
- Eyidoğan, H., & Jackson, J. (1985). A seismological study of normal faulting in the Demirci, Alaşehir and Gediz earthquakes of 1969–70 in western Turkey: Implications for the nature and geometry of deformation in the continental crust. *Geophysical Journal International*, 81(3), 569-607.
- Eyidoğan, H., Güçlü, U., Utku, Z., & Değirmenci, E. (1991). Türkiye büyük depremleri makro-sismik rehberi (1900–1988). *İTÜ MF Jeofizik Mühendisliği Bölümü Yayınları*, 200.
- Gökçe, O., Tüfekçi, M. K., & Gürboğa, Ş. (2014). *Yüzey faylanması tehlikesinin değerlendirilmesi ve fay sakınım bantlarının oluşturulması*. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Gürer, Ö. F., Kaymakçı, N., Çakır, Ş., & Özburan, M. (2003). Neotectonics of the southeast Marmara region, NW Anatolia, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21(9), 1041-1051.
- Gürer, Ö. F., Sangu, E., & Özburan, M. (2006). Neotectonics of the SW Marmara region, NW Anatolia, Turkey. *Geological Magazine*, 143(2), 229-241.
- Hartleb, R. D., Dolan, J. F., Akyüz, H. S., & Yerli, B. (2003). A 2000-year-long paleoseismologic record of earthquakes along the central North Anatolian fault, from trenches at Alayurt, Turkey. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93(5), 1935-1954.
- Hartleb, R. D., Dolan, J. F., Kozacı, O., Akyuz, H. S., & Seitz, G. G. (2006). A 2500-yr-long paleoseismologic record of large, infrequent earthquakes on the North Anatolian fault at Çukurçimen, Turkey. *GSA Bulletin*, 118(7-8), 823-840.
- HRV. Harvard Centroid–Moment Tensor Project CMT, Harvard University, MA, USA (1977–2015). Retrieved from <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>
- Herece, E. I. (1985). *The Yenice-Gonen earthquake of 1953 and some examples of recent tectonic events in the Biga Peninsula of northwest Turkey: a thesis in geology*. Pennsylvania State University.
- Herece, E. (1990). The fault trace of the 1953 Yenice-Gonen earthquake and the westernmost known extension of the NAF system in the Biga peninsula. *Min Res Expl Bull Turkey*, 111, 31-42.
- Ikeda, Y., Suzuki, Y., Herece, E., Şaroğlu, F., Isikara, A. M., & Honkura, Y. (1991). Geological evidence for the last two faulting events on the North Anatolian fault zone in the Mudurnu Valley, western Turkey. *Tectonophysics*, 193(4), 335-345.

- ISC. International Seismological Centre. Thatcham, UK. Retrieved from <http://www.isc.ac.uk/Bull>
- JMO, (Türkiye Jeoloji Mühendisleri Odası) (2017). *Planlama Ve Yapılaşma Açısından Yüzey Faylanması Tehlikesinin Değerlendirilmesi Kılavuzu*. Baskı: Fark Dijital. ISBN: 978-605-01-1096-8.
- Kalafat, D. (1989). Son yıllarda oluşmuş bazı depremlerin odak mekanizması açısından irdelenmesi. *Deprem Araştırma Bülteni*, 66, 6-20.
- Kalafat, D. (1998). Anadolu'nun tektonik yapılarının deprem mekanizmaları açısından irdelenmesi. *Deprem Araştırma Bülteni*, 77, 1-217.
- Kalafat, D., Kekovalı, K., Ocal, M., & Gülen, L. (2009, December). Moment Tensor Catalogue of Important Earthquakes in Turkey and Surrounding Regions. In *AGU Fall Meeting Abstracts*.
- Kalafat, D., Kekovalı, K., Güneş, Y., Yılmaz, M., Kara, M., Deniz, P., & Berberoğlu, M. (2009). Türkiye ve Çevresi Faylanma-Kaynak Parametreleri (MT) Kataloğu (1938–2008): A Catalogue of Source Parameters of Moderate and Strong Earthquakes for Turkey and its Surrounding Area (1938–2008). *Boğaziçi University Publication*, (1026), 43.
