T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DOĞU ANADOLU FAY ZONU ILICA SEGMENTİ'NİN AKTİF TEKTONİK ÖZELLİKLERİNİN PALEOSİSMOLOJİK ve MORFOMETRİK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

Hanife Merve ÖNAL

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Aynur DİKBAŞ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

Ocak, 2023

Tez Jürisi

		İmza	Sonuç
DANIŞMAN	Dr. Öğr. Üyesi Aynur DİKBAŞ İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı		☐ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Onur TAN İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı		☐ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Mehmet Korhan ERTURAÇ Gebze Teknik Üniversitesi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü		☐ Kabul ☐ Ret

BÜTÇE DESTEKLERİ

DOĞU ANADOLU FAY ZONU ILICA SEGMENTİ'NİN AKTİF TEKTONİK ÖZELLİKLERİNİN PALEOSİSMOLOJİK ve MORFOMETRİK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

Bu tez çalışması, T.C. İç İşleri Bakanlığı Ulusal Deprem Araştırma Programı (UDAP) UDAP-Ç-21-38 numaralı proje ile desteklenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında danışmanlığımı yapan ancak hiçbir zaman sadece bir danışman olmayan, beni yeni ufuklara sürükleyen, her gün deneyimiyle, bilgi birikimiyle ışık olan, hiçbir konuda yardımını esirgemeyen çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Aynur Dikbaş'a;

Arazi çalışmaları sırasında yardımlarını esirgemeyen değerli çalışma arkadaşlarım Araş. Gör. Dr. Serdar Akgündüz'e, Jeo. Yük. Müh. Mehran Basmenji'ye, Dr. Mesut Aygül'e, Jeo. Müh. Büşra Köroğlu'na;

Tez çalışması boyunca özellikle Bingöl ve civarının bölgesel jeolojisi hakkında büyük destek sağlayan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Kenan Akbayram'a;

OSL yaş tayini analizleri, multikopter çalışmaları sırasında ve sonrasında elde edilen fotoğraflardan veri setleri oluşturulmasında büyük katkıları olan değerli hocam Doç.Dr. Mehmet Korhan Erturaç'a;

OSL yaş tayini analizlerindeki katkılarından dolayı Doç Dr. Eren Şahiner'e;

Morfometrik analiz çalışmalarında bilgi birikiminden yararlandığım değerli Doç. Dr. Taylan Sancar'a;

Arazi çalışmaları sırasında desteklerini esirgemeyen Bingöl Ilıcalar Belediye Başkanı Mehmet Akif Günerigök'e, Ilıcalar Kamışlı Köyü Muhtarı Mustafa Varol'a;

Ve son olarak da her zaman yanımda olan ve güçlerini arkamda hissettiğim biricik aileme, beni hiçbir arazimde yalnız bırakmayıp, benimle birlikte çekiç sallayan canım babam Necati Güney'e, her konuda arkamda duran ve beni destekleyen eşim Aykut Önal'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak 2023 **Hanife Merve ÖNAL**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

BÜTÇE DESTEKLERİ ..... **iii**
TEŞEKKÜR ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
TABLO LİSTESİ ..... **xvi**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xvii**
ÖZET ..... **xviii**
ABSTRACT ..... **xx**
1. GİRİŞ **1**
1.1. ÇALIŞMA ALANI 2
1.2. AMAÇ 3
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE **4**
2.1. BÖLGESEL TEKTONİK 4
2.1.1. Ölü Deniz Faz Zonu 6
2.1.2. Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) 6
2.1.3. Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) 7
3. YÖNTEM **10**
3.1. UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ ÇALIŞMALARI 10
3.2. TEMEL JEOLOJİ HARİTALAMA 11
3.3. FAY MORFOLOJİSİ 11
3.4. MORFOMETRİ 13
3.4.1. Hipsometrik Eğri ve Hipsometrik İntegral (HI) 14
3.4.2. Havza Asimetri Faktörü (AF) 16
3.4.3. Dere Boy-Gradyan İndisi (SL) 16
3.5. SİSMOLOJİK KATALOG OLUŞTURMA 17
3.6. PALEOSİSMOLOJİK HENDEK 19
3.7. KUVATERNER YAŞLANDIRMA 21
3.7.1. Optik Uyarılmalı Lüminesans (OSL) 21
3.7.2. Karbon-14 (C-14) Yaşlandırma 22
4. BULGULAR **25**

4.1. UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ ÇALIŞMALARI 25
4.2. STRATİGRAFİ 32
4.2.1. Bitlis Metamorfitleri 32
4.2.2. Adilcevaz Formasyonu 36
4.2.3. Solhan Formasyonu 37
4.2.4. Traverten 38
4.2.5. Güncel Çökeller 46
4.3. YAPISAL JEOLOJİ 48
4.4. FAY MORFOLOJİSİ VE ÖTELENMİŞ YAPILAR 61
4.5. MORFOMETRİ 73
4.5.1. Hipsometrik Eğri ve İntegral 76
4.5.2. Asimetri Faktörü (AF) 81
4.5.3. Dere Boy- Gradyan İndisi (SL) 85
4.6. DEPREM TARİHÇESİ 91
4.6.1. Tarihsel Dönem Depremleri (1900 öncesi) 91
4.6.2. Aletsel Öncesi Dönem (1900-1964) ve Aletsel Dönem (1964-2022) Depremleri 95
4.7. PALEOSİSMOLOJİK HENDEK 103
4.7.1. Hacılar Hendeği 104
4.7.2. Ilıca Hendeği 117
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 122
KAYNAKLAR 130
EKLER 142

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1: Ilıca segmentinin a. KAFZ ve DAFZ'na göre konumu, b. Ilıca segmentinin uzanımı ve segment boyunca topoğrafik yükseklik bilgisi. 2

Şekil 2.1: Türkiye ve civarının Neotektonik haritası (Emre ve diğ. 2018). 5

Şekil 2.2: GNSS verilerine göre Türkiye ve civarında yer alan tektonik levhaların modellenmiş yıllık kayma hızları (Nocquet, 2012). 5

Şekil 2.3: GNSS verilerine göre Türkiye ve yakın civarında yıllık kayma yönü ve miktarı (Nocquet, 2012). 5

Şekil 2.4: DAFZ üzerinde KD'dan GB'ya fay segmentleri ve segmentlerle ilişkilendirilen depremler (Duman ve Emre (2013) ve Nalbant ve diğ. (2005)'den değiştirilerek). 8

Şekil 3.1: Doğrultu atımlı fay zonlarında gelişen sıkışmalı ve genişlemeli tektonik ortam (Twiss ve Moores, 1992 ve Davis ve diğ., 2012'den değiştirilerek). 12

Şekil 3.2: Aktif doğrultu atımlı faya bağlı gelişen morfolojik yapılar (Wesson ve diğ., 1975)'den değiştirilerek. 13

Şekil 3.3: Strahler dizilimine göre oluşturulmuş drenaj ağı. 14

Şekil 3.4: Havza aşınım evrelerini gösteren blok diyagram (Davis, 1884). 14

Şekil 3.5: Hipsometrik eğrinin oluşturulması ve havza aşınım evrelerini temsil eden hipsometrik eğriler (Strahler (1952) ve Mayer (1990)'dan değiştirilerek). 15

Şekil 3.6: Havza asimetri faktörünün hesaplanması (Bull ve McFadden (1977)'den değiştirilerek). 16

Şekil 3.7: Akarsu havzasında boy-gradyan indisi (SL) (Hack, 1973'den değiştirilerek). 17

Şekil 3.8: Paleosismolojik hendek tipleri (McCalpin, 2009'dan değiştirilerek). 20

Şekil 3.9: Fay zonlarında hendek içerisindeki stratigrafik birimlerde karşılaşılan ve eski deprem varlığını gösteren yapılar. A. Birimin aniden kesilmesi, B. Kum konisi oluşumu; C. Dalgalanma-tiltlenme-deformasyon oluşumu. D. Kamalanma ve açısal uyumsuzluk; E. Kamalanma; F. Fay zonunda dolgu malzemesi. E ile gösterilen seviye olay seviyesidir ve eski bir depremi işaret eder (Burbank ve Anderson, 2012). 21

Şekil 3.10: Bir kömür örneğinden laboratuvarda elde edilmiş C-14 sonucunun Oxcal v.4.0.5 yazılımında kalibre edilerek yaş aralığı değerlerinin elde edilmesi (Dikbaş (2009)'dan alınmıştır). 24

Şekil 3.11: Bir kömür örneğinden laboratuvarda elde edilmiş C-14 sonucunun Oxcal v.4.0.5 yazılımında kalibre edilerek yaş aralığı değerlerinin elde edilmesi (Dikbaş (2009)'dan alınmıştır). 24

Şekil 4.1: Çalışma alanı ve çevresinin ASTER verisinden elde edilen 28m çözünürlükteki sayısal yükseklik modeli. 26

Şekil 4.2: Ilıca segmenti boyunca 1/25000 ölçekli yükseklik eğrileri ile elde edilen 5 m çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli. 26

Şekil 4.3: Ilıca Segmenti boyunca HGM'den elde edilen renkli ve aşmalı hava fotoğrafları kullanılarak oluşturulan Ortomozaik fotoğraf ve sayısal yükseklik modeli. 27

Şekil 4.4: Ilıca segmenti üzerinde multikopter uçuşu gerçekleştirilen lokasyonlar. 27

Şekil 4.5: Ilıca Segmenti üzerinde Ilıca Lokasyonunda a. Hava fotoğraflarının dağılım planı, b. Örtüşen fotoğraf sayısının dağılımı. 28

Şekil 4.6: Ilıca Segmenti üzerinde Ilıca Lokasyonunda oluşturulan ortofotoğraf ve sayısal yükseklik modeli. 28

Şekil 4.7: Ilıca Segmenti üzerinde Vadi Lokasyonunda a. Hava fotoğraflarının dağılım planı, b. Örtüşen fotoğraf sayısının dağılımı. 29

Şekil 4.8: Ilıca Segmenti üzerinde Vadi Lokasyonunda oluşturulan ortofotoğraf ve sayısal yükseklik modeli. 29

Şekil 4.9: Ilıca Segmenti üzerinde Hacılar Lokasyonunda a. Hava fotoğraflarının dağılım planı, b. Örtüşen fotoğraf sayısının dağılımı. 30

Şekil 4.10: Ilıca Segmenti üzerinde Hacılar Lokasyonunda oluşturulan ortofotoğraf ve sayısal yükseklik modeli. 30

Şekil 4.11: Ilıca Segmenti üzerinde Sudurağı Lokasyonunda a. Hava fotoğraflarının dağılım planı, b. Örtüşen fotoğraf sayısının dağılımı. 31

Şekil 4.12: Ilıca Segmenti üzerinde Sudurağı Lokasyonunda oluşturulan ortofotoğraf ve sayısal yükseklik modeli. 31

Şekil 4.13: Çalışma alanı Ilıca Segmentinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti. 33

Şekil 4.14: Hacılar köyü güneyinde Bitllis Metamorfitleri ile Solhan Formasyonunun tektonik ilişkisi. Kırmızı renkli oklar Ilıca segmentini işaret etmektedir (Bakış Yönü: GB). 34

Şekil 4.15: Çobantaşı köyünün kuzeydoğusunda Göynük Çayı'nın Ilıca segmenti tarafından kesildiği lokasyonda yüzeyleyen Bitlis Metamorfitleri Mermer Üyesi. (Bakış Yönü: KD). ... 34

Şekil 4.16: Sudurağı köyünün güneydoğusunda bir mermer mostrası (Bakış Yönü KD). 35

Şekil 4.17: Yenibaşlar köyünün kuzeyinde mostra veren Bitlis Metamorfitleri içerisinde yer alan şistler (Bakış Yönü: KB). 35

Şekil 4.18: Yenibaşlar köyü kuzeyinde şistlerin yakından görünüşü (Bakış Yönü: KB). 35

Şekil 4.19: Adilcevaz Formasyonu resifal kireçtaşları içerisindeki makro fosil kavkıları. 36

Şekil 4.20: Çobantaşı köyü doğusunda, Adilcevaz Formasyonu ile Bitlis Metamorfitleri arasında izlenen tektonik dokanak (Bakış Yönü KD). 36

Şekil 4.21: Ilıca segmenti civarında Solhan Volkanitlerinin genel görünümü (Bakış Yönü: KB). 37

Şekil 4.22: Çobantaşı köyü doğusunda dere boyunca Bitlis Metamorfitleri ve Solhan Volkanitleri arasındaki tektonik dokanak. Kırmızı renkli oklar tektonik dokanağı göstermektedir (Bakış Yönü: D).....38

Şekil 4.23: Tümsek Tepe'nin güneyinde Göynük çayının batı kenarında Solhan Volkanitleri ve üzerinde görülen bazaltlar (Bakış Yönü: KB). 38

Şekil 4.24: Çalışma alanında yüzeyleyen travertenler içerisinde görülen nodüler yapı, gözenekli yapı ve soğan kabuğu yapısı.....39

Şekil 4.25: Sudurağı köyü güneydoğusunda Beyin dere yakınında tabakalı traverten (Bakış Yönü: KB). 40

Şekil 4.26: Beyin dere'nin kuzeyinde tabakalı traverten ile solhan volkanitlerinin dokanağı (Bakış Yönü: K). 40

Şekil 4.27: Alatepe köyü güneyinde, Tartalı Tepe'nin doğusunda Göynük Çayı kenarında yüzeyleyen traverten taraçası (Bakış Yönü: B). 41

Şekil 4.28: Hacılar köyü güneybatısında görülen sırt tipi travertenlerde gelişmiş kırık çatlakların sayısal yükseklik modeli üzerindeki görüntüsü. Yaş verileri ÇolakErol ve diğ., 2015'den alınmıştır.....42

Şekil 4.29: Hacılar köyü güneybatısı, Hamam Tepe'nin kuzeyinde görülen sırt tipi travertenler (Bakış Yönü: GB).....42

Şekil 4.30: Sudurağı köyü güneydoğusunda Beyin Deresi yakınında traverten ile mermerin tektonik dokanağı (Bakış Yönü: D).....43

Şekil 4.31: Hacılar köyü kuzeydoğusunda derede traverten ve yamaç molozu (Bakış Yönü: D-GD). 43

Şekil 4.32: Hacılar köyü güneybatısında sırt tipi travertenlerde a. doğal çıkış noktası ve b.patlamaları önlemek amacıyla açılmış yapay su çıkış noktası. 44

Şekil 4.33: Hacılar köyü güneybatısında dere kenarında sıcak su doğal çıkış noktası (Bakış Yönü:B). 45

Şekil 4.34: Alatepe köyü doğusunda sıcak su çıkış noktası (Bakış Yönü: K). 45

Şekil 4.35: Göynük Çayı yatağında çökelen Alüvyonların genel görünümü. 46

Şekil 4.36: Yenibaşlar Köyü'nde mermer ve yamaç molozu (Bakış Yönü: KB).....46

Şekil 4.37: Beyin derenin kenarında travertenlerle ardalanmalı görülen yamaç molozu (Bakış Yönü: K).....47

Şekil 4.38: Hacılar'ın güneybatısında görülen heyelanlar.....47

Şekil 4.39: Hacılar köyü güneybatısında görülen sırt tipi travertenlerde gelişmiş kırık çatlakların ortomozaik fotoğraf üzerinde konumları 48

Şekil 4.40: Çalışma alanı içerisinde DAFZ boyunca incelenmiş fay düzlemlerinden elde edilmiş a)doğrultu; b)eğim yönü; c)eğim açısı değerlerinden oluşturulmuş gül diyagramlar. 49

Şekil 4.41: Çalışma alanı içerisindeki DAFZ'na konjugat gelişmiş faylara ait gül diyagram. 50

Şekil 4.42: Çalışma alanı içerisinde DAFZ üzerinde ölçülen fay doğrultularından ve Hacılar köyü güneybatısında sırt tipi travertende ölçülmüş 272 adet çatlaktan elde edilen gül diyagramları. 50

Şekil 4.43: Doğrultu atımlı fayın gerilme eksenleri (Wilcox ve diğ. 1973, Bartlett ve diğ. 1981'den değiştirilerek 51

Şekil 4.44: Köklü Köyü'nün doğusunda Tümsek Tepe'nin batısında yol yarmasında Solhan formasyonunu kesen faylar (Bakış Yönü: KD). 51

Şekil 4.45: Yenibaşlarda köyün girişinde taraçalarda görülen faylanma. Fay kırıklarında kalsit oluşumları gözlenmektedir (Bakış Yönü : G). 52

Şekil 4.46: Alatepe köyü doğusunda Göynük Çayı kuzeyinde yol kenarında görülen fay (Bakış Yönü: B). 52

Şekil 4.47: Alatepe köyü doğusunda travertenleri kesen faylar (Bakış Yönü: GB). 53

Şekil 4.48: Alatepe köyünde travertenlerde Ilıca segmentine konjugat gelişen fay (Bakış Yönü: B). 53

Şekil 4.49: Alatepe köyü kuzeydoğusu ile Çobantaşı köyü güneybatısı arasında Solhan volkanitleri içerisinde görülen faylanma (Bakış Yönü B). 54

Şekil 4.50: Çobantaşı köyü doğusunda Solhan Volkanitlerini kesen K10°B doğrultulu fay (Bakış Yönü: G). 54

Şekil 4.51: Hacılar köyü güneybatısında Göynük Çayı yatağı içerisinde Solhan formasyonunda faylanma (Bakış Yönü : GB). 55

Şekil 4.52: Hacılar köyükuzeyi, Hoşek Tepe'nin güneybatısında Solhan volkanitlerini kesen fay ve fay düzlemi üzerinde gelişmiş fay kili (Bakış Yönü: D). 55

Şekil 4.53: Hacılar Köyü'nde izlenen altta (A) yamaç molozu ve üstte (B) travertenleri kesen faylar. Beyaz noktalar OSL numunelerinin alındığı yerler (Bakış Yönü: KD). 56

Şekil 4.54: Hacılar Köyü güneyinde Göynük vadisi kuzeyinde Solhan Volkanikleri ve Kuvaterner çökellerini kesen faylar (Bakış Yönü: D-GD). Beyaz noktalar alınan OSL numunelerin yerlerini göstermektedir. 57

Şekil 4.55: Hacılar köyü güneydoğusunda DAFZ'na konjugat gelişen faylar görülmektedir (Bakış Yönü:D). 58

Şekil 4.56: Hacıların güney doğusunda hendek alanında heyelanda DAF'a konjugat gelişmiş faylanma. 58

Şekil 4.57: Hacılar köyü doğusunda, çalışma alanı içerisindeki en yaşlı birim olan Bitlis Metamorfitlerini kesen Ilıca segmentine konjugat gelişmiş bir fay (Bakış Yönü: D)..... 59

Şekil 4.58: Tapan Tepe'nin doğu yamacında Solhan volkanitlerini kesen bir fay (Bakış Yönü: B). 59

Şekil 4.59: Ladere'nin kenarında Solhan formasyonu içerisinde bir faylanma ve fay düzlemi üzerinde gelişen fay kili (Bakış Yönü B-KB). 60

Şekil 4.60: Sudurağı köyü kuzeyinde Çaçan Tepe ile Ağacan Tepe arasında yol yarmasında Solhan Volkanitlerinde izlenen faylanmalar (Bakış Yönü: B). 60

Şekil 4.61: Sudurağı köyü kuzeyindeki bir yol yarmasında DAFZ'nu kesen faylar (Bakış Yönü: B). 61

Şekil 4.62: Doğu Anadolu Fay Zonu içerisinde, Bingöl havzası kuzeydoğusunda Ilıca segmentinin konumu. 62

Şekil 4.63: Bingöl havzası kuzeydoğusundan Ilıca segmentinin izlendiği Göynük vadisi morfolojisine KD yönlü bir bakış. 62

Şekil 4.64: Ilıca Segmenti'nin GB kesimi ve gelişen morfolojik yapılar. 63

Şekil 4.65: Ekinyolu köyü kuzeydoğusunda Göynük vadisi batısında gözlenen Doğu Anadolu Fay Zonu genel doğrultusuna paralel gelişmiş uzamış sırt. Beyaz oklar sırt eksenini işaret etmektedir. (Bakış yönü: KD) 63

Şekil 4.66: Ekinyolu Köyü'nün kuzeydoğusunda Zürap Tepe'nin kuzeydoğusunda göynük çayının kenarında gerçekleşen heyelan (Bakış Yönü: B). 64

Şekil 4.67: Zürap Tepe'nin kuzeydoğusunda Göynük Çayı'nın kenarında taraça basamakları (Bakış Yönü: K). 64

Şekil 4.68: Ilıca Segmenti'nin orta kesimi ve gelişen morfolojik yapılar. 65

Şekil 4.69: Ilıca Segmenti içerisinde metamorfik istifte gözlenen ötelenme. 65

Şekil 4.70: Uzundere – Yenibaşlar dolaylarında faylanmanın etkisiyle meydana gelen ötelenme değerleri. 66

Şekil 4.71: Ilıca Segmenti'nin KD kesimi ve gelişen morfolojik yapılar. 66

Şekil 4.72: Çobantaşı'nın güneyinde fay morfolojisini yansıtan çöküntü alanı. Kırmızı renkli oklar fayı göstermektedir (Bakış Yönü: B). 67

Şekil 4.73: Çobantaşı'nın güneyinde dere kenarında gelişmiş heyelan ve taraça basamakları. Bitlis Metamorfitleri,ve Solhan Formasyonunun tektonik dokanağı kırmızı oklar ile gösterilmiştir (Bakış Yönü: KD). 67

Şekil 4.74: Hacılar Köyü'nün güneyinde Göynük vadisinde sayısal yükseklik modeli üzerinde görülen morfolojik yapılar. 68

Şekil 4.75: Göynük vadisinde basamaklı taraçalar. 68

Şekil 4.76: Hacılar Köyü güneydoğusunda hendek alanı ve gözlenen morfolojik yapılar. 69

Şekil 4.77: Hacılar köyü güneyinde Ilıca segmenti üzerinde morfolojide gelişen oluk yapısı. 69

Şekil 4.78: Hacılar'ın batısında Hamam Tepe'nin kuzey doğusunda, sırt tipi travertenin güneybatısında görülen fay gölü. 70

Şekil 4.79: Hacılar ve Sudurağı köyleri arasında kalan alanda DAFZ içerisinde gelişmiş uzamış sırtlar 70

Şekil 4.80: Göynük köyü batısında izlenen uzamış sırtlar (Bakış: GD). 71

Şekil 4.81: Sudurağı köyü kuzeybatısında gelişen morfolojik yapılar. 71

Şekil 4.82: Ladere'nin güney-güneydoğusunda gelişmiş çöküntü alanı, kırmızı renkli oklar fayı göstermektedir. 72

Şekil 4.83: Sudurağı köyü kuzeybatısında gözlenen oluk yapısı Solhan volkanikleri ve güncel çökeller (Q) arasında dokanak oluşturan bir fayın izi olarak izlenmektedir. 72

Şekil 4.84: Sudurağı köyü'nün kuzeyinde Kuvaterner çökelde ötelenme. 73

Şekil 4.85: Çalışma alanı ve çevresini kapsayan havzanın hipsometrik indis hesaplamalarında kullanılan ASTER verisinden türetilmiş yükseklik haritası. 74

Şekil 4.86: Ilıca segmentinin yer aldığı ana havzada drenaj ağının Strahler dizilimine göre sınıflandırılması. Renkli sayısal yükseklik modeli Ilıca segmentinin havza içerisindeki uzanımını göstermektedir. 75

Şekil 4.87: Ilıca segmentinin yer aldığı ana akaçlama havzasının alt havzaları. 75

Şekil 4.88: Ana havzaya ait hipsometrik integral grafiği. 76

Şekil 4.89: 1-12 numaralı havzalara ait Hipsometrik İntegral değerleri ve Hipsometrik Eğriler. 78

Şekil 4.90: DAFZ'nun batısında kalan havzalardan elde edilen Hipsometrik Eğriler. 78

Şekil 4.91: 13-20 numaralı havzalara ait Hipsometrik İntegral değerleri ve Hipsometrik Eğriler. 80

Şekil 4.92: DAFZ'nun doğusunda kalan havzalardan elde edilen Hipsometrik Eğriler. 80

Şekil 4.93: Çalışma alanı ve çevresindeki havzalar için aşınım evrelerini gösteren Hipsometrik Eğri sınıfları. 81