- Kerr, J., Nathan, S., Van Dissen, R., Webb, P., Brunsdon, D., & King, A. (2003). Planning for development of land on or close to active faults. *Wellington: Ministry for the Environment*.
- Ketin, I., & Roesli, F. (1953). Makroseismische Untersuchungen über das nordwest-anatolische Beben vom 18 März 1953. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 46, 187-208.
- Ketin, İ. (1969). Kuzey Anadolu fayı hakkında. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 72(72).
- KOERİ. B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü web sayfası, <http://www.koeri.boun.edu.tr>, 2017.
- Kop, A., Özalp, S., Elmacı, H., Kara, M., & Duman, T. Y. (2016). Active tectonic and palaeoseismological features of the western section of Mustafakemalpaşa Fault; Bursa, NW Anatolia. *Geodinamica Acta*, 28(4), 363-378.
- Kozacı, Ö., Dolan, J. F., Yönlü, Ö., & Hartleb, R. D. (2011). Paleoseismologic evidence for the relatively regular recurrence of infrequent, large-magnitude earthquakes on the eastern North Anatolian fault at Yaylabeli, Turkey. *Lithosphere*, 3(1), 37-54.
- Kozacı, Ö., Dolan, J. F., & Finkel, R. C. (2009). A late Holocene slip rate for the central North Anatolian fault, at Tahtaköprü, Turkey, from cosmogenic ¹⁰Be geochronology: Implications for fault loading and strain release rates. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 114(B1).
- Kürçer, A., 2006. *Neotectonical features of the vicinity of Yenice–Gönen and palaeoseismology of March 18, 1953 (Mw:7.2) Yenice–Gönen Earthquake Fault, NW Turkey*, M.S. Thesis. Çanakkale Onsekiz Mart University, Natural and Applied Sciences Institute, p. 170. (in Turkish with English abstract).
- Kürçer, A. (2012). *Tuz Gölü Fay Zonu'nun Neotektonik Özellikleri ve Paleosismolojisi, Orta Anadolu, Türkiye* (Doctoral dissertation, Doktora Tezi, Tez).
- Kürçer, A., Chatzipetros, A., Tutkun, S. Z., Pavlides, S., Ateş, Ö., & Valkaniotis, S. (2008). The Yenice–Gönen active fault (NW Turkey): Active tectonics and palaeoseismology. *Tectonophysics*, 453(1-4), 263-275.
- Le Pichon, X., Şengör, A. M. C., Demirbağ, E., Rangin, C., Imren, C., Armijo, R., ... & Saatçılar, R. (2001). The active main Marmara fault. *Earth and Planetary Science Letters*, 192(4), 595-616.
- Leroy, S., Kazancı, N., İleri, Ö., Kibar, M., Emre, O., McGee, E., & Griffiths, H. I. (2002). Abrupt environmental changes within a late Holocene lacustrine sequence south of the Marmara Sea (Lake Manyas, NW Turkey): possible links with seismic events. *Marine Geology*, 190(1-2), 531-552.
- Lips, A. L. W. (1998). *Temporal constraints on the kinematics of the destabilization of an orogen: Syn- to post-orogenic extensional collapse of the northern Aegean region* (Vol. 166, pp. 1-224). Utrecht University.
- Mahmod, A. A. ve Yılmaz, H. M. (2018). "İnsansız hava aracı ile dik konumda çekilen resimlerle üç boyutlu model oluşturma: Aksaray Üniversitesi Kampüs Camii", *Aksaray University Journal of Science and Engineering*, 2(2), 144-160.

- Mohammed, O. ve Yakar, M. (2016). "Yersel fotogrametrik yöntem ile ibadethanelerin modellenmesi". Selcuk University Journal of Engineering Sciences, 15(2), 85-95.
- McCalpin, J. (Ed.). (1996). *Paleoseismology* (Vol. 62). Academic press.
- McKenzie, D. (1972). Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30(2), 109-185.
- McKenzie, D. (1978). Some remarks on the development of sedimentary basins. *Earth and Planetary science letters*, 40(1), 25-32.