Şekil 4.94: Çalışma alanı ve çevresinde, gri renkle gösterilen toplam havza alanları (At) ve farklı renklerde gösterilen ana yatağın sağında kalan alanlar (Ar).....82

Şekil 4.95: Hesaplanmış havza Asimetri Faktörü (AF) değerleri. 83

Şekil 4.96: 19 numaralı havza kuzeybatıya doğru (sarı alandan gri alana doğru) tiltlenmiştir (Sarı renkli alan toplam havza alanını, gri renkli alan drenaj ağının sağında kalan alanı göstermektedir). Havza ekseni Ilıca segmenti ile aynı doğrultuda gelişmiştir.. 84

Şekil 4.97: Ilıca segmentinin KD kesiminde yer alan 9,10,11 numaralı drenaj havzalarında GD yönünde görülen tiltlenme (tiltlenme renkli havza alanlarından gri alana doğrudur). 84

Şekil 4.98: Alt havzalarda SL hesaplaması için kullanılan noktalar. 85

Şekil 4.99: Alt havzalarda hesaplanan SL değerlerinin dağılımı. 86

Şekil 4.100: 1-10 numaralı havzalara ait SL indis değerleri. 89

Şekil 4.101: 11-20 numaralı havzalara ait SL indis değerleri 90

Şekil 4.102: AFAD-DAD'dan alınan deprem kataloğuna göre çalışma alanı ve çevresinde 1900-2022 yılları arasında meydana gelmiş büyüklüğü 4 ve üzeri olan depremler. Siyah çizgiler Ilıca Segmentini göstermektedir. Beyaz renkle gösterilen alan DAFZ'nun çalışma alanı içerisindeki bölümüdür. 96

Şekil 4.103: Eyidoğan ve Barka (1996)'daki parametrelere (Doğrultu/Eğim/Kayma açısı; düzlem1: 231/81/4; düzlem2: 140/86/171) göre 22 Mayıs 1971 Bingöl depreminin odak mekanizması çözümü. 99

Şekil 4.104: 22 Mayıs 1971 Bingöl depreminde şiddet dağılımını gösteren harita. Yıldız, aletsel episantrı (38^o 80 N – 40^o 50 E) göstermektedir (Seymen ve Aydın, 1972'den sadeleştirilerek). 100

Şekil 4.105: Taymaz ve diğ. (1991) tarafından 22 Mayıs 1971 Bingöl depremi ve Doğu Anadolu Fayı üzerindeki diğer önemli depremler için hazırlanmış odak mekanizması çözümleri. 100

Şekil 4.106: Arpat (1971)'ın saha gözlemlerine dayanarak hazırlanan 22 Mayıs 1971 depreminde gelişen yüzey deformasyonları haritası (Herece, 2008). 101

Şekil 4.107: Çalışma alanının güneybatısındaki Sarıçiçek köyü yakınlarında 22 Mayıs 1971 depremi ile gelişen riedel kırıkları (Seymen ve Aydın, 1972). 102

Şekil 4.108: Paleosismolojik hendek çalışması yapılan lokasyonların Ilıca segmenti üzerinde konumu. 103

Şekil 4.109: Hacılar Hendeğinin konumu. Siyah renkli çizgiler fayı göstermektedir. Kırmızı alan Hacılar Hendek yeri. 105

Şekil 4.110: Kırmızı renkli çizgi fayı göstermektedir. a. Seçilen hendek yeri. b. Faya dik açılan hendek. c. Hendeğin genel görünümü d. Hendeğin kapandıktan sonraki görüntüsü. 105

Şekil 4.111: Hacılar Hendeği kuzey duvarından alınan HC-N-C9 numaralı kömür parçasının kalibre edilmiş C-14 yaş tayini sonucu.....109

Şekil 4.112: Hacılar Hendeği kuzey duvarından alınan HC-N-C10 numaralı kömür parçasının kalibre edilmiş C-14 yaş tayini sonucu.....110

Şekil 4.113: Hacılar Hendeği güney duvarından alınan HC-S-C10 numaralı kömür parçasının kalibre edilmiş C-14 yaş tayini sonucu.....110

Şekil 4.114: Hacılar Hendeği kuzey duvarından alınan HC-N-C12 numaralı kömür parçasının kalibre edilmiş C-14 yaş tayini sonucu.....111

Şekil 4.115: Hacılar Hendeği güney duvarından alınan HC-S-C14 numaralı kömür parçasının kalibre edilmiş C-14 yaş tayini sonucu.....111

Şekil 4.116: Hacılar Hendeği güney duvarından alınan HC-S-C20 numaralı kömür parçasının kalibre edilmiş C-14 yaş tayini sonucu.....112

Şekil 4.117: Hacılar Hendeği güney duvarından alınan HC-S-C21 numaralı kömür parçasının kalibre edilmiş C-14 yaş tayini sonucu.....112

Şekil 4.118: Hacılar hendeği güneybatı duvarı logu. Mavi renkli çizgiler olay seviyelerini göstermektedir. 113

Şekil 4.119: Hacılar hendeği güneybatı duvarının fotomozoik görüntüsü. Sarı üçgen şekiller alınan karbon numunelerini göstermektedir. C-14 yaş tayini için laboratuvara gönderilmiş numunelerin kodları yanlarında yazmaktadır. Yuvarlak içerisindeki üçgenler henüz analiz sonuçları gelmeyen numunelerdir. 113

Şekil 4.120: Hacılar hendeği güneybatı duvarının 0-14 m arasında yakından görünümü. 114

Şekil 4.121: Hacılar hendeği güneybatı duvarının 18-27 m arasının yakından görünümü. ...114

Şekil 4.122: Hacılar hendeği kuzeydoğu duvarı logu. Mavi renkli çizgiler olay seviyelerini göstermektedir. 115

Şekil 4.123: Hacılar hendeği kuzeydoğu duvarınınfotomozoik görüntüsü. Sarı üçgen şekiller alınan karbon numunelerini göstermektedir. C-14 yaş tayini için laboratuvara gönderilmiş numunelerin kodları yanlarında yazmaktadır. Yuvarlak içerisindeki üçgenler henüz analiz sonuçları gelmeyen numunelerdir. 115

Şekil 4.124: Hacılar hendeği kuzeydoğu duvarının 0-12 m arasının yakından görünümü. ...116

Şekil 4.125: Hacılar hendeği kuzeydoğu duvarının 20-27 m arasının yakından görünümü. .116

Şekil 4.126: a. Seçilen hendek yeri. b. Faya dik açılan hendek. c. Hendeğin genel görüntüsü. d. Hendeğin kapatılırken çekilen görüntüsü. 118

Şekil 4.127: Ilıca hendeği güneybatı duvarının logu. Mavi renkli çizgiler olay seviyelerini, sarı üçgenler ise C-14 yaş tayini analizi için alınına örnek lokasyonlarını göstermektedir. 120

Şekil 4.128: Ilıca hendeği güneybatı duvarının fotomozaik görüntüsü. Sarı üçgen şekiller alınan karbon numunelerini göstermektedir. Yuvarlak içerisindeki üçgenler C-14 yaş tayini için gönderilmiş ancak henüz analiz sonuçları gelmeyen numunelerdir. 120

Şekil 4.129: Ilıca hendeği güneybatı duvarının 0-14 m arasının yakından görünümü. 120

Şekil 4.130: Ilıca hendeği kuzeydoğu duvarının logu. Mavi renkli çizgiler olay seviyelerini, sarı üçgenler ise C-14 yaş tayini analizi için alınına örnek lokasyonlarını göstermektedir. 121

Şekil 4.131: Ilıca hendeği kuzeydoğu duvarından hazırlanan fotomozaik görüntüsü. Sarı üçgen şekiller C-14 yaş tayini analizi için alınan numunelerin konumunu göstermektedir. Yuvarlak içerisindeki üçgenler C-14 yaş tayini için gönderilmiş ancak henüz analiz sonuçları gelmeyen numunelerdir. 121

Şekil 5.1: Hacılar hendeğinden elde edilen C-14 yaş tayini sonuçlarının Bayesian analizi ile elde edilen olay seviyelerinin iki sigma (2σ) tarih aralıkları. 129

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1: Uzaktan algılama ve CBS çalışmaları kapsamında kullanılan veri setleri. 11

Tablo 3.2: Tarihsel ve aletsel dönem deprem araştırmalarında kullanılan kataloglar ve kapsadıkları dönem 18

Tablo 4.1: Ilıca Segmenti Ilıca lokasyonunda IHA-SfM Fotogrametri ürün bilgileri. 28

Tablo 4.2: Ilıca segmenti Vadi lokasyonunda IHA-SfM Fotogrametri ürün bilgileri. 29

Tablo 4.3: Ilıca segmenti Hacılar lokasyonunda IHA-SfM Fotogrametri ürün bilgileri. 30

Tablo 4.4: Ilıca segmenti üzerinde Sudurağı lokasyonunda IHA-SfM Fotogrametri ürün bilgileri 31

Tablo 4.5: Hacılar Köyü güney ve batı kesimlerinde DAFZ tarafından kesilen çökellerden alınan OSL yaş tayini sonuçları 57

Tablo 4.6: Hacılar hendeği içerisinde gözlenen litolojik birlikler. 107

Tablo 4.7: Hacılar hendeğine ait Karbon-14 yaş tayini sonuçları. 109

Tablo 4.8: Ilıca Hendeği içerisindeki litolojik seviyeler. 119

Tablo 5.1: Morfometrik analiz sonuçlarının birarada gösterimi 126

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Kısaltmalar Açıklama

AF : Havza Asimetrisi
AFAD-DAD : Afet ve Acil Durum Yönetimi
B.C.E. :Before Common Era
BOUN-KRDAE : Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü
C-14 : Karbon-14
CBS : Coğrafi Bilgi Sistemleri
C.E. :Common Era
DAF : Doğu Anadolu Fayı
DAFZ : Doğu Anadolu Fay Zonu
HGM : Harita Genel Müdürlüğü
HI : Hipsometrik İntegral
İHA-SFM : İnsansız Haca Aracı Structure From Motion
KAF : Kuzey Anadolu Fayı
KAFZ : Kuzey Anadolu Fay Zonu
M.Ö. : Milattan Önce
M.S. : Milattan Sonra
OSL : Optik Uyarılmalı Lüminesans
SYM : Sayısal Yükseklik Modeli
WGS : World Geodetic System

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DOĞU ANADOLU FAY ZONU ILICA SEGMENTİ'NİN AKTİF TEKTONİK ÖZELLİKLERİNİN PALEOSİSMOLOJİK ve MORFOMETRİK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

Hanife Merve ÖNAL

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Aynur DİKBAŞ

Doğu Anadolu Fay Zonu, yerkürede yer alan önemli kıta içi transform faylardan biridir. Sol-yanal doğrultu atımlı karaktere sahip bu aktif fay zonu, kuzeydoğuda Karlıova'nın (Bingöl) doğusundan, güneybatıda Kahramanmaraş'ın güneyine kadar yaklaşık 450 km boyunca 6 farklı geometrik segment halinde izlenir. Bu segmentler KD'dan GB'ya doğru Karlıova Segmenti, Ilıca Segmenti, Palu Segmenti, Pütürge Segmenti, Erkenek Segmenti ve Pazarcık Segmentidir. DAFZ üzerinde hasar yapıcı depremler meydana gelmektedir. Bu tez çalışmasının konusu 22 Mayıs 1971 (M=6.8) Bingöl depreminin merkez üssünün konuşlandırıldığı Ilıca segmentidir. Ilıca Segmenti, Bingöl havzası kuzeydoğusundan, Göynük köyüne kadar K50°D doğrultusunda yaklaşık 35 km boyunca devam eden aktif bir fay zonudur. Ilıca segmenti boyunca yaşı Paleozoyikten Kuvaternere kadar değişen farklı litolojik birimler haritalanmıştır. Permo-Triyas yaşlı Bitlis Metamorfitleri bölgenin temel kayasını oluşturmaktadır. Mermer ve şist kayalarından oluşan bu birim üzerine Miyosen yaşlı resifal kireçtaşları tektonik dokanakla gelmektedir. Geç Miyosen Erken Pliyosen yaşlı Solhan Formasyonu, aglomera, volkanik breş, tüf, bazalt ve andezit litolojileri ile temsil edilir. Çalışma alanı içerisinde en geniş yayılıma sahip bu birim, kendinden daha yaşlı birimler ile tektonik dokanaklıdır. Solhan formasyonu

üzerinde stratigrafik olarak Üst Pliyosen-Pleistosen yaşlı travertenler izlenir. Travertenler; tabakalı, teras tipi ve sırt tipi olmak üzere üç farklı halde gözlenmiştir. Tüm bu birimler Kuvaterner yaşlı alüvyon, yamaç molozu, alüvyal yelpaze çökelleri ile örtülmektedir. Ilıca segmenti doğu ve batı uçlarında birkaç fay kolu halinde daha geniş bir deformasyon zonu içerisinde yer alır. Segmentin orta kesimleri ise dar bir deformasyon zonu olarak takip edilir. Segment boyunca uzamış sırtlar, çöküntü alanları, oluk yapıları ve fay gölcükleri gibi doğrultu atımlı fay morfolojisini işaret eden birçok yapı gözlenmiştir. Mümkün olan lokasyonlarda bu yapılar multikopter ile aşmalı fotoğraflanarak, ortomozaik görüntü ve sayısal yükseklik modelleri oluşturulmuştur. Ilıca Segmenti üzerinde Paleozoyik yaşlı Bitlis metamorfitleri içerisinde 14,5±3 km, Yenibaşlar Köyü'nde yamaç molozunda ~225 m ve Yenibaşlar Dere'de ~82m ötelenme değeri ölçülmüştür. Morfometrik indislerden Hipsometrik İntegral (HI), Havza Asimetrisi (AF) ve Dere Boy-Gradyan İndisi (SL) analizleri yapılmıştır. Ana havza ve ana havzadan oluşturulan 20 alt havzada yapılan bu indislerde Hipsometrik İntegral değerleri 0,307-0,707 arasında değişmektedir. Havza asimetrisi, DAFZ'nun dar deformasyon zonu boyunca havzalarda korunan simetri, segmentin KD'sunda korunamamıştır. Çalışılan 20 alt havzada ölçülen ortalama SL değerleri 237,07- 849,85 arasında değişmektedir. Çalışma alanı ve çevresini kapsayan havzalarda yapılan bu analizlere göre segment boyunca DAFZ' nun batısında kalan havzalarda tektonik süreçlerin erozyonel süreçlere göre daha baskın olduğu söylenebilir. Segment üzerinde iki farklı lokasyonda faya dik olarak birer adet paleosismolojik hendek çalışması gerçekleştirilmiş, hendeklerde izlenen stratigrafik ve yapısal ilişkiler doğrultusunda eski olay (deprem) seviyelerinin varlığı araştırılmıştır. Segmentin kuzeydoğu kesimlerinde Hacılar köyü civarında bir oluk morfolojisi içerisinde açılan Hacılar hendeğinde 3 ayrı olay seviyesi, Ilıca beldesi civarında bir çöküntü alanında açılan Ilıca hendeğinde ise 2 eski olay seviyesi belirlenmiştir. Hacılar hendeğinden alınan numunelerin kalibre edilmiş C-14 yaş tayini analiz sonuçları ile gerçekleştirilen Bayesian olasılık hesaplamasına göre, en eski olay seviyesi M.Ö. 227-M.S. 1184 yılları arasındadır. Bu tarih aralığında deprem kataloğunda 10 adet deprem listelenmiştir. 2. olay seviyesi M.S.1495-1555 tarih aralığını ve 3.olay seviyesi M.S. 1514 'ten sonra gerçekleşen depremleri vermektedir. Deprem kataloğunda bu tarihler arasında deprem bulunmamaktadır.

Ocak 2023 , 165 sayfa.

Anahtar kelimeler: Doğu Anadolu Fay Zonu, Ilıca Segmenti, Deprem, Paleosismoloji, Aktif Tektonik, Morfometri

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

DETERMINATION OF ACTIVE TECTONIC CHARACTERISTICS OF THE ILICA SEGMENT OF THE EASTERN ANATOLIAN FAULT ZONE BY PALEOSEISMOLOGICAL AND MORPHOMETRIC METHODS

Hanife Merve ÖNAL

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Geological Engineering

Geological Engineering Program

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Aynur DİKBAŞ

The East Anatolian Fault Zone is one of the major intra-continental transform faults in the world. This sinistral active fault zone expresses6 different geometric segments along ~ 450 km from the east of Karlıova (Bingöl) in the northeast to the south of Kahramanmaraş in the southwest. These segments are Karlıova Segment, Ilıca Segment, Palu Segment, Pütürge Segment, Erkenek Segment and Pazarcık Segment from NE to SW. Damaging earthquakes were recorded along the EAFZ. The subject of this thesis is the Ilıca segment where the epicenter of the 22 May 1971 (M=6.8) Bingöl earthquake is located. The Ilıca Segment trends for approximately 35 km in N50°E direction from the northeast of the Bingöl basin to the Göynük village. Throughout the Ilıca segment, different lithological units ranging in age from Paleozoic to Quaternary is exposed. Permo-Triassic Bitlis Metamorphics constitute the basement rock of the region. Miocene aged reefal limestones overlie this unit, which consists of marble and schist rocks, with a tectonic contact. The Late Miocene Early Pliocene aged Solhan Formation is represented by agglomerate, volcanic breccia, tuff, basalt and andesite lithologies. This unit, which has the widest distribution in the study area, expresses a tectonic

contact with older units. Upper Pliocene-Pleistocene aged travertines are observed stratigraphically over the Solhan formation. Three different type of travertines areobserved, which are bed type, terrace type and ridge type. All these units are covered by alluvium, talus and alluvial fan deposits that are Quaternary in age. The Ilıca segment trends in relatively wide deformation zone and composed of several fault branches, at its eastern and western ends. The middle parts of the segment prolongs in a narrow deformation zone. Mophological features, which indicate strike-slip faulting, were observed along the segment, such as elongated ridges, shutter ridges, depressions, linear valleys and sag ponds. Orthomosaic images and digital elevation models were derived by multicopter photos at possible locations. Left lateral displacements are measured along the Ilıca segment. Paleozoic aged Bitlis metamorphics are displaced by 14.5 km, slope debris deposits and a stream in Yenibaşlar Village are displaced by 225 m and 82 m, respectively. Morphometric analysis were performed by calculating Hypsometric Integral (HI), Basin Asymmetry (AF) and Stream Length-Gradient Index (SL) morphometric indices. The Hypsometric Integral values were calculated for 20 sub-basins and vary between 0.307 and 0.707. The basins which are located on the NE of Ilıca segment show non-asymmetry and the basinsalong the narrow deformation zone shows assymetry. Average SL values, which are measured in the 20 sub-basins, ranges from 237.07 to 849.85. According to the morphometric analyzes the tectonic processes are dominant than erosional processes in the western part of Ilıca segment. Paleoseismological trenching was carried out at two different locations, named as Hacılar and Ilıca, along the Ilıca segment. According to the stratigraphic and structural relationships, three event horizons were determined in the Hacılar trench and two event horizons were determined in the Ilıca trench. The Bayesian analysis of the calibrated ages of the C-14 samples collected from the Hacılar trench, reveals an age interval of B.C.E. 227 – C.E. 1184 for the oldest event. The age range for he younger event horizon is between 1495 – 1555 C.E. and the youngest event occurred after 1514 C.E.

January 2023, 165. pages.
Keywords: East Anatolian Fault Zone, Ilıca Segment, Earthquake, Paleoseismology, Active Tectonics, Morphometry

1. GİRİŞ

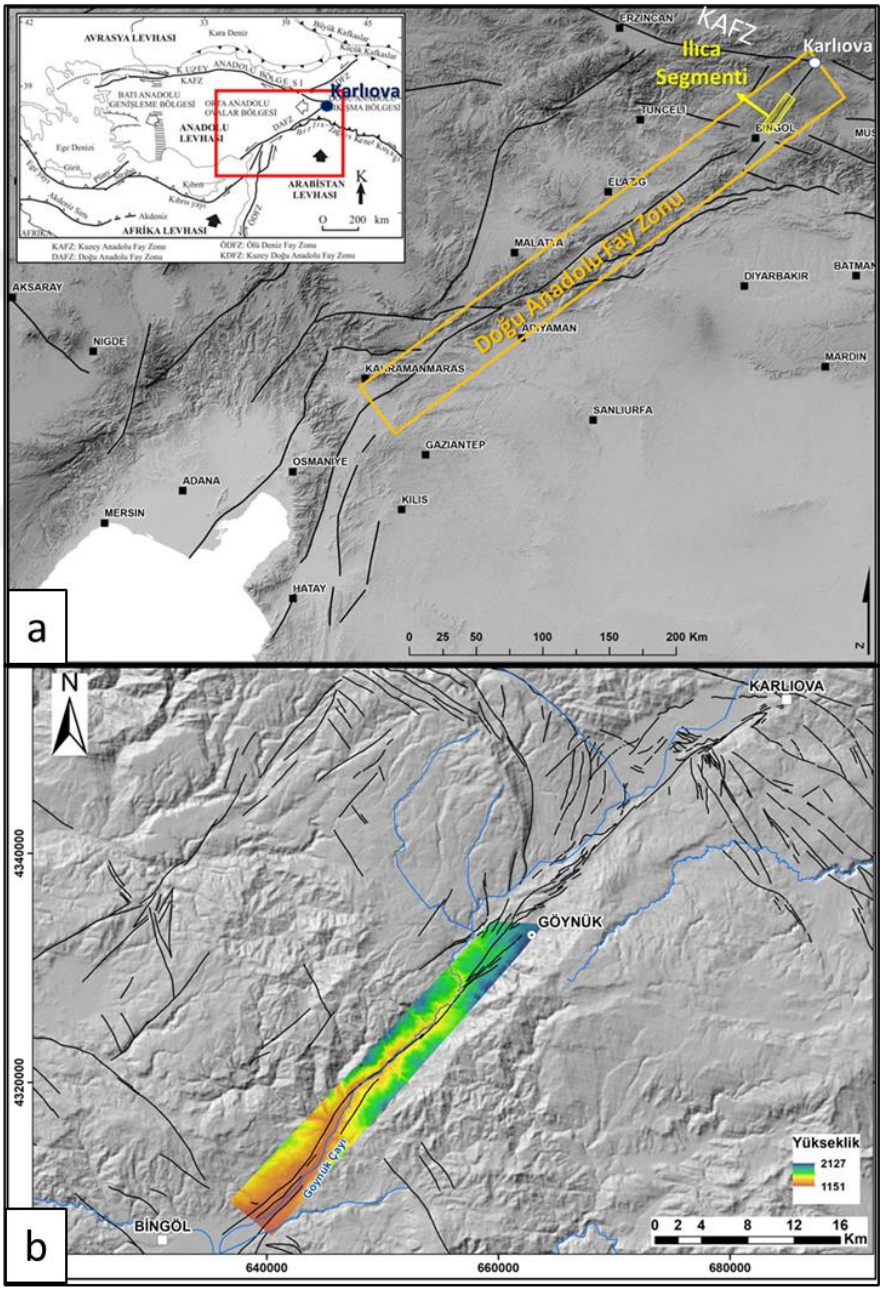
Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Yüksek Lisans Programı kapsamında "Doğu Anadolu Fay Zonu Ilıca Segmenti'nin Aktif Tektonik Özelliklerinin Paleosismolojik ve Morfometrik Yöntemlerle Belirlenmesi" başlığı ile yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Türkiye ve yakın civarında yer alan aktif faylar içerisinde major faylardan biri olan Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), kuzeydoğuda Karlıova doğusunda başlayıp güneybatıda Kahramanmaraş ili güneyine kadar yaklaşık 450 km boyunca uzanan sol-yanal doğrultu atımlı bir fay zonudur. DAFZ üzerinde bugüne kadar bir çok yıkıcı deprem meydana gelmiştir. 22 Mayıs 1971 tarihinde meydana gelen Bingöl depremi (M_s=6.8) de DAFZ üzerinde meydana gelen yıkıcı depremlerden biridir. 1971 Bingöl depremi sonrasında yapılan jeolojik ve sismotektonik araştırmalar bu depremin DAFZ'nun Ilıca segmenti üzerinde meydana geldiğini işaret etmiştir.