- Michetti, A. M., & Hancock, P. L. (1997). Paleoseismology: understanding past earthquakes using Quaternary geology. *Journal of Geodynamics*, 24(1-4), 3-10.
- Oğuz, H. ve Zengin, M. (2011). "Peyzaj patern metrikleri ve landsat 5 tm uydu görüntüleri kullanılarak arazi örtüsü/arazi kullanımı değişimi analizi (1984-2010): Kahramanmaraş Örneği", I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, 26-28.
- Okay, A. I., & Satir, M. (2000). Coeval plutonism and metamorphism in a latest Oligocene metamorphic core complex in northwest Turkey. *Geological Magazine*, 137(5), 495-516.
- Okay, A. I., Satir, M., Maluski, H., Siyako, M., Monie, P., Metzger, R., & Akyüz, S. (1996). Paleo-and Neo-Tethyan events in northwestern Turkey: geologic and geochronologic constraints. *World and Regional Geology*, 420-441.
- Öcal, N. (1968). *Türkiye'nin sismisitesi ve zelzele coğrafyası: 1850-1960 yılları için Türkiye zelzele kataloğu*. Kandilli Rasathanesi.
- Özaksoy, V., Emre, Ö., Yıldırım, C., Doğan, A., Özalp, S., & Tokay, F. (2010). Sedimentary record of late Holocene seismicity and uplift of Hersek restraining bend along the North Anatolian Fault in the Gulf of İzmit. *Tectonophysics*, 487(1-4), 33-45.
- Özalp, S., Emre, Ö., & Doğan, A. (2013). The segment structure of southern branch of the North Anatolian Fault and paleoseismological behaviour of the Gemlik Fault, NW Anatolia. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 147, 1-17.
- Özalp, S., Kürçer, A., Özdemir, E., & Duman, T. Y. (2016). The Bekten Fault: the palaeoseismic behaviour and kinematic characteristics of an intervening segment of the North Anatolian Fault Zone, Southern Marmara Region, Turkey. *Geodinamica Acta*, 28(4), 347-362.
- Öztürk, O., Bilgilioğlu, B. B., Çelik, M. F., Bilgilioğlu, S. S. ve Raşit, U. (2017). "İnsanız hava aracı (İHA) görüntüleri ile ortofoto üretiminde yükseklik ve kamera açısının doğruluğa etkisinin araştırılması". *Geomatik*, 2(3), 135-142.
- Papazachos, V., Papazachos, B., Papazachou, C., & Papazachou, K. (1997). *The earthquakes of Greece*. Editions Ziti.
- Pavlidis, S. (1996). First palaeoseismological results from Greece. *Annals of Geophysics*, 39(3).
- Pinar, N., & Lahn, E. (1952). *Türkiye depremleri izahli kataloğu*. AKIN Matbaacılık Limited Ortaklığı.
- Rockwell, T., Barka, A., Dawson, T., Akyuz, S., & Thorup, K. (2001). Paleoseismology of the Gazikoy-Saros segment of the North Anatolia fault, northwestern Turkey: Comparison of the historical and paleoseismic records, implications of regional seismic hazard, and models of earthquake recurrence. *Journal of Seismology*, 5(3), 433-448.
- Rockwell, T., Ragona, D., Seitz, G., Langridge, R., Aksoy, M. E., Uçarkus, G., ... & Satir, D. (2009). Palaeoseismology of the North Anatolian fault near the Marmara Sea: Implications for fault segmentation and seismic hazard. *Geological Society, London, Special Publications*, 316(1), 31-54.
- Shebalin, N. V., Karnik, V., & Hadzievski, D. (1974). *Catalogue of Earthquakes. Part I, 1901-1970: Part II, Prior to 1901*. Unesco.
- Siyako, M., Bürkan, K. A., & Okay, A. I. (1989). Biga ve Gelibolu yarımadaalarının Tersiyer jeolojisi ve hidrokarbon olanakları. *TPJD Bülteni*, 1(3), 183-199.
- Soloviev, S. L., Solovieva, O. N., Go, C. N., Kim, K. S., & Shchetnikov, N. A. (2013). *Tsunamis in the Mediterranean Sea 2000 BC-2000 AD* (Vol. 13). Springer Science & Business Media.