Bu tez çalışması, 1971 Bingöl depreminin ilişkilendirildiği Ilıca segmentinin üzerinde morfolojik ve paleosismolojik araştırmalar ile segmetin deprem tarihçesinin ve morfotektonik özelliklerinin ortaya konmasını amaçlamıştır. Çalışma alanı, Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Ilıca segmenti boyunca, Bingöl havzası kuzeydoğu kesimleri ile Sudurağı köyü (Karlıova, BİNGÖL) arasında uzanan yaklaşık 35 km.lik bir kesimi kapsamaktadır. Bu tez çalışmasının birinci bölümünde, çalışma alanı tanıtılmış ve çalışmanın amacı anlatılmıştır. İkinci bölümde, "Kavramsal Çerçeve" başlığı altında DAFZ'nun ilişkili olduğu Kuzey Anadolu Fay Zonu, Ölüdeniz Fay Zonu ve Bitlis-Zagros Bindirme Kuşağı gibi major fay zonları mevcut literatür bilgilerine dayanarak tanıtılmış ve DAFZ'nun segmentleri ayrıca detaylandırılmıştır. Üçüncü bölümde, tez çalışmasında kullanılan araştırma yöntemleri sunulmuştur. Dördüncü bölüm, tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar jeolojik ve morfolojik haritalama ile paleosismolojik hendek başlıkları altında aktarılmıştır. Bu çalışmalarda elde edilen bulgular ile ulaşılan sonuçlar ve tartışma yine aynı bölüm içerisinde sunulmuştur.

1.1. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı, önemli aktif fay zonu olan KAFZ ve DAFZ'nun kesiştiği Karlıova ilçesinin güneyinde yer almaktadır. DAFZ'nun en kuzeydoğu segmentlerinden biri olan Ilıca segmentinde, Bingöl Havzası'nın kuzeydoğusundan başlayarak Göynük Köyü'ne kadar yaklaşık 35 km uzunlukta ve 4 km genişlikte bir zon içerisinde yer alan segment, Murat Nehri'nin kuzey kolunu oluşturan Göynük Çayını takip eder (Şekil 1.1)



Şekil 1.1: Ilıca segmentinin a. KAFZ ve DAFZ'na göre konumu, b. Ilıca segmentinin uzanımı ve segment boyunca topoğrafik yükseklik bilgisi.

1.2. AMAÇ

Doğu Anadolu Fay Zonu hakkındaki mevcut aletsel ve tarihsel döneme ait sismolojik bilgiler (Pınar ve Lahn, 1952; Soysal ve diğ., 1981; Ambraseys, 1988; Taymaz ve diğ., 1991; Guidoboni ve diğ., 1994; Guidoboni ve Comastri, 2005; Ambraseys, 2009; Tan ve diğ., 2011, AFAD, KOERI) tüm fay zonu boyunca hasar yapıcı depremler meydana geldiğini göstermektedir. Birçok yerbilim araştırmasına (Nalbant ve diğ. 2005; Herece, 2008; Duman ve Emre, 2013) göre Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde gelecek zamanlarda da büyüklüğü hasar yapıcı boyutlara ulaşan depremler beklenmelidir.

Doğu Anadolu Fay Zonunun GB ve KB kesimlerinde aktif tektonik yöntemlerle (ör: paleosismoloji, morfometri, sismoloji, blok modelleme) gerçekleştirilmiş araştırmalar (Taymaz ve diğ., 1991; Çetin, 2003; Yönlü ve diğ., 2013; 2017; Duman ve Emre, 2013; Khalifa, 2018; Şentürk ve diğ., 2019, Hubert-Ferrari ve diğ., 2020) bulunmaktadır. Ancak DAFZ'nun KD kesimlerinde, özellikle Bingöl civarında arazi gözlemlerine/verilerine dayanan modern aktif tektonik yöntemler ile gerçekleştirilmiş çalışmalar literatürde yer almamaktadır.

DAFZ üzerinde mevcut paleosismolojik veriler de oldukça sınırlıdır. DAFZ'un Bingöl ili batısından Kahramanmaraş güneyine kadar olan kesiminde yürütülmüş sınırlı sayıda paleosismoloji çalışmaları yapılmıştır. Ancak Bingöl KD'sunda uzanan Ilıca ve Karlıova segmentleri üzerinde gerçekleştirilmiş bir paleosismoloji çalışması literatürde mevcut değildir. Bu tez çalışması kapsamında paleosismolojik yöntem kullanılarak elde edilen eski deprem tarihlendirmeleri Ilıca segmenti üzerindeki ilk paleosismolojik bulgulardır.

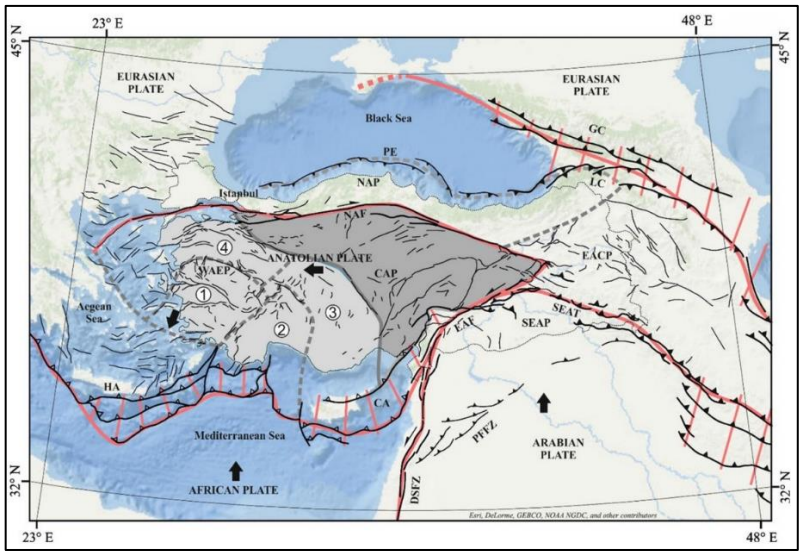
Bu tez kapsamında yapılan jeolojik, jeomorfolojik, morfometrik ve paleosismolojik çalışmalarla segmentin deprem tarihçesinin belirlenmesi ve segment üzerinde gelişmiş uzun dönem ötelenmelerin ölçülmesi hedeflenmiştir. Aktif fay segmentlerinin paleosismolojik ve morfometrik özelliklerinin iyi bilinmesi, deprem tehlike haritalarının oluşturulmasında ve deprem zarar azaltma çalışmalarında önemli bir yer tutacaktır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

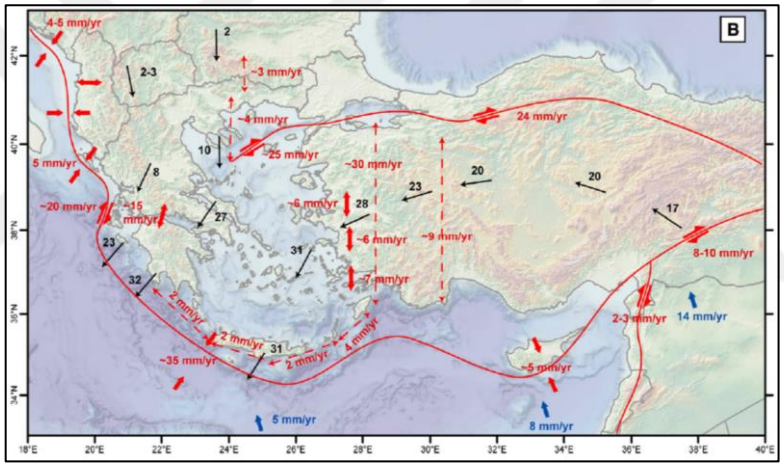
2.1. BÖLGESEL TEKTONİK

Anadolu Levhası, Avrasya Levhasıyla KAF boyunca, Arap Levhasıyla DAFZ boyunca, Afrika Levhasıyla Helen ve Kıbrıs Yayları boyunca sınır oluştururken, Afrika ve Arabistan Levhaları da Ölü Deniz Fay Zonu boyunca sınır oluşturmaktadır. KAF ve DAFZ, Arap Levhası ile Anadolu Levhası'nın Bitlis Zagros Kenet Kuşağı boyunca çarpışmasının bir sonucu olarak oluşmuştur (McKenzie, 1970, 1972; Şengör ve Yılmaz, 1981; Dewey ve diğ., 1986). Çarpışmayla başlayan sıkışmalı tektonik rejim, bir yandan Arap Levhası'nın Anadolu Levhası'nı güneyden sıkıştırması, bir yandan da Helen Yayı boyunca Afrika Levhasının Anadolu Levhasının altına dalması sonucu Anadolu Levhası'nın KAF ve DAFZ boyunca batıya hareketi ile kaçma tektoniği rejimi egemen olmuştur (Şengör ve diğ., 1985) (Şekil 2.1) Bu hareket Anadolu Bloğunun 4 Neotektonik bölgeye ayrılmasına neden olmuştur. Karlıova'nın doğusu kabuk kalınlaşması ve kıvrımlanmaların görüldüğü Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi, batısı ise Orta Anadolu Ovalar Bölgesi olarak tanımlanmıştır (Harch ve diğ.,1981; Şaroğlu ve Yılmaz, 1986; Barka ve KadinskyCade, 1988; Le Pichon ve Gaulier, 1988; Lyberis ve diğ., 1992; Barka, 1992; Şaroğlu ve diğ., 1992, Bozkurt, 2001).

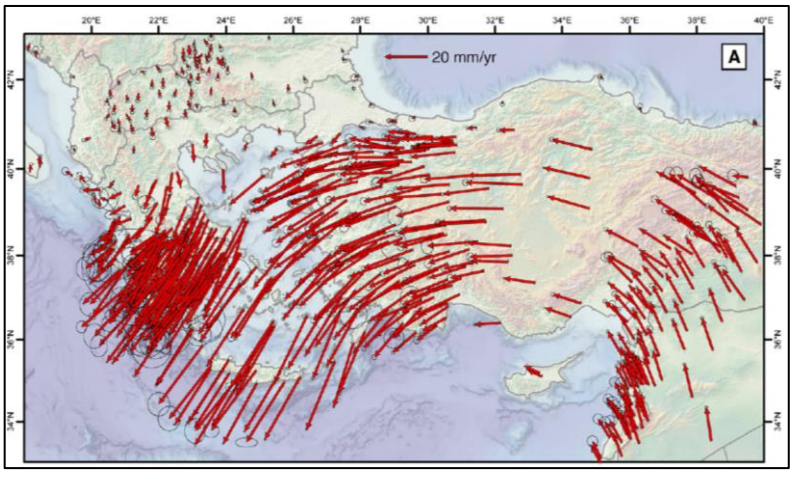
GPS ve GNSS verilerine göre Arabistan Levhası'nın Kuzey'e doğru 24 mm/yıl olarak başlayan hareketi, Anadolu Levhasıyla Bitlis Zagros Kenet Kuşağı boyunca çarpışması ve tektonik aktivitenin başlamasıyla sonuçlanmış, bu çarpışma Kafkaslarda yıllık ortalama 10mm sıkışmaya, Anadolu Levhası'nın KAF ve DAFZ boyunca yıllık ortalama 14mm batıya hareketine karşılık gelmektedir (Barka ve Reilinger, 1997). Anadolu Levhası'nın batı-güneybatıya doğru olan hareketi Helen Yayı'nın da etkisiyle batıya doğru artarak batı kesimlerde yaklaşık 31mm/yıl olarak ölçülmektedir. Arabistan Levhası 24 mm/yıl hızla kuzeye doğru hareket ederken, Afrika Levhası'nın aynı yönde fakat 15mm/yıl hızla hareket etmesi, Ölü Deniz Fayı'nın sol yönlü bir fay olduğunu açıklar. (Freund ve diğ., 1970; DeMets ve diğ., 1990). KAF'daki kayma hızı 24mm/yıl, DAFZ'nun kayma hızı en kuzeydoğudaki Karlıova'da 12.4 mm/yıl, güneybatıya doğru bu değer azalarak yaklaşık 4.3 mm/yıl olarak ölçülmüştür McClusky ve diğ., 2000; Nocquet, 2012) (Şekil 2.2, Şekil 2.3).



Şekil 2.1: Türkiye ve civarının Neotektonik haritası (Emre ve diğ. 2018).



Şekil 2.2: GNSS verilerine göre Türkiye ve civarında yer alan tektonik levhaların modellenmiş yıllık kayma hızları (Nocquet, 2012).



Şekil 2.3: GNSS verilerine göre Türkiye ve yakın civarında yıllık kayma yönü ve miktarı (Nocquet, 2012).

2.1.1. Ölü Deniz Faz Zonu

Ölü Deniz Fayı, kuzeyde Doğu Anadolu Fayı'ndan güneyde Kızıldeniz'e kadar uzanan yaklaşık 1000km uzunluğunda sol yanal doğrultu atımlı bir transform faydır (Şengör ve Yılmaz., 1981; Rotstein ve Kafka 1982; Dewey ve diğ., 1986; Gülen ve diğ., 1987; Lyberis ve diğ., 1992; Oral ve diğerleri, 1995; Barka ve Reilinger, 1997; Reilinger ve diğerleri, 1997; Bozkurt, 2001; Akyüz ve diğ., 2006).

Fayın yaşı için bir çok araştırmacı farklı yaş önerilerinde bulunmuştur Garfunkel ve Ben-Avraham (1996)'ya göre fayın yaşı Erken Miyosen iken Garfunkel ve diğ. (1981)'e göre Orta Miyosen, Lyberis (1988)'e göre Geç Miyosen, Eyal ve diğ. (1981), Steinz ve Bartov (1991)'e göre ise 20my sonrasıdır.

Ölü Deniz Fayı'ndaki yanal ötelenme miktarı kuzeyde ve güneyde farklılık göstermektedir. Ötelenme miktarı kuzeyde 70-80 km iken güneyde Pliyosen öncesi 60-65 km, Pliyosen'den günümüze kadar olan süreçte de 40-45km olmak üzere toplam yaklaşık 110 kmdir (Quennel, 1958; Dubertet, 1966; Freund ve diğ., 1970; Bandel ve Khouri, 1981; Garfunkel ve diğ., 1981; LePichon ve Gaulier, 1988).

2.1.2. Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)

Kuzey Anadolu Fayı, doğuda Doğu Anadolu Fayı ile kesişim noktası olan Karlıova'dan başlayıp batıda Yunanistan'a kadar devam eden yaklaşık 1400 km uzunluğunda sağ yanal doğrultu atımlı aktif bir faydır. Karlıova'dan Bolu'ya kadar dar bir deformasyon zonunu takip eden fay buradan batıya doğru iki kola ayrılarak devam eder ve Marmara Denizi kuzeyi ve güneyinden batıda kezey Ege Denizi'ne devam eder (Ketin, 1968; Şengör ve diğ., 1985; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Koçyiğit, 1988; Barka ve Kuşçu, 1996; Alpar ve Çizmeci, 1999; Yaltırak ve Alpar, 2002; Şengör ve diğ., 2005).

1939 Erzincan depremi ile KAF'ın doğusunda başlayan kırılma ve deformasyon, batıya doğru gerçekleşen deprem göçü ile gençleşerek devam etmiştir (Egeran ve Lahn, 1944; Ketin ve Rösli, 1953; Ambraseys 1970; Barka, 1992; Barka 1996; Stein ve diğ., 1997).

KAF'ın yaşı için Orta Miyosen'den Pliyosen'e kadar farklı yaşlar önerilmiştir (Mckenzie, 1970; Şengör, 1979; Barka ve KadinskyCade, 1988; Koçyiğit, 1989; Bozkurt ve Koçyiğit, 1996; Yaltırak, 1996; Alpar ve Çizmeci, 1999; Yaltırak ve diğ., 2000; Yaltırak ve Alpar, 2002; Şengör ve diğ., 2005; Kurtuluş ve Canbay, 2007; Kuşçu, 2009)

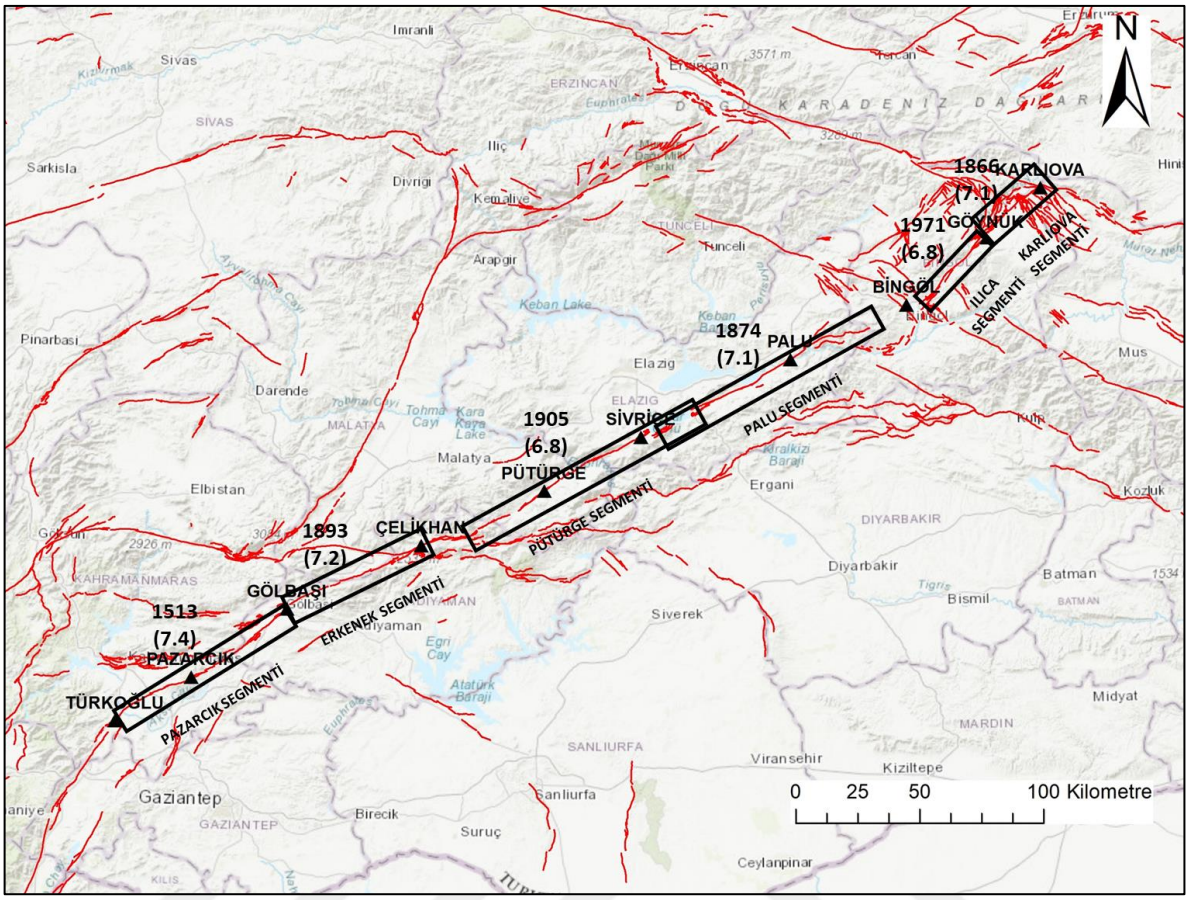
2.1.3. Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)

DAFZ, kuzeyde Karlıova'dan başlayarak güneyde Kahramanmaraşın güneyine kadar uzanan yaklaşık 450 km uzunluğunda bir fay zonudur. Bu zon KAF'ın doğusu ile Ölü Deniz Fay'ı arasında kalan fay zonu olarak tanımlanmış (Allen, 1969) olup Arpat ve Şaroğlu (1972) tarafından Doğu Anadolu Fay'ı olarak adlandırılmıştır. Doğu Anadolu Fayı'nın güney ucu için iki farklı görüş vardır. Araştırmacıların bir kısmı DAFZ'nu ve Ölü Deniz Fayı'nı ayrı iki sol yanal doğrultu atımlı fay olarak düşünürken (McKenzie 1976; Gülen ve diğ., 1987; Karig ve Kozlu, 1990; Perinçek ve Çemen, 1990; Westaway ve Arger, 1996; Westaway, 2003; Khalifa ve diğ., 2018), bir kısmı ise DAFZ'nun Ölü Deniz Fayı ile birleşerek Kıbrıs yayı boyunca geniş bir zon halinde devam ettiğini savunmaktadır (Arpat ve Şaroğlu, 1972, 1975; Şaroğlu ve diğ., 1992).

Doğu Anadolu Fayı için araştırmacılar tarafından, Miyosen sonrası (Arpat ve Şaroğlu, 1972), Geç Miyosen-Erken Pliyosen (Şengör ve diğ., 1985; Dewey ve diğ., 1986; Perinçek ve Çemen, 1990; Lyberis ve diğ., 1992), Pliyosen (Şaroğlu ve Yılmaz., 1987, 1992), 3 My (Westaway ve Arger, 1998) ve 1.8 My (Yürür ve Chorowicz, 1998) gibi farklı yaşlar önerilmiştir.

Güncel GPS (Global Positioning System) çalışmalarında DAFZ'ın kayma hızı yılda ~10 mm olarak ölçülmektedir (McClusky ve diğ., 2000; Reilinger ve diğ., 2006, Aktuğ ve diğ., 2016).

DAFZ, en kuzeyde Karlıova'dan Çelikhan'a kadar dar bir deformasyon zonunu takip ederken, Çelikhan'da batıya doğru deformasyon zonu genişler (Duman ve Emre, 2013). DAFZ da KAF gibi tek bir kırık halinde devam etmeyip segmentlere ayrılmıştır. Bu segmentler deprem etkisiyle gelişmiş yüzey kırıklarına bağlı sismik segmentler ve fay hareketi ve fay morfolojisine bağlı geometrik segmentler olmak üzere ikiye ayrılır. DAFZ, birçok araştırmacı (Arpat ve Şaroğlu 1972, 1975; Hampton ve diğ., 1981; Muehlberger ve Gordon, 1987; Barka ve Kandinsky-Cade, 1988; Perinçek, 1990; Herece ve Akay 1992; Şaroğlu ve diğ., 1992; Westaway 1994; Özdemir, İnceöz, 2008; Duman ve Emre, 2013; Khalifa ve diğerleri, 2018) tarafından farklı segmentlere ayrılmıştır. Hampton ve diğ. (1981) DAFZ'nu 5 geometrik segmente, Şaroğlu ve diğ. (1992) sıçramalara bağlı olarak 6 geometrik segmente, Herece (2008) 11 geometrik segmente ayırırken, Barka ve Kadinsky-Cade (1988) DAFZ'nu 14 sismik segmente ayırmıştır. DAFZ, hem sismik hem de geometrik veriler kullanarak KD'dan GB'ya doğru sırasıyla Karlıova, Ilıca, Palu, Pütürge, Erkenek ve Pazarcık segmentleri olmak üzere 6 segmente ayrılmıştır (Duman ve Emre, 2013) (Şekil 2.4).



Şekil 2.4: DAFZ üzerinde KD'dan GB'ya fay segmentleri ve segmentlerle ilişkilendirilen depremler (Duman ve Emre (2013) ve Nalbant ve diğ. (2005)'den değiştirilerek).

2.1.3.1. Karlıova Segmenti

Karlıova Segmenti, KAFZ ile DAFZ'nun kesişim noktası olan Karlıova üçlü kavşağından başlayıp Göynük'e kadar devam eden 31 km uzunluğunda yaklaşık doğrultusu K50D olan bir fay zonudur. Bu segmentte en son yüzey kırığı M_s=7 büyüklüğündeki 1866 depremi ile meydana gelmiştir. Güneybatı'da segmentteki fay zonunun genişliği yaklaşık 1.5 km iken kuzey doğuya doğru ilerledikçe KAF'ın da etkisiyle bu zon genişlemektedir. Bu segmentte farklı uzunluklarda sağa sıçramalar gözlenir. Segment boyunca sol yanal faylanmaya dair fay izleri ve fay morfolojisi iyi bir şekilde gözlenmiştir (Şengör 1979; Şaroğlu 1985; Şengör ve diğ., 1985; Şaroğlu ve Yılmaz, 1991; Nalbant, 2005; Duman ve Emre, 2013).