- Soysal, H., Sipahioglu, S., Kolcak, D., & Altinok, Y. (1981). Türkiye ve Cevresinin Tarihsel Deprem Katalogu MO 2100-MS 1900. *TUBITAK project Tbag*, 341.
- Sözbilir, H., Inci, U., Erkül, F., & Sümer, Ö. (2003, August). An active intermittent transform zone accommodating N-S extension in western Anatolia and its relation to the North Anatolian Fault System. In *International Workshop on the North Anatolian, East Anatolian and Dead Sea Fault Systems: Recent Progress in Tectonics and Paleoseismology, and Field Training Course in Paleoseismology, Ankara. Poster Session* (Vol. 2, No. 2).
- Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Sümer, Ö., Uzel, B., Eski, S., Güler, T., Yaralı, G. (2013). *Diri Faylarda Reaktivasyon: Edremit Fay Zonu, Biga Yarımadası, KB Anadolu*. ATAG 17; *Bildiri Özleri Kitabı, Türkiye*.
- Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Uzel, B., Sümer, Ö., Eski, S., Tepe, Ç., Güler, T., Yaralı, G. (2014). *Havran-Balıkesir Fay Zonu: jeolojik, jeomorfolojik ve paleosismolojik ön bulgular*. ATAG 18; *Bildiri Özleri Kitabı, Türkiye*.
- Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Uzel, B., Sümer, Ö., Eski, S., Tepe, Ç., Güler, T., Yaralı, G. (2015a). *Edremit Fay Zonu ile Havran-balıkesir Fay zonunun Jeolojik, Jeomorfolojik ve Paleosismolojik Özellikleri*. 68. *Türkiye Jeoloji Kurultayı; Bildiri Özleri Kitabı, Türkiye*.
- Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Uzel, B., Sümer, Ö., Eski, S., Tepe, Ç., Güler, T., Yaralı, G. (2015b). *Edremit Fay Zonu ve Havran-Balıkesir Fay Zonunun Paleosismolojisi*. ATAG 19; *Bildiri Özleri Kitabı, Türkiye*.
- Sözbilir, H., Sümer, Ö., Özkaymak, Ç., Uzel, B., Güler, T., & Eski, S. (2016a). Kinematic analysis and palaeoseismology of the Edremit Fault Zone: evidence for past earthquakes in the southern branch of the North Anatolian Fault Zone, Biga Peninsula, NW Turkey. *Geodinamica Acta*, 28(4), 273-294.
- Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Uzel, B., Sümer, Ö., Eski, S., & Tepe, Ç. (2016b). Palaeoseismology of the Havran-Balıkesir Fault Zone: evidence for past earthquakes in the strike-slip-dominated contractional deformation along the southern branches of the North Anatolian fault in northwest Turkey. *Geodinamica Acta*, 28(4), 254-272.
- Sugai, T., Awata, Y., Toda, S., Emre, O., Dogan, A., Ozalp, S., ... & Yamaguchi, M. (2001). Paleoseismic investigation of the 1999 Düzce earthquake fault at Lake Efteni, North Anatolian fault system, Turkey. *Annual Report on Active Fault and Paleoequake Researches*, 1, 339-351.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., & Boray, A. (1987). Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri. *MTA. Rap*, 394.
- Saroglu, F., Emre, O., & Kuscu, I. (1992). Active fault map of Turkey. *General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara*.
- Sengör, A. M. C. (1979). The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance. *Journal of the Geological Society*, 136(3), 269-282.
- Şengör, A. M. C., Görür, N., & Şaroğlu, F. (1985). Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study.
- Şengör, A. M. C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakıncı, M., Eyidoğan, H., Görür, N., ... & Rangin, C. (2005). The North Anatolian fault: A new look. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 33, 37-112.
- Şengör, A. C., Grall, C., İmren, C., Le Pichon, X., Görür, N., Henry, P., ... & Siyako, M. (2014). The geometry of the North Anatolian transform fault in the Sea of Marmara and its temporal evolution: implications for the development of intracontinental transform faults. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 51(3), 222-242.
- Tan, O., Tapirdamaz, M. C., & Yörük, A. (2008). The earthquake catalogues for Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17(2), 405-418.
- Tan, O., & Taymaz, T. (2004). Seismotectonics of the Caucasus and surrounding regions: source parameters and rupture histories of the recent destructive earthquakes. In *AGU Fall Meeting Abstracts*.
- Taymaz, T. (1999). Seismotectonics of the Marmara region: source characteristics of 1999 Golcuk-Sapanca-Duzce earthquakes. In *Proceedings of The International Symposium on the Kocaeli Earthquake* (pp. 55-78).

- Tibi, R., Bock, G., Xia, Y., Baumbach, M., Grosser, H., Milkereit, C., ... & Zschau, J. (2001). Rupture processes of the 1999 August 17 Izmit and November 12 Düzce (Turkey) earthquakes. *Geophysical Journal International*, 144(2), F1-F7.
- Tokay, F., Dirik, K., 2004. The 1953 Yenice–Gönen Earthquake (Mw:7,2) rupture-fault geometry and slip distribution (SW Strand of North Anatolian Fault System-Turkey). In: *Chatzipetros, A., Pavlides, S. (Eds.), Proceedings of the 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology*, Thessaloniki, Greece, pp. 657–658.
- Tunay, M. ve Ateşoğlu, A. (2008). “Çok zamanlı uydu görüntüleri ile Amasra ve yakın çevresine ait bitki örtüsü değişim analizi”. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 10(13), 71-80.
- USGS-NEIC. United States Geological Survey National Earthquake Information Center. Retrieved from <http://earthquake.usgs.gov/contactus/golden/neic.ph>
- Wells, D. L., & 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(4), 974-1002.
- Yakar, M., Yılmaz, H. M., and Mutluoğlu, Ö. (2009). Hacim Hesaplamalarında Laser Tarama Ve Yersel Fotogrametrisinin Kullanılması. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı. 46
- Yaltırak, C., & Okay, A. I. (2004). Geology of the Paleotetis units at the northern part of Edremit Bay. *ITU Dergisi*, 3(1), 67-79.
- Yaltırak, C. (2003). *Edremit körfezi ve kuzeyinin jeodinamik evrimi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Yaltırak, C. (2006). Kazdağı'nın Tektonik Yapısı ve Edremit Körfezi'ni Karadan Sınırlayan Fayların Karakterleri The tectonic structure of Kazdağı and character of faults which are bounding Edremit Bay from land. *ATAG-10 Bildiri Özleri Kitabı*, 94-95.
- Yazıcı, N. (2003): *Ocak 1898 Balıkesir Depremi ve Sonrası*, ISBN:975-288-391-5, Ankara.
- Yeats, R. S., Sieh, K. E., & Allen, C. R. (1997). *The geology of earthquakes*. Oxford University Press, USA.
- Yılmaz, Y., & Karacık, Z. (2001). Geology of the northern side of the Gulf of Edremit and its tectonic significance for the development of the Aegean grabens. *Geodinamica Acta*, 14(1-3), 31-43.
- Yılmaz, H. M., Mutluoğlu, Ö., Ali, U., Yaman, A. ve Bilgilioğlu, S. S. (2018). “İnsansız hava aracı ile ortofoto üretimi ve Aksaray Üniversitesi kampüsü örneği”. *Geomatik*, 3(2), 129-136.
- Yiğit, A. Y. ve Ulvi, A. (2020). “İHA fotogrametrisi tekniği kullanarak 3b model oluşturma: Yakutiye Medresesi örneği”. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 46-54.
- Yoshioka, T., & Kuşçu, İ. (1994). Late Holocene faulting events on the Iznik-Mekece fault in the western part of the North Anatolian Fault Zone, Turkey. *Bull. Geol. Surv. Jpn*, 45(11), 677-685.
- Zimmermann, F. (1945). 6.10.1944 tarihinde vuku bulan Ayvacık-Ayvalık yersarsıntısı [Ayvacık-Ayvalık Earthquake occurred on October 6, 1944] (Report No. 025.343 Dab0). Ankara: *Earthquake Research Centre Pub.*