2.1.3.2. Ilıca Segmenti

Ilıca Segmenti, Göynük'ten başlayıp Bingöl'e kadar devam eden 35 km uzunluğunda yaklaşık doğrultusu K40D olan bir fay zonudur. Daha önceki çalışmalarda Karlıova Segmenti ile birlikte kabul edilen Ilıca Segmenti, 1971 depreminde kendi sınırları içerisinde yüzey kırıkları oluşturduğu ileri sürülerek Karlıova Segmenti'nden ayrılmıştır (Şekil 2.5). Bu iki segmentin

birleştiği alanda fay zonu KAF'ın da etkisiyle daha karmaşıktır. Geniş bir deformasyon zonunun hakim olduğu segmentin KD kesiminde fay kollarında sıçrama ve saçılmalar görülür. Segmentte, Göynük Vadisi boyunca dar bir deformasyon zonu hakimdir. Segmentin KD sunda olduğu gibi GB kesiminde de yine segmentlerin birleştiği alanlara yaklaştıkça deformasyon zonu genişler. Segmentin başında ve sonunda buna bağlı olarak fay morfolojisi iyi bir şekilde gözlenir. (McKenzie, 1972; Arpat ve Şaroğlu, 1972; Seymen ve Aydın, 1972; Duman ve Emre, 2013)

Segmentin temel birimini Paleozoyik yaşlı metamorfik birim oluşturur. Buna uyumsuz olarak çökelen Miyosen yaşlı neritik kireçtaşları ve Kuaterner çökellerinin uyumsuz olarak örttüğü Miyosen yaşlı volkanik birlik arazide geniş yer tutmaktadır. Fay boyunca, fayın solunda Ilıca'nın güneyinde gözlenen metamorfik temel ve neritik kireçtaşları, fayın sağ tarafında benzer konumda Hacılar Köyü'nün güneyinde gözlenmektedir. Bu birimlerde öteleme, Seymen ve Aydın (1972) ve Herece (2008) tarafından 14.5-15 km olarak ölçülürken Arpat ve Şaroğlu (1972) tarafından 22 km, Şaroğlu (1985) ve Duman ve Emre (2013) tarafından 17 km olarak ölçülmüştür.

2.1.3.3. Palu Segmenti

Palu Segmenti Bingöl'ün güneyinden Hazar Gölü'ne kadar 77 km uzunluğunda yaklaşık doğrultusu K62D olan bir fay zonudur. Segment üzerinde en son fay kırığı oluşturan deprem 3 Mayıs 1874 (M_s 7.1) Palu depremidir. Segment ana olarak 3 parça halindedir. Diğer segmentlerde de olduğu gibi segmenti kuzeydoğu bölümünde Ilıca Segmenti ile birleştiği alanlarda fayda sıçramalar görülmektedir. 8 Mart 2010 Karakoç Depremi (M_w 6.1) segmentin bu parçasında gerçekleşmiştir (Emre ve diğ., 2010; Tan ve diğ., 2011). Segmentin orta kısımlarında deformasyon alanı darken segmentin güneybatısına doğru Pütürge Segmentiyle birleşme alanında fayda sol yönlü sıçramalar görülmektedir. (Ambraseys 1988; Ambraseys ve Jackson 1998; Duman ve Emre, 2013). Segment içerisinde Mesozoyik yaşlı çamurtaşlarında 27 km ötelenme ölçülmüştür (Arpat ve Şaroğlu, 1972).

2.1.3.4. Pütürge Segmenti

Pütürge Segmenti, Hazar Gölü'nden başlayıp Yarpuzlu'ya kadar devam eden 96 km uzunluğunda yaklaşık doğrultusu K60D olan bir fay zonudur. Palu Segmenti ile kesişim noktasında fayın sola sıçramasından kaynaklı gelişen çöküntü alanı 10 km uzunluğunda ve 4 km genişliğinde bir sag pond (Hazar Gölü Releasing Bend) oluşmuştur. Fay, vadiyi takip etmiş ve Fırat Nehri'nde ötelenmelere sebep olmuştur (Arpat ve Şaroğlu, 1975; Yazgan, 1984;

Hampton, 1985; Herece ve Akay, 1992; Şaroğlu ve diğ., 1992; Westaway ve Arger, 2001; Westaway, 2003; Herece, 2008, Duman ve Emre, 2013).

2.1.3.5. Erkenek Segmenti

Çelikhan'dan başlayarak Gölbaşına kadar devam eden 62 km uzunluğunda yaklaşık doğrultusu K75D olan bir fay zonudur. 1893 yılında meydana gelen 7.2 büyüklüğündeki deprem son yüzey kırığını oluşturmuştur. Yapılan arazi çalışmalarında farklı uzunlukta ötelenmeler gözlenmiştir (Ambraseys, 1988; Herece, 2008; Duman ve Emre, 2013).

2.1.3.6. Pazarcık Segmenti

Gölbaşından başlayarak Türkoğluna kadar 82 km uzunluğunda, yaklaşık doğrultusu K60D olan bir fay zonudur. Segmentte oluşan son yüzey kırığı 1513 depreminde gerçekleşmiştir. Segmentte değişen uzunluklarda ötelenmeler gözlenmiştir (Herece 2008; Duman ve Emre, 2013)

3. YÖNTEM

Tez çalışması kapsamında uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemi çalışmaları, temel jeolojik haritalama, morfoloji, morfometrik indisler, tarihsel ve aletsel dönemlere ait sismolojik katalog oluşturma, paleosismoloji ve Kuvaterner yaşlandırma başlıkları altında kullanılan yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

3.1. UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ ÇALIŞMALARI

Mekansal veri yönetimi için UTM projeksiyonu ve WGS-84 datumu kullanılmış ve elde edilen tüm uydu görüntüleri, hava fotoğrafları, topoğrafik paftalar ve yeni üretilen mekânsal tüm veriler bu koordinat sistemine göre jeoreferanslandırılmıştır.

Tez çalışmalarında altlık harita olarak; radar ve uydu görüntüleri (ASTER, Google Earth, Landsat vb.), hava fotoğrafları ve multikopter aracılığıyla elde edilen fotoğraflardan oluşturulan sayısal yükseklik modelleri ve ortomozaik fotoğraflar kullanılmıştır. Bu haritalar yardımıyla çalışma alanında jeomorfolojik yapılar, stratigrafik dokanaklar, çizgisellikler, tektonik süreksizlikler haritalanarak arazi çalışmaları için altlık bilgi oluşturulmuştur. Ayrıca, morfometri çalışmaların yapılan hesaplamalarda da yine üretilen bu altlık veriler kullanılmıştır.

Tez çalışmasında kullanılması amacıyla oluşturulan veri setleri aşağıdaki tabloda yer almaktadır (Tablo 3.1).

Tablo 3.1: Uzaktan algılama ve CBS çalışmaları kapsamında kullanılan veri setleri.

No	Veri seti
1	ASTER Radar görüntüleri (ASTER, 2009)
2	Google Earth yazılımı içerisinde yer alan farklı dönemlere ait uydu görüntüleri
3	Mevcut topoğrafik paftaların sayısallaştırılması ile elde edilen sayısal yükseklik eğrileri
4	Harita Genel Müdürlüğü'nden elde edilen %30-70 aşmalı renkli hava fotoğrafları
5	UDAP-Ç-21-38 no.lu proje kapsamında multikopter ile gerçekleştirilen uçuşlarda toplanan fotoğraflar

3.2. TEMEL JEOLOJİ HARİTALAMA

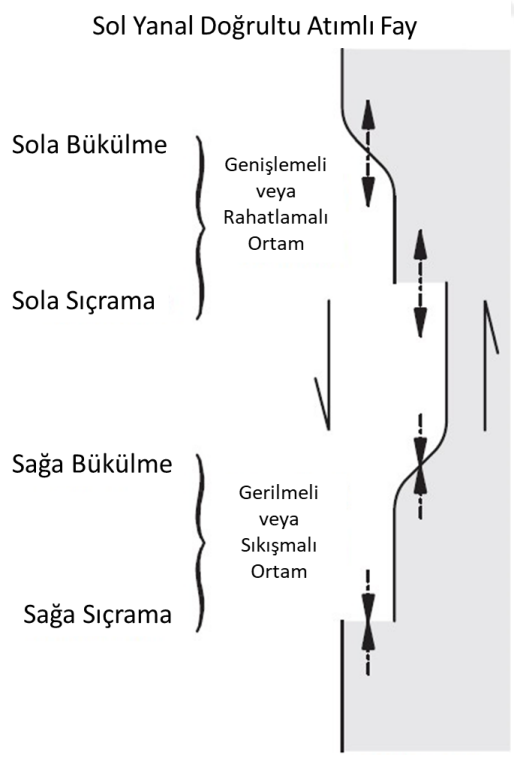
Bingöl il sınırları içerisinde Bingöl il merkezinden Göynük'e kadar devam eden yaklaşık 35 km uzunlukta, 4 km genişlikteki çalışma alanı için 1/25.000 ölçekli K45a1, K45a2, J45c1, J45c2, J45c3 ve J45c4 topoğrafik paftalar kullanılarak jeolojik haritalama çalışmaları sürdürülmüştür. Saha çalışmaları kapsamında birimler stratigrafik olarak birbirinden ayırılmış, arazi gözlemleri ve elde edilen veriler doğrultusunda kaya-stratigrafi haritası oluşturulmuştur. Uzaktan algılama yöntemleri ile belirlenen tektonik süreksizliklerin arazi kontrolü yapılmış ve arazide bu yapılar takip edilerek jeoloji haritasına işlenmiştir.

3.3. FAY MORFOLOJİSİ

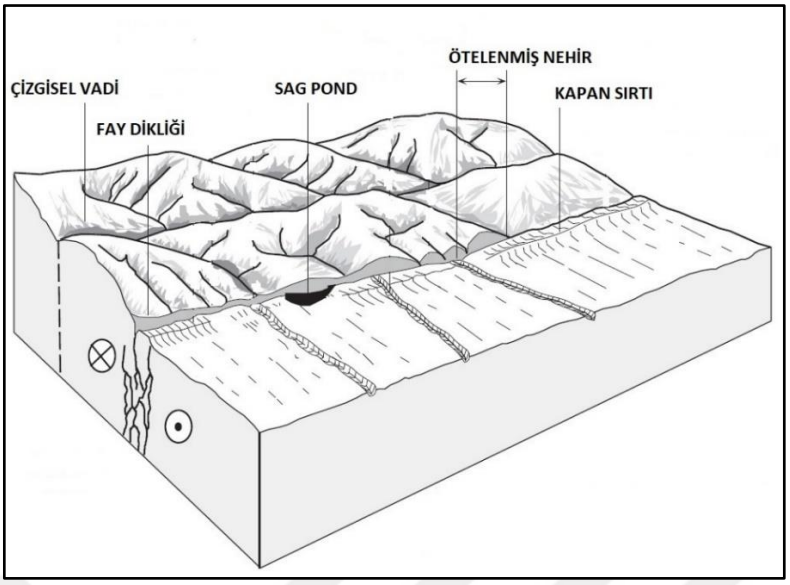
Çalışma alanı içerisinde morfolojik unsurlar ve bu unsurların DAFZ ile olan ilişkisi incelenmiştir. Bu bölümde doğrultu atımlı faylar etkisiyle oluşmuş morfolojik yapılara yer verilmiştir.

Doğrultu atımlı faylar, eğimi çok düşük, düşey veya düşeye yakın faylar olup, harita görünümünde genellikle düz veya eğriliği az bir çizgi boyunca gözlenirler. Doğrultu atımlı fay zonu içerisinde yer alan segmentlerin sağa ya da sola sıçraması ya da büklümlenmesi halinde bazı sıkışmalı ve genişlemeli zonlar meydana gelir (Şekil 3.1). Bu zonlar içerisinde mevcut stres dağılıma göre farklı morfolojik ve/veya tektonik yapılar oluşur. Bir doğrultu atımlı fayın düz, sıçramalı ve büklümlü hareketinin bir sonucu olarak oluşmuş morfolojik yapılar Şekil 3.2'de gösterilmiştir. (Wesson ve diğ., 1975; Keller ve Pinter, 2002; McCalpin, 2009; Fossen, 2010).

Doğrultu atımlı faylarda doğrusal hareketin yanında düşük eğim hareketinin gelişmesiyle fay diklikleri meydana gelir. Çizgisel vadiler, doğrultu atımlı fayların doğrusal hareketinin bir sonucu olarak, fay boyunca litolojiye bağlı gerçekleşen aşınma ve erozyon etkisiyle oluşan akarsu yataklarıdır. Yine doğrusal harekete bağlı olarak birbirlerine zıt yönde hareket eden blokların gerçekleştirdikleri yer değiştirme ile akarsu, nehir veya dere gibi yapılarda sapmalar, yer değiştirmeler veya ötelenmeler gözlenebilir. Fayın doğrusal hareketinin yanında sıçramalı veya büklümlü hareketi sonucunca fay ile olan yönüne bağlı olarak, fay yönü ile aynı yönde sıçrama veya büklüm yapması genişlemeli tektonik rejime dolayısıyla bölgede açılmaya, çökmeye, fay gölcükleri gibi yapıların oluşmasına, fay yönünün tersi yönde sıçrama veya büklüm yapması ise sıkışmalı tektonik rejim etkisiyle yükselmeye, sıralı tepeler, basınç sırtları gibi yapıların oluşmasına sebep olur. Oluşmuş basınç sırtları, uzamış tepeler veya mevcut tepelerin doğrultu atımlı fay etkisiyle hareket ederek bir akarsu veya derenin önünü kapatmasıyla kapan sırtları oluşur (Şekil 3.2). Bu morfolojik yapılar aktif doğrultu atımlı fayların en belirgin izlerindendir. Bu yapılar fayın hareketi, davranışı, toplam aktivitesi hakkında bilgiler verebilir. Paleosismolojik hendek yer seçimi yapılmasında bu tür yapıların tanınıp haritalanması doğru yer seçimine olanak sağlar.



Şekil 3.1: Doğrultu atımlı fay zonlarında gelişen sıkışmalı ve genişlemeli tektonik ortam (Twiss ve Moores, 1992 ve Davis ve diğ., 2012'den değiştirilerek).



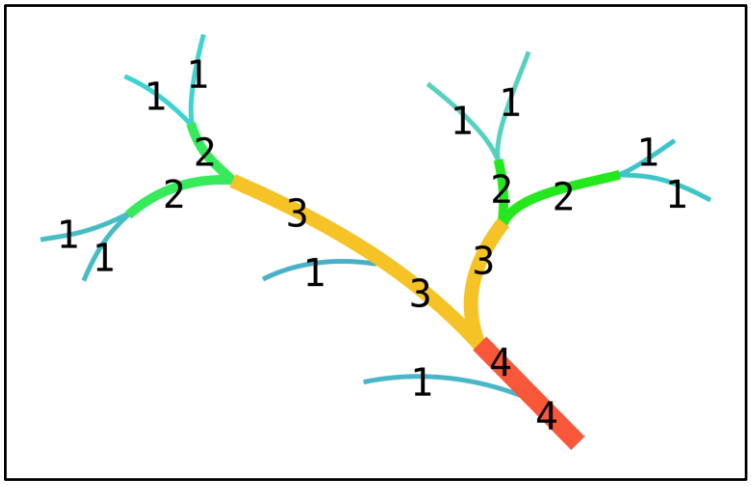
Şekil 3.2: Aktif doğrultu atımlı faya bağlı gelişen morfolojik yapılar (Wesson ve diğ., 1975)'den değiştirilerek.

3.4. MORFOMETRİ

Keller ve Pinter (2002); morfometriyi, yeryüzü şekillerinin kantitatif ölçümü olarak tanımlar. Morfometri, Bir alanın yeryüzü şekillerinin büyüklüğü, yüksekliği, eğim değerleri gibi nicel değerlerini verebileceği gibi farklı yer şekillerini nesnel olarak karşılaştırabilmeyi de sağlar. Bölgeyi etkileyen tektonizma ve bölgenin geçirdiği deformasyon süreçleri elde edilen morfometrik veriler doğrultusunda anlaşılabilir. Yapılacak morfometrik indisler, geniş alanların hızlı bir şekilde değerlendirilerek, bölgedeki aktif tektonik hakkında bilgi sunarak paleosismoloji çalışmalarına ışık tutar (Keller ve Pinter, 2002).

Morfometrik indis hesaplamalarında kullanılmak üzere üretilen sayısal yükseklik modellerinden, ArcGis yazılımı içerisinde yer alan ArcHydro aracı kullanılarak drenaj havza sınırları belirlenmiş ve drenaj ağları türetilmiştir. Akarsu drenaj ağları, Strahler dizilimine göre sınıflandırılmıştır. Bu dizilimde, yeryüzündeki suları taşıyan kollar 1. derece kollar olarak kabul edilir ve iki veya daha fazla 1. derece kolun birleşmesiyle 2. derece kol oluşur. Bu derecelendirme aynı dereceye sahip iki kolun birleşmesiyle bir üst dereceye geçiş şeklinde devam eder (Şekil 3.3).

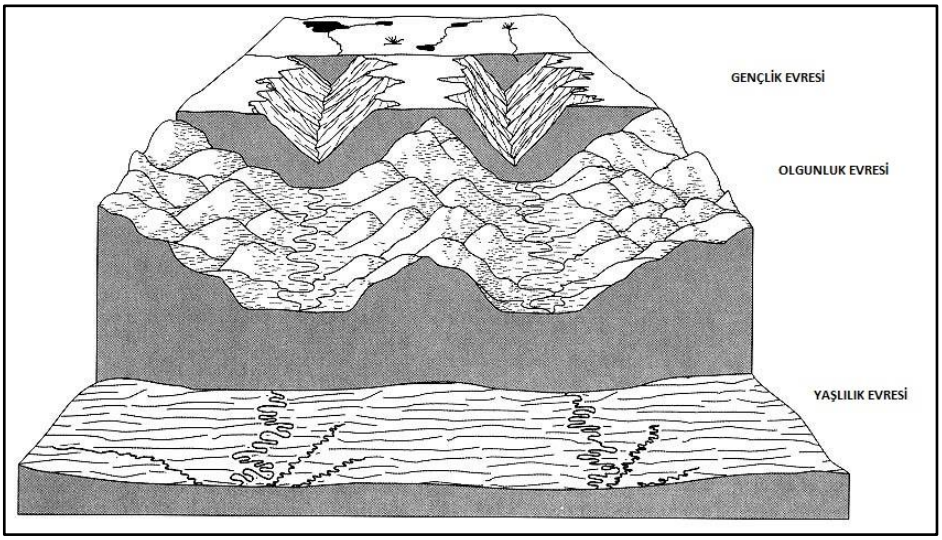
Çalışma alanı ve çevresinde oluşturulan drenaj havzasında ve o havzadan elde edilen 1-10m^2 arasında değişen büyüklüklere sahip 20 alt havzada aşağıda detaylı anlatılmış olan morfometrik indisler uygulanmış ve elde edilen sonuçlar bulgular bölümünde anlatılmıştır.



Şekil 3.3: Strahler dizilimine göre oluşturulmuş drenaj ağı.

3.4.1. Hipsometrik Eğri ve Hipsometrik İntegral (HI)

Hipsometrik eğri, bir havzanın yüksekliğinin havzanın alanına oranı şeklinde bulunur ve havzaların hangi aşınım evresinde olduğu hakkında bize bilgi verir (Şekil 3.4). Hipsometrik eğrilerin temelini oluşturan düşünce bir havzanın hangi aşınım evresinde olduğunu belirleyerek havzada gelişmiş veya gelişmekte olan iklimsel, litolojik veya tektonik etkiler hakkında yorum yapabilmektir.



Şekil 3.4: Havza aşınım evrelerini gösteren blok diyagram (Davis, 1884).

Hipsometrik eğriler, tektonik aktiviteye ve aşınım evrelerine göre konveks (dış bükey), S şekilli ve konkav (iç bükey)'dir. Tektonizmanın aktif olduğu, V şekilli vadilerin egemen olduğu gençlik evresindeki alanlar bize konveks eğriler sunarken, olgunlaşma evresindeki alanlar bize S şekilli, yaşlılık evresindeki alanlar ise konkav şekilli eğriler sunar (Şekil 3.5).

Bu grafikte, y eksenini oluşturan h ve H ile gösterilen veriler sırasıyla rölatif yükseklik ve toplam yükseklik değerlerine karşılık gelirken, x eksenini oluşturan a ve A değerleri rölatif alan ve toplam alanı vermektedir.

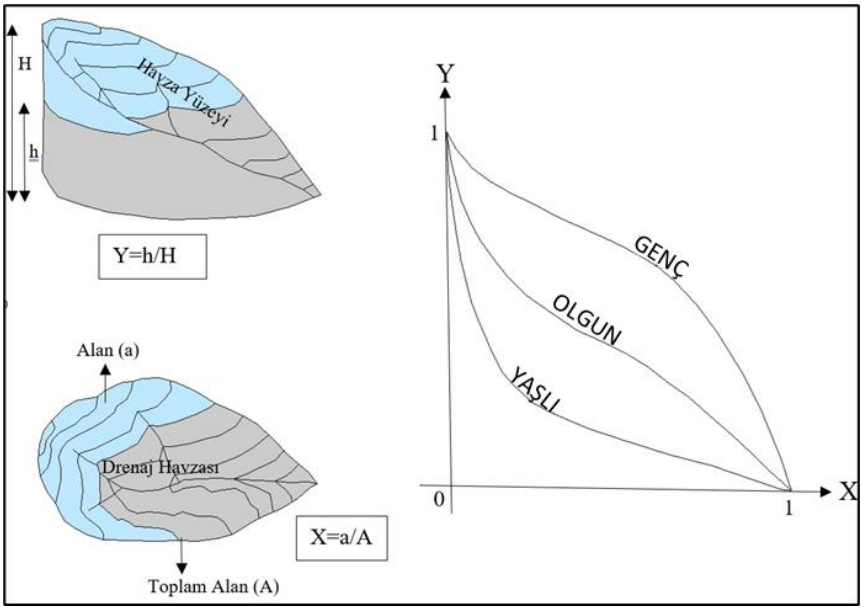
Hipsometrik İntegral (HI), hipsometrik eğrilerin altında kalan alanlardır ve hesaplama formülü (1) aşağıdaki gibidir:

$$HI = \frac{\bar{H} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}} \quad (1)$$

Bu formülde HI ile gösterilen hipsometrik integral, havzanın ortalama yükseltisi olan $\bar{H}$ ile havzanın maksimum yükseltisi olan H_{max}'dan, havzanın minimum yükseltisinin (H_{min}) çıkarılarak elde edilen değerlerin birbirine oranlanmasıyla bulunur.

Konveks (dış bükey) bir eğrinin dolayısı ile genç bir havzanın verileriyle elde edilecek hipsometrik integral (HI) değeri 0,5' den büyük, S şekilli bir eğrinin yani olgunluk evresindeki bir havzanın HI değeri 0,3 ile 0,5 aralığında ve konkav şekilli yaşlı bir havzanın HI değeri ise 0,3'den küçük olmalıdır.

Bu indis tek bir havza üzerinde kullanılabileceği gibi farklı havzalar arasında karşılaştırma yapabilme imkanı da sunar.

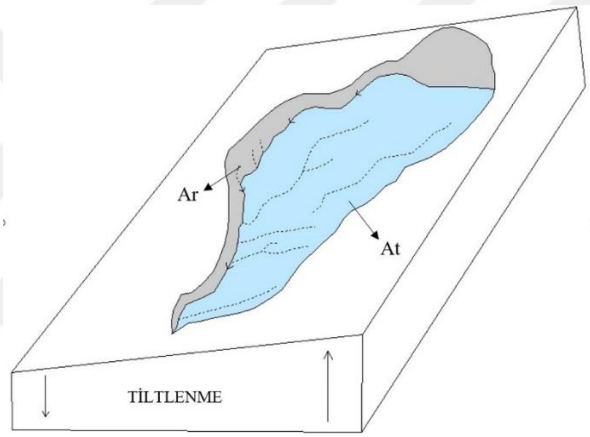


Şekil 3.5: Hipsometrik eğrinin oluşturulması ve havza aşınım evrelerini temsil eden hipsometrik eğriler (Strahler (1952) ve Mayer (1990)'dan değiştirilerek).

3.4.2. Havza Asimetri Faktörü (AF)

Drenaj ağları farklı şekil ve büyüklükte olmalarına rağmen drenaj havzaları simetriktir. Ana akarsu talveg çizgisinin sağında kalan alan ile solunda kalan alan birbirine eşittir. Havza asimetri faktörü, ana akarsu talveg çizgisinin akış doğrultusuna göre sağında kalan alanın (Ar), havzanın toplam alanına (At) oranlanmasının 100 ile çarpılması ile elde edilir ve simetrik havzalarda bu değer 50'dir. Bu değerin 50'den sapması eğimi ve tektonik aktiviteyi işaret edebilir (Şekil 3.6) (Hare ve Gardner, 1985; Keller ve Pinter, 2002).

$$Af = 100\ (Ar / At) \qquad (2)$$

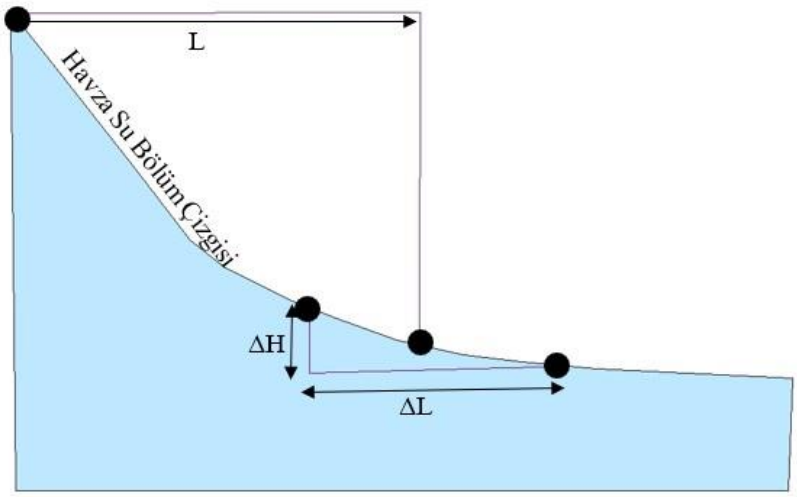


Şekil 3.6: Havza asimetri faktörünün hesaplanması (Bull ve McFadden (1977)'den değiştirilerek).

3.4.3. Dere Boy-Gradyan İndisi (SL)

Dere boy-gradyan indisi (SL), akarsuyun sahip olduğu aşındırma ve çökeltme gücünü göstererek, vadi boyunca meydana gelmiş olabilecek tektonik ve topoğrafik farklılıklarını ortaya çıkarması amacıyla kullanılır. SL değerindeki ani yükselişler tektonik yükselmeyi gösterebileceği gibi ani düşüşler de doğrultu atımlı bir fayın izini işaret edebilir. SL indisi, akarsu profili boyunca belirli bir alanda hesaplanır (Şekil 3.7). Seçilen noktada, belirli bir yükseklik değişimi (ΔH) için gerekli olan uzunluk değişimi (ΔL) oranının, seçilen noktadan vadinin en yüksek noktasına olan uzaklığı ile çarpılmasıyla elde edilir ve formülü aşağıdaki gibidir (Hack, 1973; Keller ve Pinter, 2002).

$$SL = (\Delta H / \Delta L).\ L \qquad (3)$$



Şekil 3.7: Akarsu havzasında boy-gradyan indisi (SL) (Hack, 1973'den değiştirilerek).

3.5. SİSMOLOJİK KATALOG OLUŞTURMA

Çalışma alanı ve civarı KAFZ ve DAFZ'nun kesiştiği Karlıova'nın GB'sında yer alır ve yüksek sismik aktivitenin gözlendiği bu alan hem tarihsel hem de aletsel dönemde birçok yıkıcı depremden etkilenmiştir. Çalışma bölgesi ve civarında gerçekleşmiş olan tarihsel dönem ve aletsel dönem deprem etkinliğinin araştırılması için bir çok farklı kaynak kullanılmıştır. Tarihsel ve aletsel dönem depremleri için, eskiden yeniye doğru bu kaynaklar; Pınar ve Lahn, 1952; Canıtez, 1960; Ayhan ve diğ., 1981; Güçlü ve diğ., 1986; Ambraseys ve Finkel 1987; Ambraseys, 1988; Guidoboni ve diğ., 1994; Guidoboni ve Comastri, 2005; Ambraseys, 2009, Tan ve diğ., 2008; Tan ve diğ., 2011; Tan, 2021; AFAD-DAD, BOUN-KRDAE; olup kapsadıkları dönemler Tablo 3.2'de verilmiştir .

Pınar ve Lahn, 1952; Türkiye'deki deprem bölgelerini jeolojik açıdan ele almış, bu bölgelerdeki depremi yaşamış görgü tanıklarından, şehirdeki müzelerden, kiliselerden, resmi evraklardan, eski gazetelerden ve oluşturulmuş eski deprem kataloglarından yararlanarak yaptığı araştırmalar ve gözlemlere dayanarak MS. 11 – 1951 yılları arasında meydana gelmiş depremleri listelemiştir.

Ergin ve diğ., 1967; M.S. 11 – 1964 yılları arasında Türkiye ve çevresinde gerçekleşen depremleri listelemiş, bazı yıkıcı depremlerin izoseist haritalarını ve yıllık episantr haritalarını oluşturmuşlardır.

Soysal ve diğ., 1981; M.Ö 2100 – M.S. 1900 yılları arasında gerçekleşen 1175 depremi tarihi, saati, koordinat bilgisi, şiddeti, büyüklüğü, güvenilirlik derecesi, bilginin kaç kaynağa dayandığı bilgileri ile birlikte listelemişlerdir.

Ambraseys ve Finkel; 1987; Türkiye ve çevresinde M.S. 1500 ile 1800 yılları arasında meydana gelmiş olan depremlerin kataloğunu oluşturmuşlardır.

Guidoboni ve diğ., 1994; 10.yy'a kadar Akdeniz'de gerçekleşen depremlerin kataloğunu oluşturmuş, daha iyi anlaşılabilmek adına yazılanları özet haritalar, eski yer isimleri ve eski terimler kullanarak desteklemişlerdir.

Guidoboni ve Comasti., 2005; 11. yy ile 15. yy arasında Akdeniz'de gerçekleşen deprem ve tsunamileri tarih sırasına göre listelemiş, her yüz yıl için haritalar oluşturmuş, eski yer isimleri ve eski terimleri kullanmışlardır.

Ambraseys, 2009; 20. yy'a kadar Akdeniz ve Orta Doğu'da gerçekleşen depremlerin katalog haline getirmiş ve bazı büyük depremlerin izoseist (eş-şiddet) haritalarını oluşturmuştur.

Tan ve diğ., 2008; M.Ö 2100 – M.S 1963 yılları arasındaki depremleri sistematik olarak listelemiş ve 1938-2004 yılları arasındaki depremlerin odak mekanizma çözümlerinden bir katalog oluşturmuştur.

Tan, 2021; 1900-2018 yılları arasında Türkiye'de meydana gelmiş depremleri magnitude büyüklükeriyle listelemiştir.

Tablo 3.2: Tarihsel ve aletsel dönem deprem araştırmalarında kullanılan kataloglar ve kapsadıkları dönem

KATALOG	KAPSADIĞI DÖNEM
Pınar ve Lahn, 1952	M.S. 11 - 1951
Ergin ve diğ., 1967	M.S. 11 - 1964
Soysal ve diğ., 1981	M.Ö. 2100 – M.S. 1900
Ambraseys ve Finkel; 1987	M.S. 1500 - 1800
Guidoboni ve diğ., 1994	M.Ö. 760 – M.S. 995
Guidoboni ve Comasti., 2005	M.S. 11.yy – 15.yy
Ambraseys, 2009	M.Ö. 22.yy – M.S. 20.yy
Tan ve diğ., 2008	M.Ö 2100 – M.S. 1963
Tan, 2021	M.S. 1900 – 2018

3.6. PALEOSİSMOLOJİK HENDEK

Paleosismoloji McCalpin (2009) tarafından, tarih öncesi depremlerin yerleri, oluş zamanları ve büyüklükleri ile birlikte incelenmesi olarak tanımlamıştır.

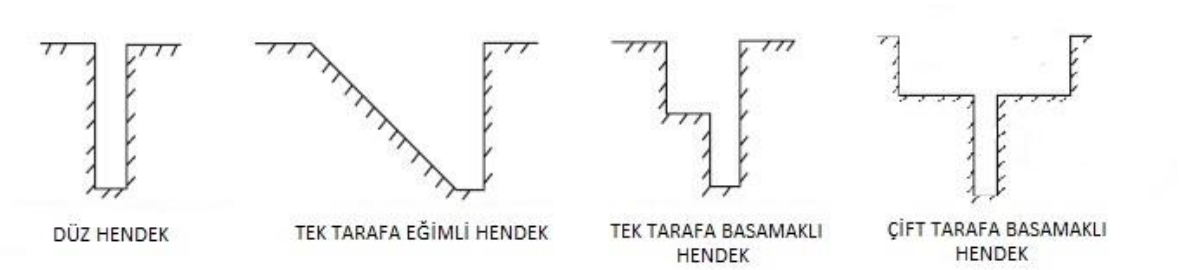
Paleosismoloji, tarih öncesi ve sonrası büyük magnitüdlü (M≥6.4) depremlerin meydana getirdiği birincil ve ikincil oluşum ve deprem izlerini göz önünde bulundurarak Kuvaterner ve Holosen çökelleri üzerinde yapılan hendek çalışmalarında elde edilen veriler doğrultusunda fay ötelenme miktarı, kayma hızı, deprem tarihi ve büyüklüklerini belirleyerek deprem tekrarlanma aralığı ortaya koymayı hedefler (McCalpin, 2009). Paleosismoloji çalışmalarında sık kullanılan yöntemlerden biri de fay üzerinde açılan hendekler içerisinde genç çökellerdeki faylanma izlerinin araştırılarak eski depremlerin belirlenmesidir.

Paleosismolojik çalışmalarının en başında hava fotoğrafları, uydu görüntüleri, sayısal yükseklik modelleri, arazi gözlemleri ile elde edilen jeomorfolojik haritalar kullanılarak fay çizgiselliği, fay geometrisi, faylanmanın etkisiyle oluşmuş basınç sırtı, fay gölcüğü, kapan sırtı gibi fay morfolojisini yansıtan yapıların yer aldığı haritalar oluşturulur. Elde edilen haritalar kullanılarak fay geometrisinin iyi izlenebildiği alanlardan çalışmanın amacına uygun olarak seçilen alanda paleosismoloji çalışmaları yapılır. Bu çalışmalar yüzeyde görülen fay kırıkları üzerinde yapılabildiği gibi çoğu zaman yüzeye ulaşmamış fayların çalışılabilmesi için hendek açma yöntemine başvurulur.

Hendek lokasyonu seçiminde;

- Çalışmanın amacına göre dar bir tarih aralığındaki depremler araştırılıyor ise genç çökel depolama alanları, daha geniş bir aralıktaki depremler araştırılıyor ise göreceli olarak daha yaşlı çökel depolama alanları tercih ediliyor olması,
- Çalışılan istif içerisinde sedimantasyonun kesintisiz olması,
- Hendek yerinin gerekli kurumlardan ve varsa toprak sahibinden yapılacak kazı için izinlerinin alınmış olması,
- Daha önce herhangi bir beşeri çalışmaya veya tahribata maruz kalmamış olması,
- İş makinesinin ulaşması ve çalışmasına elverişli olması gerekir.

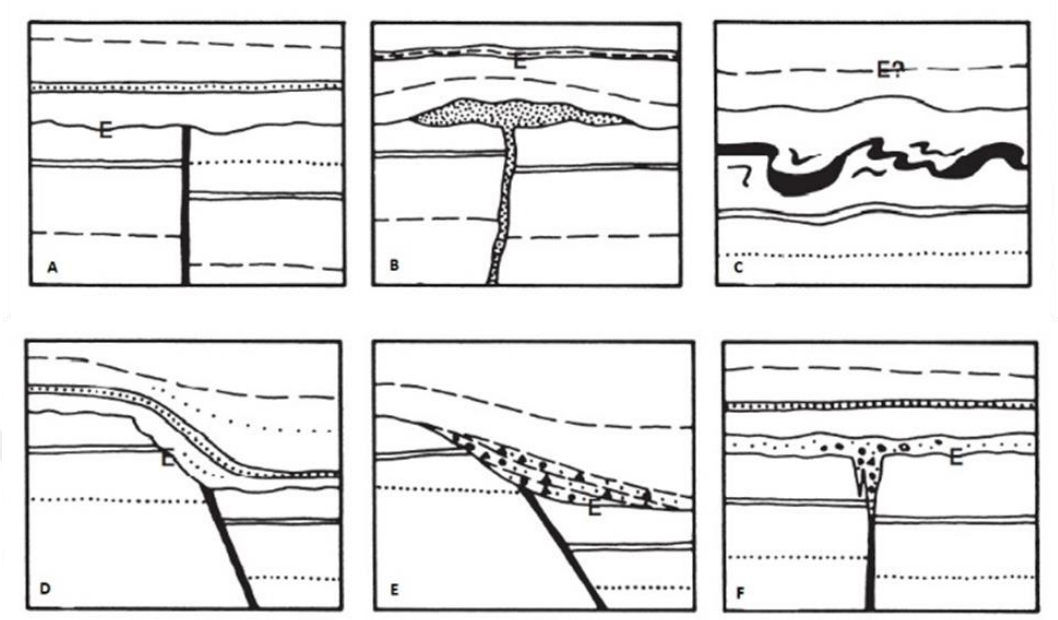
Bu kriterler dikkate alınarak hendek alanı belirlendikten sonra, kazılacak alanın litolojisine, açılmak istenen hendek büyüklüğüne ve şekline (Şekil 3.8) göre gerekli kazı ekipmanları ve iş makinaları temin edilir. Amaca uygun olacak şekilde; hendek, faya dik veya paralel olarak açılır. Hendek duvar genişliği ve derinliği çalışma amacına uygun olarak, hendek duvar duraylılığı ve yeraltı su seviyesi de göz önünde bulundurularak belirlenir.



Şekil 3.8: Paleosismolojik hendek tipleri (McCalpin, 2009'dan değiştirilerek).

Kazı işlemlerinde, hendek büyüklüğü ve şekline bağlı olarak, paletli veya paletsiz ekskavatör, bulldozer veya beko kullanılır. Zaman zaman insan gücü kullanılarak kazma kürek ile de kazı yapılabilir. Kazı işlemi gerçekleştikten sonra hendek duvarlarında, yıkılma-çökme gibi tehlikeler söz konusu ise hendek duvarları payandalarla desteklenmelidir. İş makinaları yardımı ile açılmış olan hendek duvarları kepçe izlerinden; keser, çekiç, spatula ve fırça gibi malzemeler kullanılarak temizlenir ve stratigrafik seviyeler belirgin hale getirilir. Temizleme işlemi tamamlanan duvarlarda yatay ve düşey grid oluşturulur. Gridler oluşturulurken litolojiye uygun büyüklükte ve kalınlıkta çivi, şeritmetre, su düzeci, çırpıcı ipi ve gridi numaralandırmak için kağıt bant kullanılır. Bu gridler genel olarak 1x1m karelajlar şeklindedir ancak çalışılacak detaya göre 50x50cm, 2x2m, 2x1m gibi farklı ölçeklerde de hazırlanabilir. Daha sonra hendek içerisinde stratigrafik seviyeler, fay, kıvrım, uyumsuzluk, ötelenme, birimlerin aniden kesilmesi, fay çatlaklarında görülen dolgu malzemeleri gibi unsurlar belirlenir. Bu unsurlar eski deprem seviyelerinin yani olay seviyelerinin tespit edilmesinde önemli rol oynar (Şekil 3.9). Olay seviyeleri belirlendikten sonra karelajlar yardımıyla hendek duvarları milimetrik kağıda aktarılırarak çalışılan hendek duvarının logu hazırlanır. Ayrıca, hendek duvarları aşmalı olarak fotoğraflanır ve bu fotoğraflar uygun yazılımların kullanılması ile birleştirilerek duvarın fotomozaik görüntüsü oluşturulur. Belirlenen olay seviyelerinin tarihlendirilebilmesi için kritik stratigrafik seviyelerden yaş tayini analizi yapılmak üzere uygun numuneler alınır. Numunelerden elde edilen yaş tayini sonuçları olasılık hesaplamaları ile modellenerek (ör:

Oxcal v.4.4; Ramsey ve Lee, 2013) ilgili segment üzerindeki eski deprem tarihçesi ve/veya mümkünse deprem tekrarlanma aralığı belirlenir.



Şekil 3.9: Fay zonlarında hendek içerisindeki stratigrafik birimlerde karşılaşılan ve eski deprem varlığını gösteren yapılar. A. Birimin aniden kesilmesi, B. Kum konisi oluşumu; C. Dalgalanma-tiltlenme-deformasyon oluşumu. D. Kamalanma ve açısal uyumsuzluk; E. Kamalanma; F. Fay zonunda dolgu malzemesi. E ile gösterilen seviye olay seviyesidir ve eski bir depremi işaret eder (Burbank ve Anderson, 2012).

3.7. KUVATERNER YAŞLANDIRMA

3.7.1. Optik Uyarılmalı Lüminesans (OSL)

1960'lı yıllarda temelleri atılan ve 1980'li yıllarda kullanılmaya başlanan bu yöntem, kuvars, feldispat gibi doğal minerallerin uyarılmasına dayanır. Uyarılan minerallerin, radyasyona maruz kalarak aldıkları enerjiyi dışarı atarak kararlı hale geçme istekleri sonucu ortaya çıkan ışıma olayı lüminesans olarak adlandırılır. Uyarılma bir ışık kaynağı tarafından sağlanırsa Optik Uyarılmalı Lüminesans adı verilir.

Çökel içerisindeki kuvars ve feldispat gbi minerallerin kristal yapıları içerisinde tuzaklar bulunur. Atmosferdeki kozmik ışınlar ve çevrede bulunan radyoaktif minerallerin (^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K) yaydığı radyasyon ile tuzaklar elektron ile dolar. Bu yöntem minerallerin son ışığa maruz kalma anından günümüze kadar olan süreyi verir. Mineraller ışığa maruz kaldıklarında kararlı hale geçmeye çalışırlar ve ışıma gerçekleşir. Mineralin toprak altında geçirdiği süre ne kadar

uzun ise, tuzaklarda biriken elektron sayısı o kadar fazla olup buna bağlı olarak ışıma miktarı da o oranda artar (Hunter ve diğ., 1985).

Uyarılma doğada taşınma, ayrışma, volkanizma, deprem gibi olaylar neticesinde oluşan ısı ve ışık kaynaklarına bağlı olarak da gelişir. Bu sebeple paleosismolojik bir çalışmada deprem etkisiyle sıfırlanan lüminesans saatinden günümüze kadar olan süreyi hesaplamak mümkündür.

$$\text{YAŞ} = \text{Eşdeğer Doz} / \text{Yıllık Doz} \qquad (4)$$

Bu hesaplama, numunenin gömülü kaldığı süre boyunca aldığı doz miktarının (Eşdeğer Doz), 1 yıl içerisinde aldığı doz miktarına (Yıllık Doz) oranlanması ile bulunur (4).

Numune alımı ve laboratuvar çalışmaları sırasında ışığa maruz bırakılmaz. Alınan numuneler beyaz ışığın olmadığı laboratuvarlarda öğütülür, elekten geçirilir, kimyasal işlemlerden geçirilir, mavi-yeşil ışık yardımıyla uyarılır. Eşdeğer doz ve yıllık doz ölçümleri yapılarak yaş belirlenir. Bu yöntem ile 30 yıldan 500 bin yıla kadar yaş hesaplanabilir (Aitken, 1998).

Alınan OSL numuneleri (Sakarya Üniversitesi – MALTA Laboratuvarı ve Ankara Üniversitesi - Lüminesans Tarihlendirme Laboratuvarı) tarafından analiz edilmiştir.

3.7.2. Karbon-14 (C-14) Yaşlandırma

C-14 yaşlandırma yöntemi, 1946 yılında Willard Frank Libby tarafından atmosferdeki kozmik ışınlar üzerinde yapılan çalışmalar sonucu keşfedilmiş ve W. F. Libby, 1960 yılında bu buluş sayesinde kimya dalında Nobel ödülü almıştır.

Periyodik cetvelde 2. Periyod, 14. Grupta yer alan Karbon (C) elementinin atom numarası 6'dır ve atom ağırlığı 12,01 dalton'dur. Karbon elementinin doğal olarak bulunan üç izotopu vardır. Bunlardan ^{12}C ve ^{13}C izotopları duyarlı izotoplarken, ^{14}C izotopu radyoaktif izotoptur.

Periyodik cetvelde 2. Periyod, 15. Grupta yer alan Azot (N) elementinin (Nitrojen) atom numarası 7'dir ve atom ağırlığı 14 dalton'dur. Atmosfer yüzeyinde kozmik ışınlara maruz kalan N atomları bozuşarak ^{14}C izotopuna dönüşür.

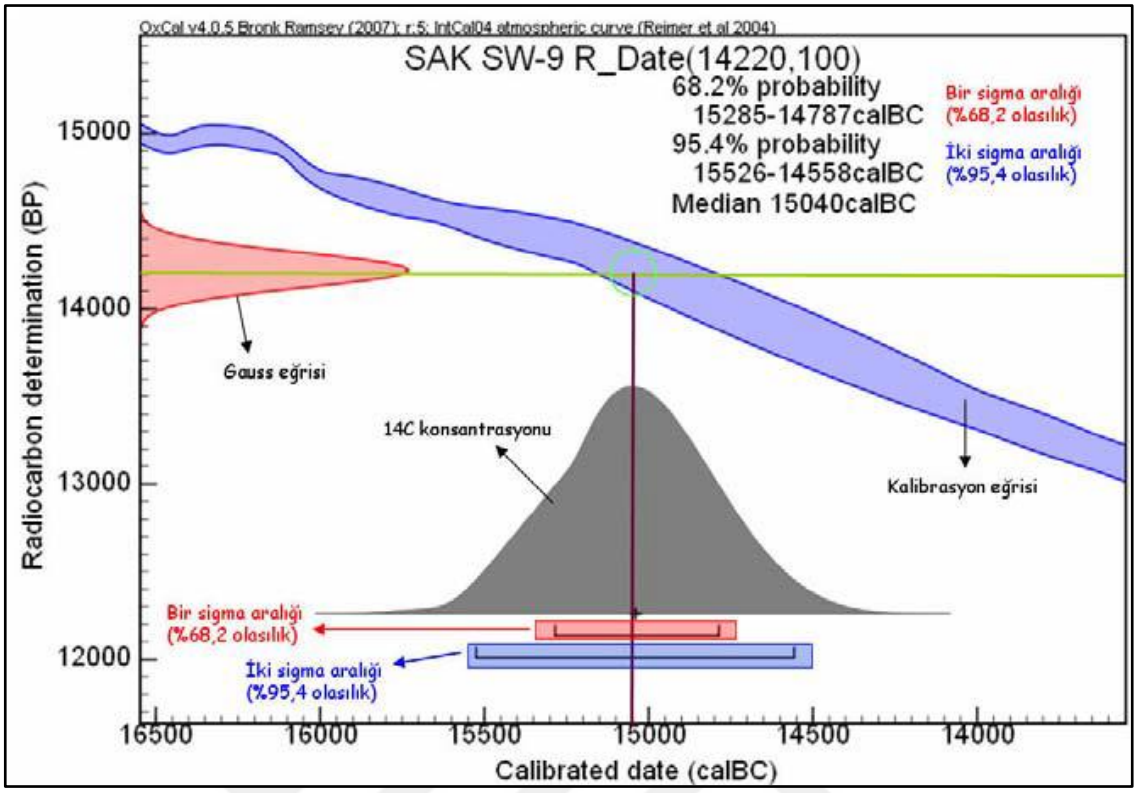
$$^{14}N + n \rightarrow {}^{14}C + p \qquad (5)$$

Bozunma sonucu oluşan ^{14}C, atmosferde O_2 ile tepkimeye girerek $^{14}CO_2$ (karbondioksit) oluşturur. Oluşan karbondioksit bitkiler tarafından alınır, fotosentez yardımıyla bünyelerinde ^{14}C olarak depolanır ve bitkiler aracılığıyla diğer canlılara geçer. ^{14}C, daima bozunma eğiliminde olmasına rağmen yerine her zaman yenileri gelir ve canlılarda $^{14}C/^{12}C$ arasında sabit oran korunur. Canlı öldüğünde canlı bünyesindeki ^{14}C bozuşarak ^{14}N'e dönüşür. ^{14}C'ün yarılanma ömrü yaklaşık olarak 5736 yıldır.

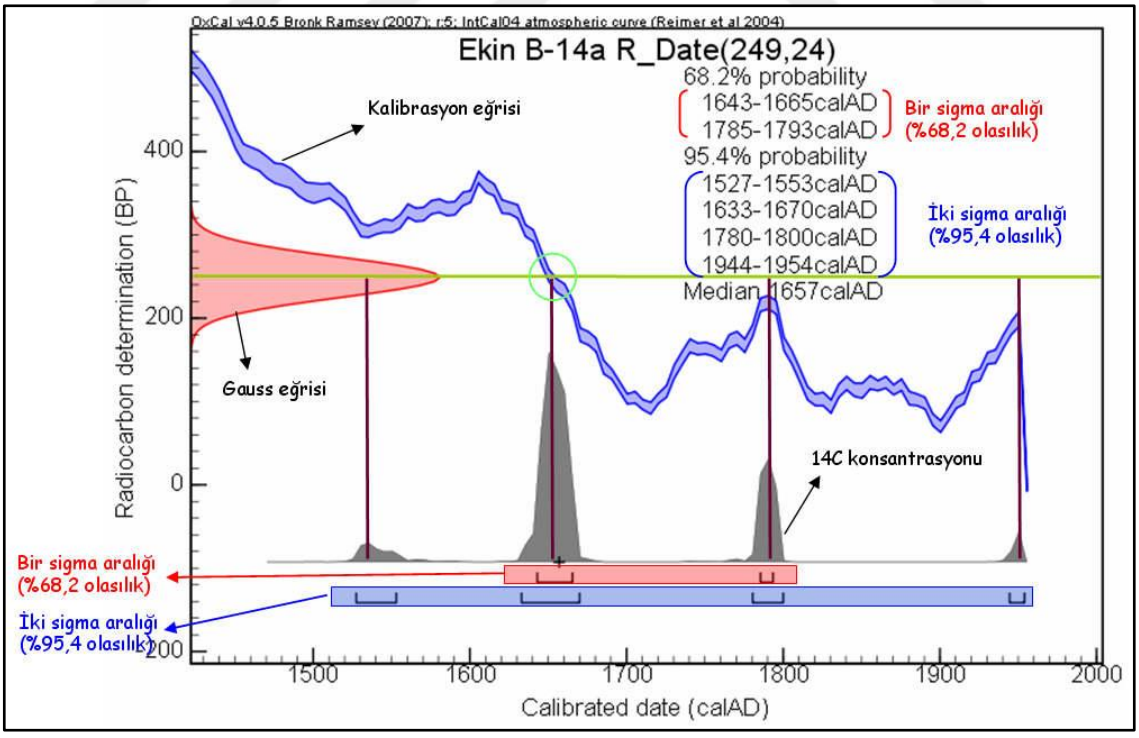
$$^{14}C \rightarrow {}^{14}N + \beta^{-} \qquad (6)$$

^{14}C miktarı sürekli olarak azalır ve ^{12}C sabit kalacağından $^{14}C/^{12}C$ arasındaki denge bozulur. C14 yaş tayinlerinde $^{14}C/^{12}C$ arasındaki orana bakılır. Bu oran canlı nesnenin sahip olduğu $^{14}C/^{12}C$ oranıyla karşılaştırılarak yaklaşık 50-60 bin yıla kadar hassas bir şekilde yaşlandırma yapılabilir (Arnold ve Libby, 1949).

Yaşlandırma, odun kömürü, ağaç parçaları, bitki fosilleri, deniz kabukları, canlıya ait kemik parçaları gibi içerisinde karbon bulunan bir çok örnek ile gerçekleştirilebilir. Yaptığımız çalışma doğrultusunda alınan kömür numunelerinin kirlenmemiş olmasına, numune alımı ve muhafaza sırasında dış etkilere maruz kalmamasına dikkat edilmiş, laboratuvar çalışmaları yapılmadan önce de yine numunelerin en ideal olanları (dilinimli, yuvarlaklaşmamış vb.) büyüteç ve mikroskop yardımıyla seçilmiş, fiziksel ve kimyasal olarak temizlenmiş ve TÜBİTAK MAM AMS laboratuvarında analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen yaş sonuçları Oxcal v.4.4 (Ramsey, 2021) yazılımı kullanılarak kalibre edilmiştir. Bu yazılım, karbon konsantrasyonunu gösteren gauss eğrisinin pik yaptığı nokta ile yaşı bilinen ağaç halkalarının karbon içeriğinden elde edilen kalibrasyon eğrisinin kesiştiği noktadan takvim yaşını verir. Atmosferik karbon konsantrasyonunun değiştiği göz önünde bulundurulduğunda kalibrasyon sonuçları bir yaş aralığı şeklinde olur. Bu yaş aralıkları σ ve 2σ yaş aralıklarıdır. σ yaş aralığı daha dar ve daha düşük olasılıklı bir aralıkken, 2σ yaş aralığı daha geniş ve daha yüksek olasılıklı bir yaş aralığıdır (Şekil 3.10). Gauss eğrisi ve kalibrasyon eğrisinin kesişimi birden fazla noktada oluyor ise (Şekil 3.11) hendek içerisinden alınan diğer örneklerle olan ilişkisi göz önünde bulundurularak seçilir.



Şekil 3.10: Bir kömür örneğinden laboratuvarda elde edilmiş C-14 sonucunun Oxcal v.4.0.5 yazılımında kalibre edilerek yaş aralığı değerlerinin elde edilmesi (Dikbaş (2009)'dan alınmıştır).



Şekil 3.11: Bir kömür örneğinden laboratuvarda elde edilmiş C-14 sonucunun Oxcal v.4.0.5 yazılımında kalibre edilerek yaş aralığı değerlerinin elde edilmesi (Dikbaş (2009)'dan alınmıştır).

4. BULGULAR

Bu bölümde yukarıda anlatılan yöntemler kullanılarak elde edilen bulgular; uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemi çalışmaları, stratigrafi, yapısal jeoloji, fay morfolojisi ve ötelenmiş yapılar, morfometri, deprem tarihçesi ve paleosismoloji başlıkları altında verilmiştir. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemi Çalışmaları* konu başlığı, uydu görüntüleri, hava fotoğrafları ve multikopter ile elde edilen görüntülerden oluşturulan ortofotoğraf, dem verisi ve sayısal yükseklik modellerini içermektedir. *Stratigrafi* konu başlığı altında çalışma sahası içerisinde gözlenen farklı litolojik birliklerin, çalışma alanındaki dağılımı ve birbirleriyle olan dokanak ilişkisi saha gözlemlerine dayanılarak anlatılmıştır. *Yapısal Jeoloji* konu başlığı altında çalışma alanı boyunca gözlemlenen fayların birbirleriyle ilişkisi arazi gözlemleri ışığı altında tartışılmıştır. Morfometrik indisler sonucunda elde edilen değerler ve bu değerlerin yorumlanması *Morfometri* başlığı altında yer almaktadır. Çalışma alanı ve yakın çevresinde gerçekleşen önemli tarihsel ve aletsel depremlerden oluşturulan deprem kataloğu *Deprem Tarihçesi* başlığı altında verilmiştir. *Paleosismoloji* başlığı altında ise Ilıca segmenti üzerinde iki farklı lokasyonda gerçekleştirilen hendek çalışmaları anlatılmış, bu hendeklerde belirlenen olay seviyeleri ve elde edilen Karbon-14 yaş tayini sonuçlarına göre olası eski deprem tarih aralıkları belirlenmiştir.

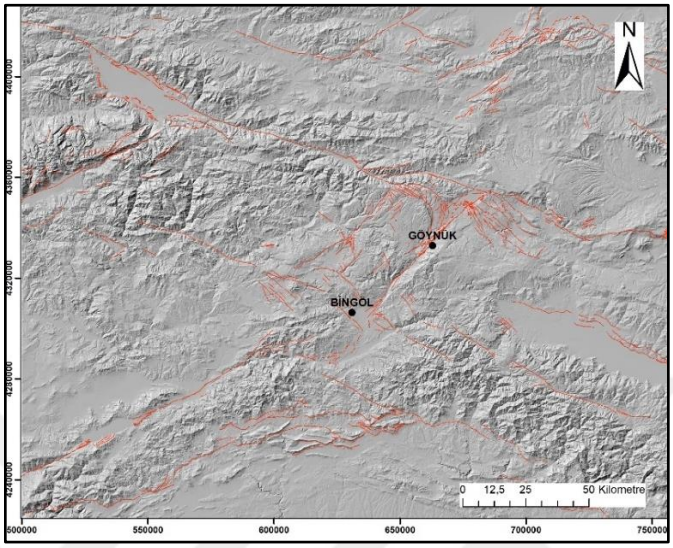
4.1. UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ ÇALIŞMALARI

Bu tez çalışması kapsamında topoğrafik haritalardan elde edilen sayısal yükseklik eğrileri, uydu görüntüleri, hava fotoğrafları ve multikopter ile elde edilen fotoğrafların oluşturduğu veri setleri Global Mapper, Pix4D ve ArcGis yazılımları kullanılarak sayısal yükseklik modelleri ve ortomozaik görüntüler oluşturulmuştur.

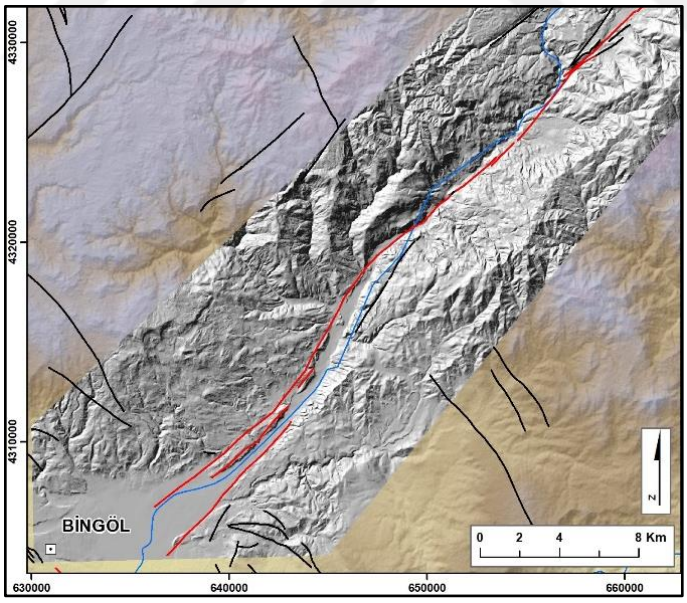
Erişime açık ASTER görüntülerinden, ArcGis yazılımı kullanılarak çalışma alanı ve çevresini kapsayan 28m çözünürlükteki sayısal yükseklik modeli oluşturulmuştur (Şekil 4.1).

Çalışılan segment boyunca 1/25.000 ölçekli topoğrafik paftalardaki yükseklik eğrileri sayısallaştırılmış, bu sayısal eğrilerden ArcGis yazılımı içerisinde 5m çözünürlükte sayısal yükseklik modeli elde edilmiştir (Şekil 4.2).

Harita Genel Müdürlüğü'nden (HGM) elde edilen hava fotoğrafları Pix4D ve Global Mapper yazılımlarında işlenerek ortomozaik görüntü ve sayısal yükseklik modeli türetilmiştir (Şekil 4.3).



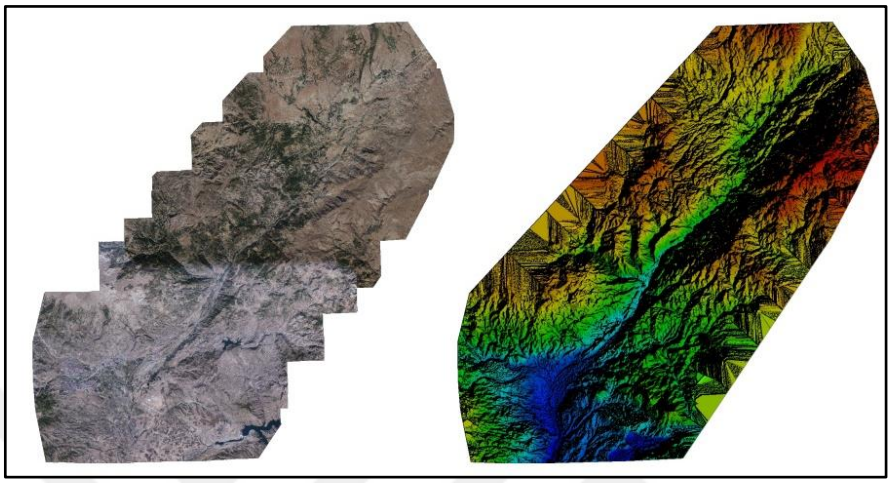
Şekil 4.1: Çalışma alanı ve çevresinin ASTER verisinden elde edilen 28m çözünürlükteki sayısal yükseklik modeli.



Şekil 4.2: Ilıca segmenti boyunca 1/25000 ölçekli yükseklik eğrileri ile elde edilen 5 m çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli.

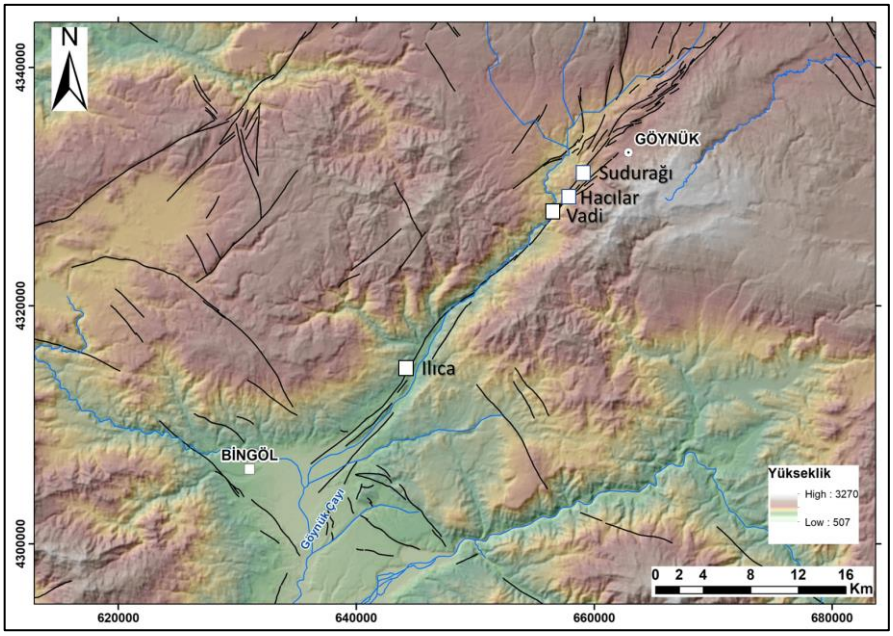
DJI Mavic 2 Pro multikopter ile çalışılan segment üzerinde 4 ayrı lokasyonda (Ilıca, Vadi, Hacılar, Sudurağı) aşmalı fotoğraflar çekilmiş, çekilen bu fotoğraflar Pix4D ve Global Mapper yazılımları ile işlenerek yüksek çözünürlükte (1m ve 4 cm) ortomozaik görüntüler ve sayısal yükseklik modelleri oluşturulmuştur. Çekilen hava fotoğraflarının konumu ve dağılımı (Şekil

4.4), Ilıca lokasyonu (Tablo 4.1, Şekil 4.5, Şekil 4.6), Vadi lokasyonu (Tablo 4.2, Şekil 4.7, Şekil 4.8), Hacılar lokasyonu (Tablo 4.3, Şekil 4.9, Şekil 4.10), ve Sudurağı lokasyonu (Tablo 4.4, Şekil 4.11, Şekil 4.12) için eşleştirilen fotoğraf sayıları ile üretilen ortofoto görüntüleri ve sayısal yükseklik modelleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.3: Ilıca Segmenti boyunca HGM'den elde edilen renkli ve aşmalı hava fotoğrafları kullanılarak oluşturulan Ortomozaik fotoğraf ve sayısal yükseklik modeli.

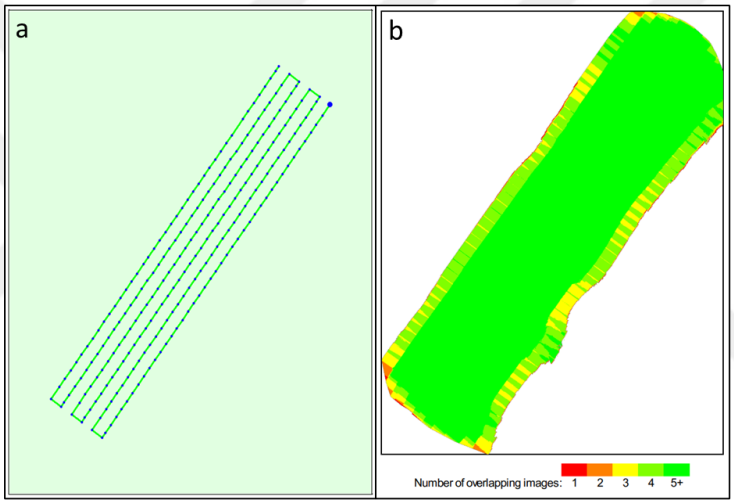
Elde edilen tüm bu sayısal yüksek modelleri ve ortomozaik görüntüler haritalama çalışmalarına bir altlık olmasının yanı sıra morfometrik indis hesaplamalarında da kullanılmıştır. SYM verilerinin ArcGis programı kullanılarak gerekli veri-işlem adımları uygulandıktan sonra elde edilen haritalar ve drenaj havzaları morfometrik analizlerin ana altlığını oluşturmaktadır.



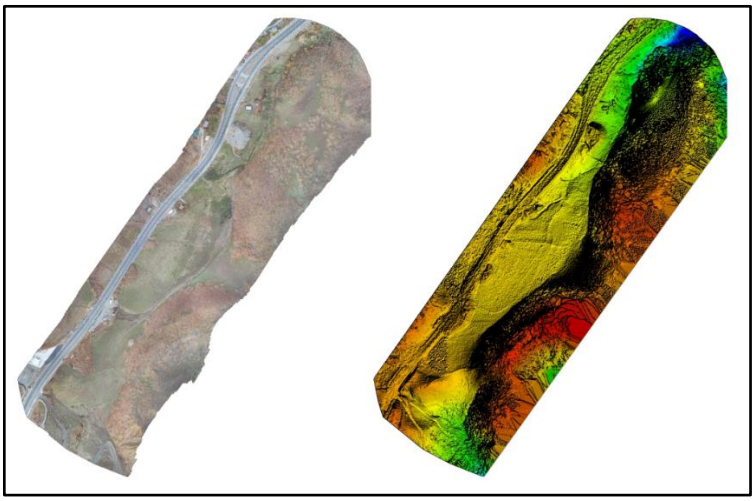
Şekil 4.4: Ilıca segmenti üzerinde multikopter uçuşu gerçekleştirilen lokasyonlar.

Tablo 4.1: Ilıca Segmenti Ilıca lokasyonunda IHA-SfM Fotogrametri ürün bilgileri.

Proje:	Ilıca
Kamera	L1D-20c_10.3
Lens	12.825 [mm] x 8.550 [mm]
Çözünürlük	5472x3648
Ortalama Yer Örnekleme Mesafesi (GSD)	3.65 cm
İşlenen Alan	0.565 km2 / 56.4926 ha
Toplam/İşlenen Fotoğraf	251 / 251
Giriş Koordinat Sistemi	WGS84/Coğrafi
Çıkış Koordinat Sistemi	WGS84 /UTMzone 37N
Yer kontrolü hatası	0.034 m
Nokta Bulutu Sayısı	33681533
Nokta Bulutu Yoğunluğu	41.83 /m3
Sayısal Yüzey Modeli (DSM) ve Ortofotoğraf Çözünürlüğü	3.65 cm/piksel
Sayısal Arazi Modeli (DTM) Çözünürlüğü	5 cm/piksel
Eş Yükselti Eğrileri aralığı	1 m



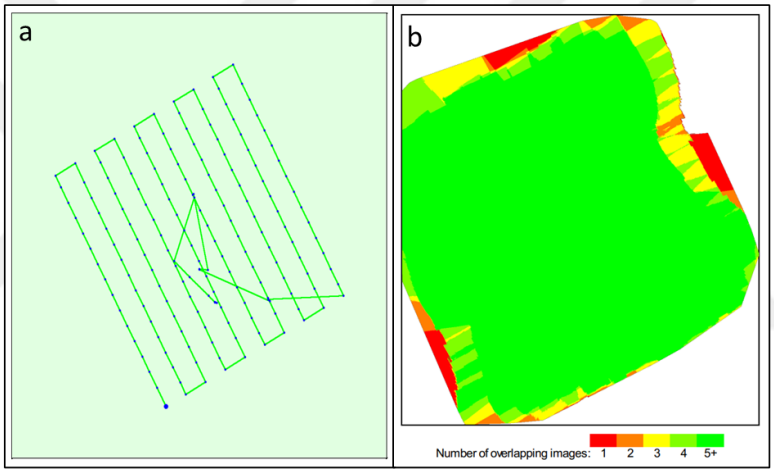
Şekil 4.5: Ilıca Segmenti üzerinde Ilıca Lokasyonunda a. Hava fotoğraflarının dağılım planı, b. Örtüşen fotoğraf sayısının dağılımı.



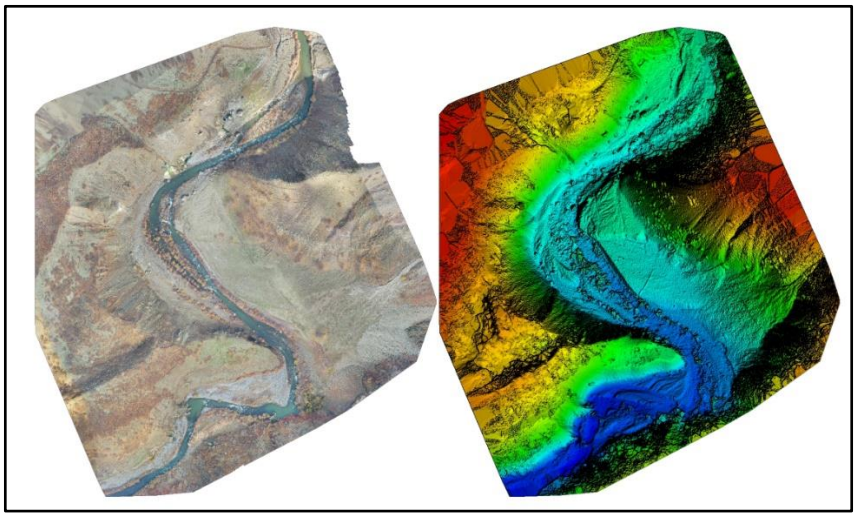
Şekil 4.6: Ilıca Segmenti üzerinde Ilıca Lokasyonunda oluşturulan ortofotoğraf ve sayısal yükseklik modeli.

Tablo 4.2: Ilıca segmenti Vadi lokasyonunda IHA-SfM Fotogrametri ürün bilgileri.

Proje:	Vadi
Kamera	L1D-20c_10.3
Lens	12.825 [mm] x 8.550 [mm]
Çözünürlük	5472x3648
Ortalama Yer Örnekleme Mesafesi (GSD)	3.62 cm
İşlenen Alan	0.320 km2 / 32.0301 ha
Toplam/İşlenen Fotoğraf	179 / 173
Giriş Koordinat Sistemi	WGS84/Coğrafi
Çıkış Koordinat Sistemi	WGS84 /UTMzone 37N
Yer kontrolü hatası	0.034 m
Nokta Bulutu Sayısı	20996293
Nokta Bulutu Yoğunluğu	61.31 /m3
Sayısal Yüzey Modeli (DSM) ve Ortofotoğraf Çözünürlüğü	3.62 cm/piksel
Sayısal Arazi Modeli (DTM) Çözünürlüğü	5 cm/piksel
Eş Yükselti Eğrileri aralığı	1 m



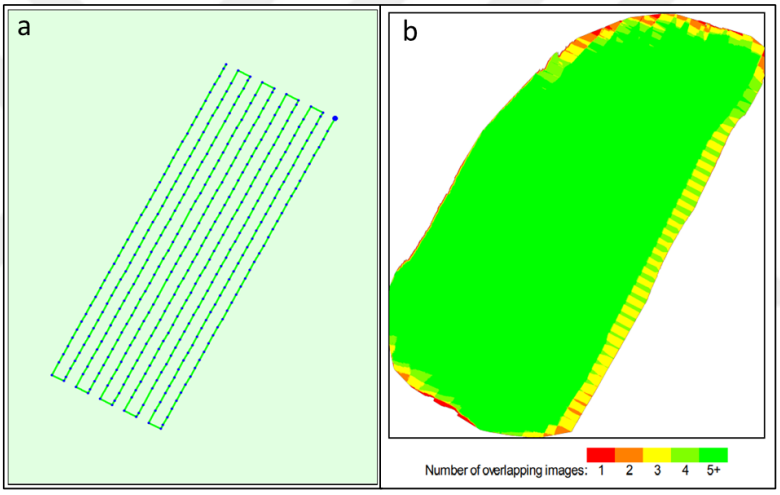
Şekil 4.7: Ilıca Segmenti üzerinde Vadi Lokasyonunda a. Hava fotoğraflarının dağılım planı, b. Örtüşen fotoğraf sayısının dağılımı.



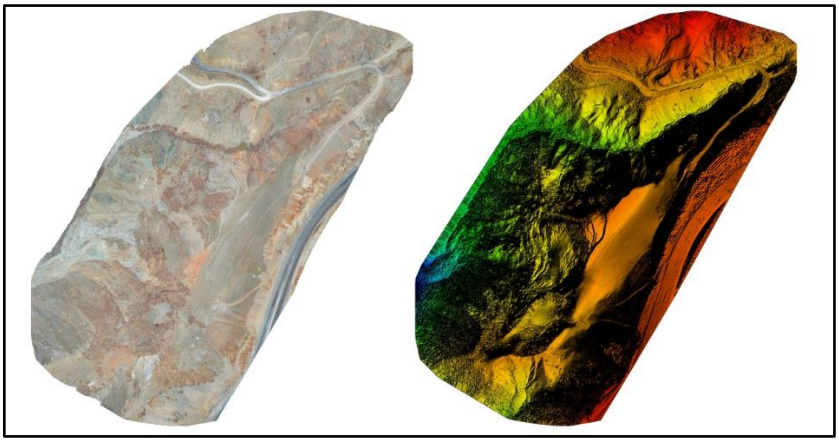
Şekil 4.8: Ilıca Segmenti üzerinde Vadi Lokasyonunda oluşturulan ortofotoğraf ve sayısal yükseklik modeli.

Tablo 4.3: Ilıca segmenti Hacılar lokasyonunda IHA-SfM Fotogrametri ürün bilgileri.

Proje:	Hacılar Hendek
Kamera	L1D-20c_10.3
Lens	12.825 [mm] x 8.550 [mm]
Çözünürlük	5472x3648
Ortalama Yer Örnekleme Mesafesi (GSD)	2.71 cm
İşlenen Alan	0.351 km2 / 35.0718 ha
Toplam/İşlenen Fotoğraf	386 / 378
Giriş Koordinat Sistemi	WGS84/Coğrafi
Çıkış Koordinat Sistemi	WGS84 /UTMzone 37N
Yer kontrolü hatası	0.034 m
Nokta Bulutu Sayısı	43707120
Nokta Bulutu Yoğunluğu	204.33 /m3
Sayısal Yüzey Modeli (DSM) ve Ortofotoğraf Çözünürlüğü	2.71 cm/piksel
Sayısal Arazi Modeli (DTM) Çözünürlüğü	5 cm/piksel
Eş Yükselti Eğrileri aralığı	1 m



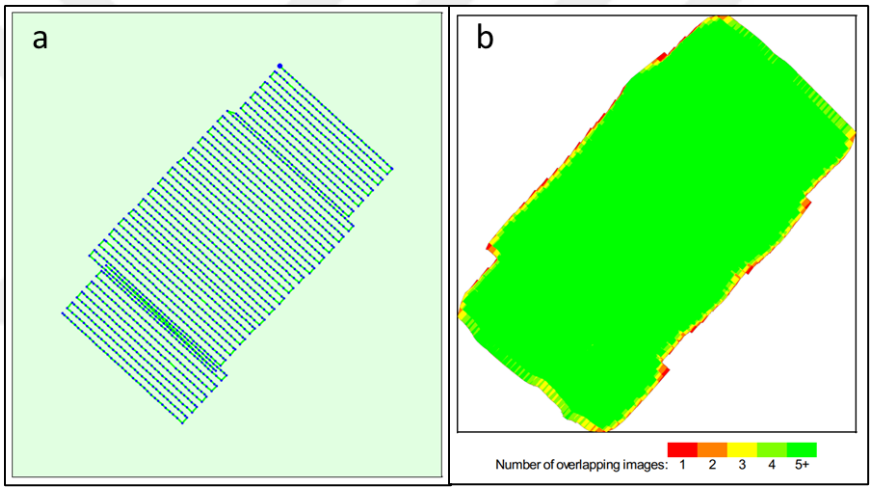
Şekil 4.9: Ilıca Segmenti üzerinde Hacılar Lokasyonunda a. Hava fotoğraflarının dağılım planı, b. Örtüşen fotoğraf sayısının dağılımı.



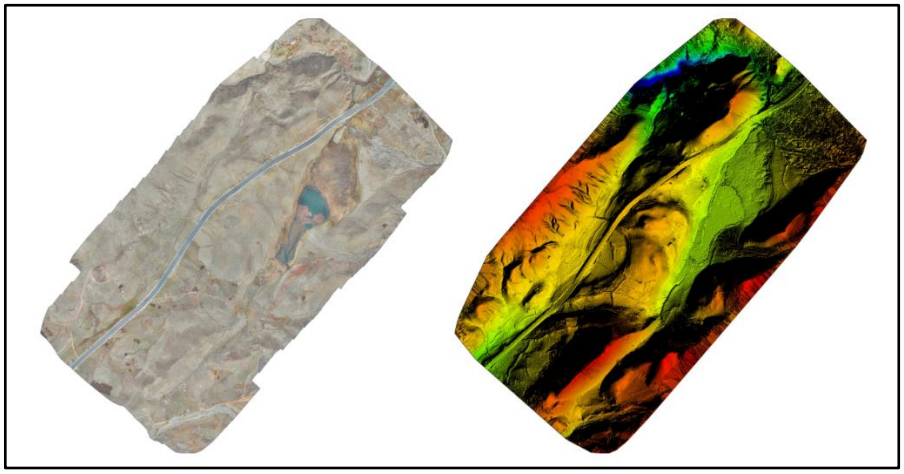
Şekil 4.10: Ilıca Segmenti üzerinde Hacılar Lokasyonunda oluşturulan ortofotoğraf ve sayısal yükseklik modeli.

Tablo 4.4: Ilıca segmenti üzerinde Sudurağı lokasyonunda IHA-SfM Fotogrametri ürün bilgileri

Proje:	Sudurağı
Kamera	L1D-20c_10.3
Lens	12.825 [mm] x 8.550 [mm]
Çözünürlük	5472x3648
Ortalama Yer Örnekleme Mesafesi (GSD)	3.84 cm
İşlenen Alan	2.823 km2 / 282.3162 ha
Toplam/İşlenen Fotoğraf	1696 / 1696
Giriş Koordinat Sistemi	WGS84/Coğrafi
Çıkış Koordinat Sistemi	WGS84 /UTMzone 37N
Yer kontrolü hatası	0.034 m
Nokta Bulutu Sayısı	161822040
Nokta Bulutu Yoğunluğu	67.32 /m3
Sayısal Yüzey Modeli (DSM) ve Ortofotoğraf Çözünürlüğü	3.84 cm/piksel
Sayısal Arazi Modeli (DTM) Çözünürlüğü	5 cm/piksel
Eş Yükselti Eğrileri aralığı	1 m



Şekil 4.11: Ilıca Segmenti üzerinde Sudurağı Lokasyonunda a. Hava fotoğraflarının dağılım planı, b. Örtüşen fotoğraf sayısının dağılımı.



Şekil 4.12: Ilıca Segmenti üzerinde Sudurağı Lokasyonunda oluşturulan ortofotoğraf ve sayısal yükseklik modeli.

4.2. STRATİGRAFİ

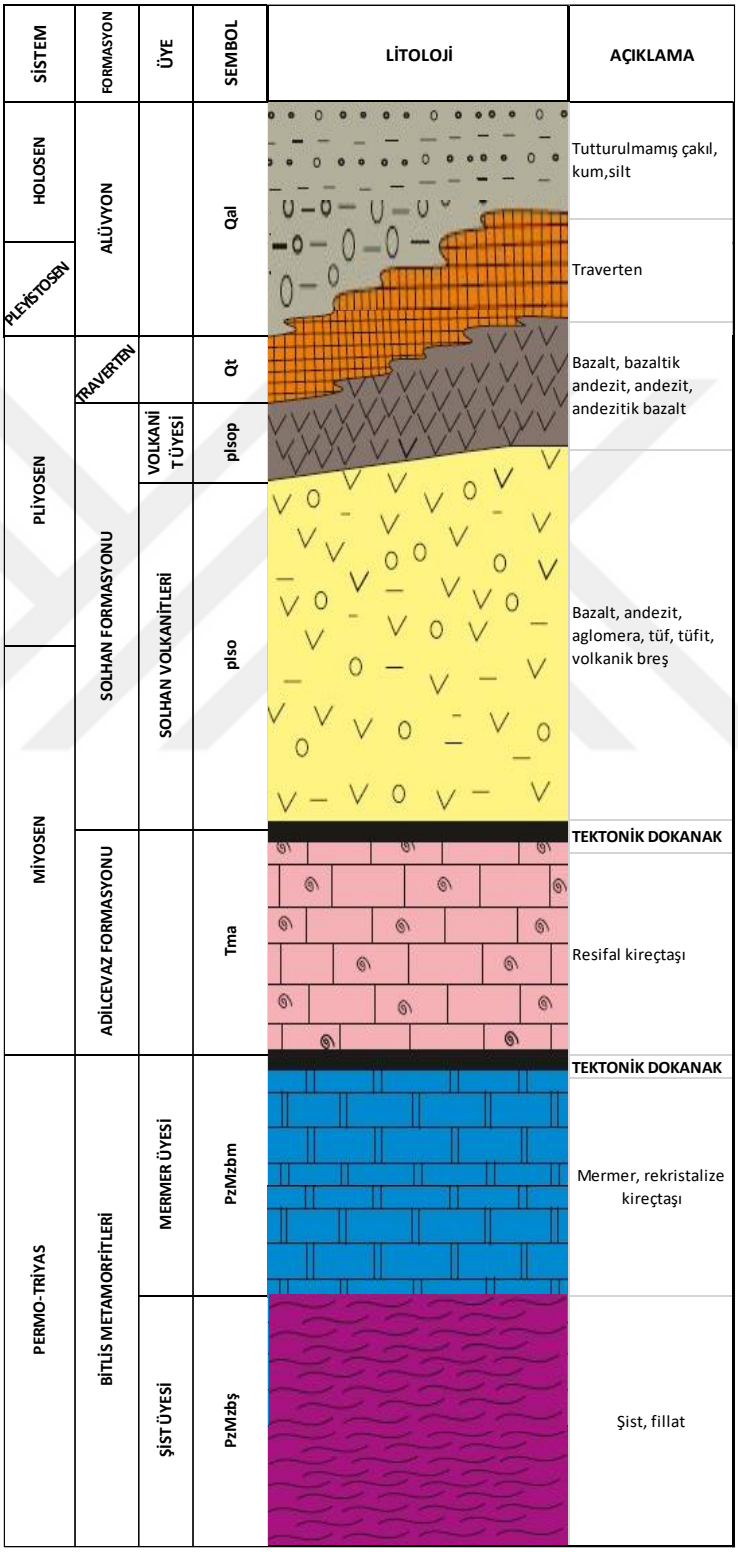
Bingöl-Göynük arasında DAFZ boyunca, Paleozoyik'ten Kuvaterner'e kadar değişen yaşlarda farklı kaya toplulukları yüzeylenmektedir. Çalışma alanının temelini Permiyen yaşlı şist-mermer ardalanmasından oluşan Bitlis Metamorfitleri üst birliği oluşturmaktadır. Bu birlik mermer üyesi ve şist üyesinden oluşmaktadır. Erken Miyosen yaşlı resifal kireçtaşlarından oluşan Adilcevaz formasyonu, Bitlis Metamorfitleri ile tektonik dokanaklıdır. Çalışma alanı içerisinde oldukça geniş alana yayılmış olan, Solhan Formasyonu, tüf, tüfit, aglomera, bazalt, ve volkanik breşlerden oluşan Solhan Volkanitleri ve bazaltlar ile andezitlerin temsil ettiği Volkanit üyesinden oluşur. Geç Miyosen - Pliyosen yaşlı Solhan Formasyonu, kendinden yaşlı olan birimlerle tektonik dokanaklıdır. Geç Pliyosen-Holosen döneminde faylar boyunca travertenler gelişmiştir. Travertenlerin stratigrafik olarak üzerinde Kuvaterner yaşlı alüvyon, alüvyal yelpaze ve alüvyal taraça çökelleri izlenir. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti aşağıda verilmiştir (Şekil 4.13).

4.2.1. Bitlis Metamorfitleri

Birim, Bitlis Metamorfitleri olarak Boray (1975) tarafından adlandırılmış olup, bir çok araştırmacı tarafından farklı isimlerle kullanılmıştır. Bitlis Metamorfikleri alt ve üst metamorfik birlik olmak üzere 2 ye ayrılmış ve alt birlik gnays, metatüf, metavolkanik ve bunları kesen granitlerle temsil edilirken, çalışma alanında görülen üst birlik şist ve mermerlerden oluşmaktadır.

Taze yüzeyleri beyaz, açık griden koyu griye kadar değişen renklerde görülen mermerlerin alterasyon yüzeyleri kırmızı, kırmızımsı kahverengi ve sarımsı kahverengi renklerde görülür. Faylanmaya bağlı olarak breşik yapı ve kırık çatlaklarında damar şeklinde kalsit dolgusu ve fay killeri gözlenmiştir (Şekil 4.15, Şekil 4.16). Gri, koyu gri renklerdeki şistler belirgin tabakalanma gösterirler (Şekil 4.17, Şekil 4.18) Bitlis Metamorfitleri, çalışma alanı içerisinde yüzeyleyen en yaşlı birimdir ve stratigrafik olarak üzerine gelen birimlerle tektonik dokanaklıdır (Şekil 4.14, Şekil 4.20, Şekil 4.22) Birimin mermer üyesi ve şist üyesi birbiriyle ardalanmalı olarak görülmektedir. DAFZ'nun batısında Ilıcaların kuzeybatısından Tahtalı Tepe'nin kuzeydoğusuna kadar gözlenen birim, fayın doğu tarafında Çobantaşı köyü kuzeydoğusundan Göynük köyüne kadar devam eder. Bitlis Metamorfitleri mermer üyesi, Uzundere köyü batısında, Tartalı Tepe'nin kuzeydoğusunda, Çobantaşı köyü doğusunda ve Göynük civarında Solhan Volkanitleriyle, yine Çobantaşı köyü doğusunda resifal kireçtaşlarından oluşan Adilcevaz Formasyonuyla tektonik dokanaklı olarak görülür.

Erdoğan ve Dora (1983), Bitlis Metamorfitleri mermer üyesinde yaptıkları çalışmalarda *Mizzia velebitana* fosilinden Permiyen yaşını, Perinçek (1980), aynı üst birlikte *Frondicularia* sp., *Trochammina* sp., *Earlandia* sp. ve megaladon fosillerinden Triyas yaşını ortaya koymuştur.



Şekil 4.13: Çalışma alanı Ilıca Segmentinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.



Şekil 4.14: Hacılar köyü güneyinde Bitllis Metamorfitleri ile Solhan Formasyonunun tektonik ilişkisi. Kırmızı renkli oklar Ilıca segmentini işaret etmektedir (Bakış Yönü: GB).



Şekil 4.15: Çobantaşı köyünün kuzeydoğusunda Göynük Çayı'nın Ilıca segmenti tarafından kesildiği lokasyonda yüzeyleyen Bitlis Metamorfitleri Mermer Üyesi. (Bakış Yönü: KD).



Şekil 4.16: Sudurağı köyünün güneydoğusunda bir mermer mostrası (Bakış Yönü KD).



Şekil 4.17: Yenibaşlar köyünün kuzeyinde mostra veren Bitlis Metamorfitleri içerisinde yer alan şistler (Bakış Yönü: KB).



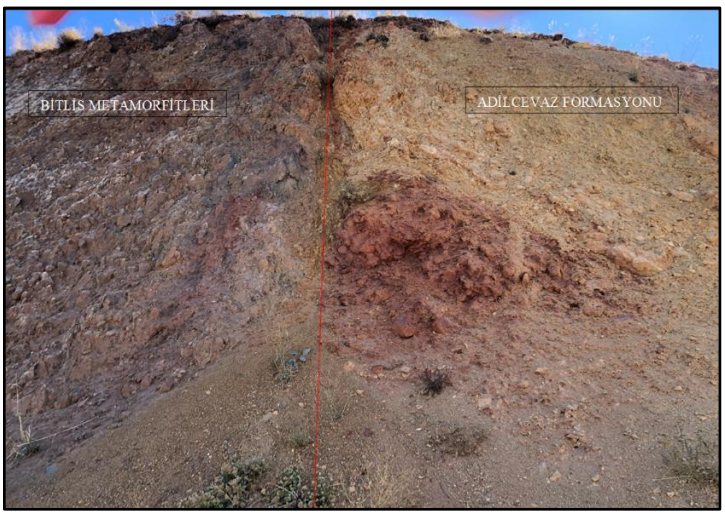
Şekil 4.18: Yenibaşlar köyü kuzeyinde şistlerin yakından görünüşü (Bakış Yönü: KB).

4.2.2. Adilcevaz Formasyonu

Adilcevaz Formasyonu, ilk olarak Demirtaşlı ve Pisoni (1965) tarafından adlandırılmış olup, sarımsı krem renkli, bol miktarda makro ve mikro fosil içeren resifal kireçtaşlarından oluşmaktadır (Şekil 4.19). Türkecan (1991) tarafından yapılan çalışmalarda, birim içerisindeki nanoplankton fosillerinden (Discoaster adamanteus Bramlette ve Wilcoxon, Dicoaster deflandrei Bramlette ve Ricdal, Dicoaster druggi Bramlette ve Wilcoxon) ve bentonik foraminiferlerden (Miogypsina irregularis (Michelotti), Miogypsinoides sp., Miogypsina sp., Miolepidocyclina sp., Lepidocyclina sp., Nephrolepidina sp., Eulepiclina sp., Spirclypecu sp.) formasyonunun yaşı Erken Miyosen olarak bulunmuştur. Çalışma alanı içerisinde Hacılar köyünün güneyinde oldukça kısıtlı bir alanda izlenir ve Bitlis Metamorfitleri ile dokanağı tektoniktir (Şekil 4.20).



Şekil 4.19: Adilcevaz Formasyonu resifal kireçtaşları içerisindeki makro fosil kavkıları.



Şekil 4.20: Çobantaşı köyü doğusunda, Adilcevaz Formasyonu ile Bitlis Metamorfitleri arasında izlenen tektonik dokanak (Bakış Yönü KD).

4.2.3. Solhan Formasyonu

İlk olarak Şaroğlu ve Güner (1981) tarafından Solhan Volkanitleri olarak adlandırılan birim daha sonra Akay ve Türkecan (1990) tarafından Solhan Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Solhan Formasyonu, Doğu Anadolu'nun neotektonik dönemi genç volkanizmasının ilk ürünü olarak oluşmuştur.

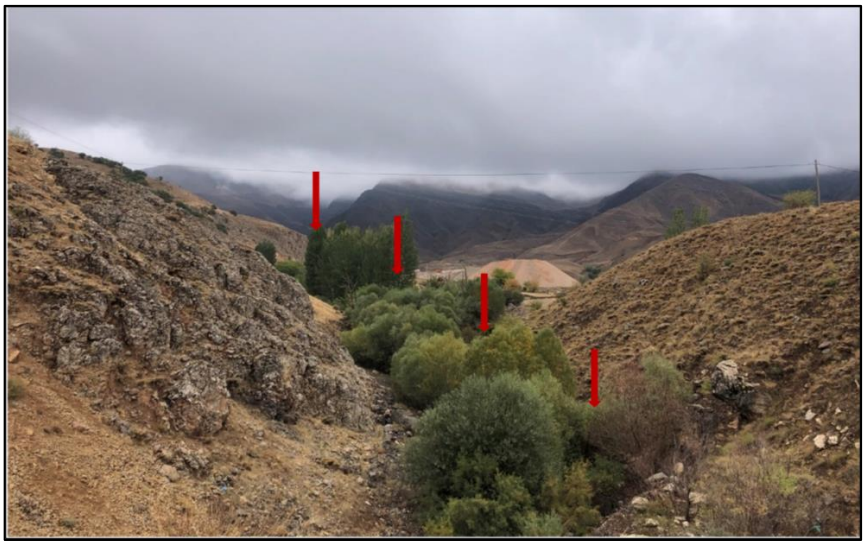
Solhan Formasyonu, Solhan Volkanitleri, Piroklastik üyesi ve Volkanit üyesi olarak ayrılmış olup çalışma alanı içerisinde ayrılmamış volkanitler olan Solhan Volkanitleri ve bazalt ve andezitlerle temsil edilen Volkanit üyesi olarak haritalanmıştır.

Karasal ortam özelliği gösteren ve yaklaşık 1000m kalınlığa sahip olan (Türkecen, 1991) Solhan Formasyonu çalışma alanı içerisinde oldukça geniş yer tutar (Şekil 4.21). Aglomera, volkanik breş, tüf, tüfit gibi volkanoklastik kayalarla başlayıp, bazalt ve andezit kayalarıyla devam eden Solhan Formasyonu içerisinde marn, kumtaşı, silttaşı gibi sedimenter birlikler ardalanmalı veya kama şeklinde devamsız olarak görülür.

Akay ve diğ. (1989), Solhan Volkanitleri içerisinde bulunan sedimenter istiften elde ettikleri fosillerden Erken-Geç Pliyosen yaş elde ederken, İnnocenti ve diğ. (1982), Pearce ve diğ. (1990) ve Türkecan (1991) Solhan Volkanitleri içerisindeki lavlardan, radyometrik yaş verilerine dayanarak Geç Miyosen – Erken Pliyosen yaşını ortaya koymuşlardır. Daha önceki çalışmalar ve Solhan Volkanitlerinin diğer birimlerle ilişkisinden doğan göreceli yaşlar da düşünüldüğünde bu çalışma için Solhan Formasyonunun yaşı Geç Miyosen – Pliyosen olarak kabul edilmiştir (Şekil 4.23).



Şekil 4.21: Ilıca segmenti civarında Solhan Volkanitlerinin genel görünümü (Bakış Yönü: KB).



Şekil 4.22: Çobantaşı köyü doğusunda dere boyunca Bitlis Metamorfitleri ve Solhan Volkanitleri arasındaki tektonik dokanak. Kırmızı renkli oklar tektonik dokanağı göstermektedir (Bakış Yönü: D).



Şekil 4.23: Tümsek Tepe'nin güneyinde Göynük çayının batı kenarında Solhan Volkanitleri ve üzerinde görülen bazaltlar (Bakış Yönü: KB).

4.2.4. Traverten

Travertenler, kalsiyum karbonat (CaCO3) bileşimindeki kimyasal tortul kayaçlar olup, Ca^{+2} ve HCO_3 ce zengin yeraltı sularının, kalsiyum karbonat içeren kayalarla temas ederek alterasyona sebep olması sonucu bünyelerine kalsiyum karbonat katarak bir fay veya bir çatlak yardımıyla yüzeye ulaşıp, bünyelerinde bulundurdukları $CaCO_3$'ı çökeltmesiyle oluşur (İnan, 1985).

Genellikle beyaz veya açık krem renklerinde olan travertenler, çökelme hızının ve su sıcaklığının farklı olduğu ortamlarda farklı fiziksel özellikler gösterir (Şekil 4.24). Sıcak sularla

veya yavaş bir şekilde oluşan travertenler sert, az gözenekli, sıkı dokulu ve bol kristalli olurken, soğuk sularla veya hızlı bir şekilde oluşan travertenler yumuşak, boşluklu dokuda olup, bitki kalıntıları içerebilirler (Koşun ve diğ., 2005).



Şekil 4.24: Çalışma alanında yüzeyleyen travertenler içerisinde görülen nodüler yapı, gözenekli yapı ve soğan kabuğu yapısı.

Altunel ve diğ. (1994), traverten oluşum ve çökelim şekillerinin morfolojik özellikleri ve fayın tektonik etkileri arasında bir ilişki kurarak bu ilişkiye Travitonik adını vermiştir. Farklı araştırmacılar da (Barnes ve diğ., 1978; Hancock ve diğ., 1999; Alçiçek ve diğ., 2005; Altunel, 2005) travertenler ile faylar arasında bir ilişki olduğunu, faylanma ile oluşan kırık çatlaklardan sızan hidrotermal suların traverten oluşumunda önemli yeri olduğunu ve dolayısı ile travertenlerden elde edilen yaş verilerinin faylanma yaşını belirlemede önemli rol oynadığını ileri sürerek faylanma ve travertenler arasında bir ilişki kurulmuştur.

Çalışma alanı içerisinde DAFZ boyunca fayın etkisiyle kayaçlarda görülen breşik yapılar hidrotermal suların yüzeye çıkışına olanak sağlamış ve Bingöl-Göynük arasında çalışılan segment boyunca 3 farklı traverten çökelimi gerçekleşmiştir. Bu farklılık $CaCO_3$'ın çökelme sırasında farklı ortamlarda, farklı morfolojik özelliklerle karşılaşmasından dolayı gerçekleşir ve çalışma alanında tabakalı traverten, sırt tipi traverten ve teras tipi traverten oluşumları gözlenir. Hacılar Köyü yakınlarında travertenlerin yamaç molozu ve mermerlerle olan ilişkisi (Şekil

4.30, Şekil 4.31) ve sıcak su çıkış noktaları aşağıda gösterilmiştir (Şekil 4.32, Şekil 4.33, Şekil 4.34).

Tabakalı travertenler; Ca^{+2} ve HCO_3 ce zengin suların, belli bir eğim ile duran kayalar üzerindeki akışı sırasında, tepkimeye girerek bünyesinde bulundurduğu $CaCO_3$'ı çökeltmesiyle oluşur. Tabakalı travertenler çalışma alanı içerisinde Beyin deresinde ve Hacıların kuzeybatısında geniş alana yayılmış olarak görülür (Şekil 4.25, Şekil 4.26).



Şekil 4.25: Sudurağı köyü güneydoğusunda Beyin dere yakınında tabakalı traverten (Bakış Yönü: KB).



Şekil 4.26: Beyin dere'nin kuzeyinde tabakalı traverten ile solhan volkanitlerinin dokanağı (Bakış Yönü: K).

Teras tipi travertenler; Eğim yönünde hareket eden Ca^{+2} ve HCO_3 ce zengin suların bir engelle karşılaşması sonucu bulunduğu alana $CaCO_3$ ü çökeltmesiyle oluşur. Bu alanlarda gerçekleşen

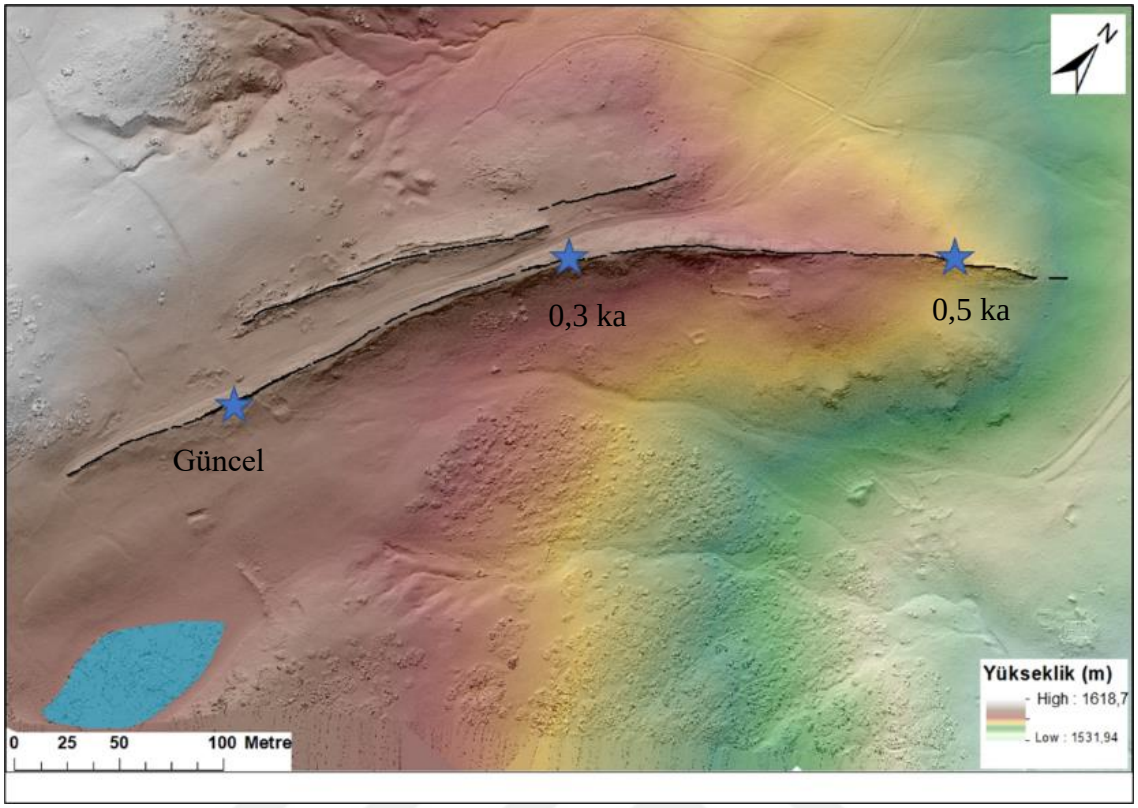
çökelim hızlıdır ve dolayısı ile travertenler gözenekli dokuya sahiptir. Boyutları mm ile metreler arasında değişen balkona benzer yapılardır ve çalışma alanı içerisinde Alatepe'nin güneybatısında Göynük Çayı kenarında yüzeylerler (Şekil 4.27).



Şekil 4.27: Alatepe köyü güneyinde, Tartalı Tepe'nin doğusunda Göynük Çayı kenarında yüzeyleyen traverten taraçası (Bakış Yönü: B).

Sırt tipi travertenler; Sırt tipi travertenler daha önce Hayden (1872) tarafından keşfedilmiş olsa da ilk kez Jones (1925) tarafından adlandırılmıştır. Bu travertenler genişlemeli tektonik ortamlarda, açılma çatlakları boyunca gelişirler. Fay veya çatlak boyunca yüzeyde hareket eden yeraltı suyunun çatlağın her iki tarafında $CaCO_3$ biriktirmesiyle meydana gelir. Baca biçiminde ve doğrultu boyunca ortası çukur, kenarları ise gerçekleşen birikmeden dolayı yarım koni şeklindedir. Bu baca şeklindeki çukurlar su çıkış kanallarıdır ve zamanla genişlerler. Bu genişlik bir kaç mm'den birkaç metreye kadar değişiklik gösterebilir.

Sırt tipi travertenler çalışma alanı içerisinde Hacılar'ın güneybatısında Solhan Volkanitleri üzerine uyumsuz olarak çökelmiş olarak görülür. 470 m uzunluğundaki sırt 17 ile 115m arasında değişen genişliğe sahip olup yaklaşık 10m yüksekliğindedir. Ana sırta verev duran diğer sırt ise 150 m uzunluğunda 15m genişliğinde ve yaklaşık 6m yüksekliğindedir. Çolak Erol ve diğ., (2015)'nin Hacılar'ın güneybatısındaki travertenlerde yapmış oldukları U-Th yaşlandırma çalışmalardan elde edilen yaşlar aşağıda gösterilmiştir (Şekil 4.28, Şekil 4.29, Şekil 4.32). Bu yaş sonuçları traverten oluşumunun kuzeydoğudan güneybatıya doğru geliştiğini, açılmanın daha çok olduğu tarafın yaşlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.28: Hacılar köyü güneybatısında görülen sırt tipi travertenlerde gelişmiş kırık çatlakların sayısal yükseklik modeli üzerindeki görüntüsü. Yaş verileri ÇolakErol ve diğ., 2015'den alınmıştır.



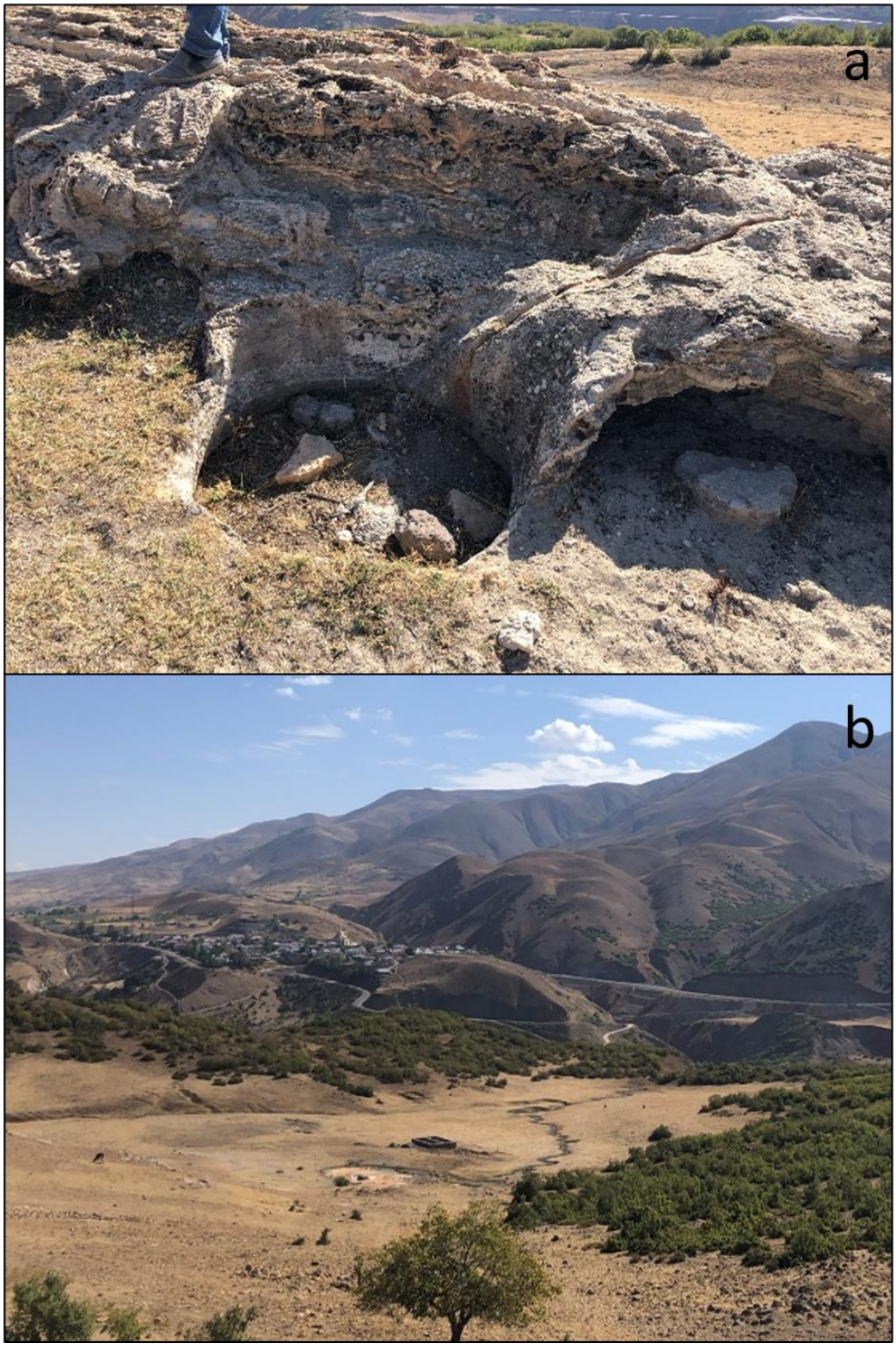
Şekil 4.29: Hacılar köyü güneybatısı, Hamam Tepe'nin kuzeyinde görülen sırt tipi travertenler (Bakış Yönü: GB).



Şekil 4.30: Sudurağı köyü güneydoğusunda Beyin Deresi yakınında traverten ile mermerin tektonik dokanağı (Bakış Yönü: D).



Şekil 4.31: Hacılar köyü kuzeydoğusunda derede traverten ve yamaç molozu (Bakış Yönü: D-GD).



Şekil 4.32: Hacılar köyü güneybatısında sırt tipi travertenlerde a. doğal çıkış noktası ve b.patlamaları önlemek amacıyla açılmış yapay su çıkış noktası.



Şekil 4.33: Hacılar köyü güneybatısında dere kenarında sıcak su doğal çıkış noktası (Bakış Yönü:B).



Şekil 4.34: Alatepe köyü doğusunda sıcak su çıkış noktası (Bakış Yönü: K).

4.2.5. Güncel Çökeller

Çalışma alanı içerisinde, Pleistosen'den günümüze kadar olan dönem, alüvyon, taraça, yelpaze ve yamaç molozu çökelleri ile temsil edilmektedir.

Alüvyonlar, Göynük Çayı ve ona bağlanan dere kollarında, dere yatağı boyunca geniş yayılım göstermektedir (Şekil 4.35).



Şekil 4.35: Göynük Çayı yatağında çökelen Alüvyonların genel görünümü.



Şekil 4.36: Yenibaşlar Köyü'nde mermer ve yamaç molozu (Bakış Yönü: KB).

Yamaç molozu, Yenibaşlar ve Hacılar köylerinde mermer bloklarından aşınıp kopan parçaların dik yamaçların eteklerinde birikmesiyle oluşmuştur (Şekil 4.36). Beyin Dere'nin kenarında köşeli, yarı köşeli mermer bloklarından oluşan yamaç molozu traverten ile ardalanmalı olarak görülür (Şekil 4.37).

Bundan başka, Göynük Vadisi boyunca akarsu çökelleri 4 taraça meydana getirmiştir. Bu taraça basamakları fay morfolojisi bölümünde anlatılacaktır.

Ilıca Segmenti boyunca özellikle Solhan Volkanitlerinde heyelan gelişimi oldukça yaygındır (Şekil 4.38).



Şekil 4.37: Beyin derenin kenarında travertenlerle ardalanmalı görülen yamaç molozu (Bakış Yönü: K).



Şekil 4.38: Hacılar'ın güneybatısında görülen heyelanlar.

4.3. YAPISAL JEOLOJİ

Çalışma alanı, yaklaşık K50°D doğrultulu bir hat boyunca devam eden DAFZ üzerinde yer almaktadır. DAFZ'na konjugat gelişmiş faylar da arazi çalışmalarında gözlenmiştir. Arazi gözlemleri GB'dan KD'ya doğru aşağıda verilmektedir (Şekil 4.44 - Şekil 4.61 arası). Gözlenen fay düzlemleri üzerinde yapılan doğrultu-eğim ölçümleri kullanılarak DAFZ (Şekil 4.40, Şekil 4.42) ve DAFZ'na konjugat gelişmiş fayların (Şekil 4.41) genel konumları gül diyagramları üzerinde gösterilmiştir. Ortalama doğrultusu K50°D olan DAFZ ve genel doğrultusu K20°B olan konjugat faylar arasında ortalama 70° bir açı oluşur (Şekil 4.43).

Hacılar köyü güneybatısında sırt tipi travertende gerçekleştirilen 272 adet çatlak ölçümü gül diyagramı üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.39, Şekil 4.42). Fayla gelişen sintetik kırıklar boyunca çıkan sular sırt tipi travertenleri oluşturmuştur. Oluşan traverten sırtının doğrultusu K60D'dur ve DAFZ ile yaklaşık 10 derecelik açı yapar (Şekil 4.43).

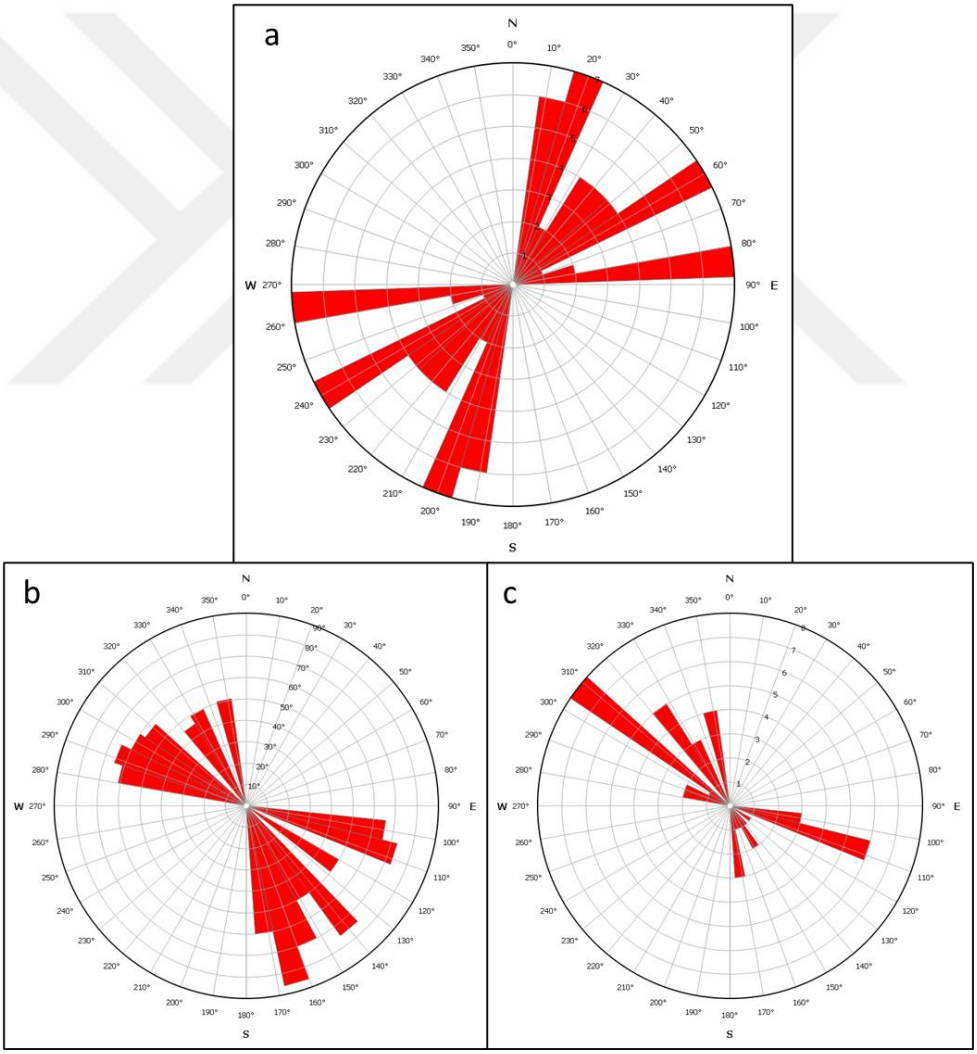


Şekil 4.39: Hacılar köyü güneybatısında görülen sırt tipi travertenlerde gelişmiş kırık çatlakların ortomozaik fotoğraf üzerinde konumları

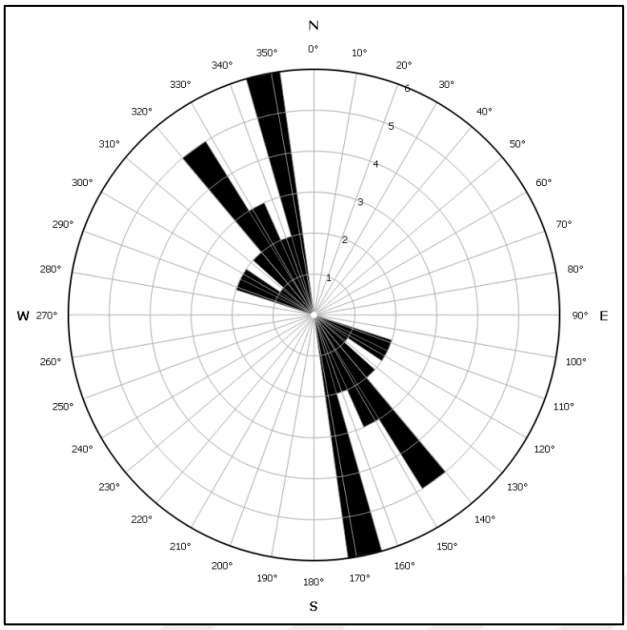
DAFZ boyunca Ilıca Segmenti'nin ve buna konjugat gelişen fayların oluşturduğu yüzey kırıkları arazi gözlemleri ile birlikte güneybatıdan kuzeydoğuya doğru aşağıda verilmiştir. Bu bölümde DAFZ'nda gelişen yüzey kırıkları kırmızı renkle, konjugat gelişen faylar ise siyah renk ile gösterilecektir.

Alatepe köyü doğusunda faylanmayla gelişen travertenler hem DAFZ'nun kolları (Şekil 4.47) hem de konjugat fay tarafından (Şekil 4.48) kesilmiştir. DAFZ tarafından kesilen travertenlerin çökelimi devam etmiş, Kuvaterner çökellerle örtülmüş ve tekrar bir kesintiye uğramamıştır. Konjugat fay tarafından kesilen travertenlerde ise faylanmadan sonra bir çökelim meydana gelmemiştir.

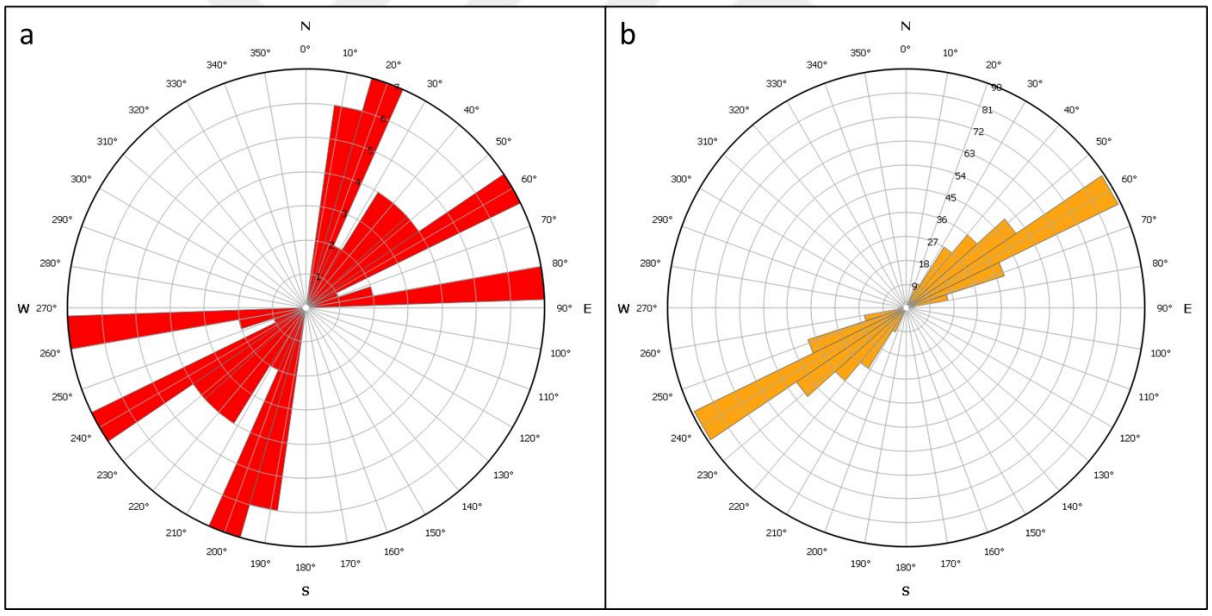
Sudurağı köyü kuzeyinde DAFZ içerisindeki fay kolları KB doğrultulu konjugat bir fay tarafından kesilmiştir (Şekil 4.60). Hacıların güneydoğusunda da yine Kuvaterner birim, DAFZ'nun doğu kolu tarafından kesilmezken, KB doğrultulu konjugat faylar tarafından kesilmektedir (Şekil 4.55).



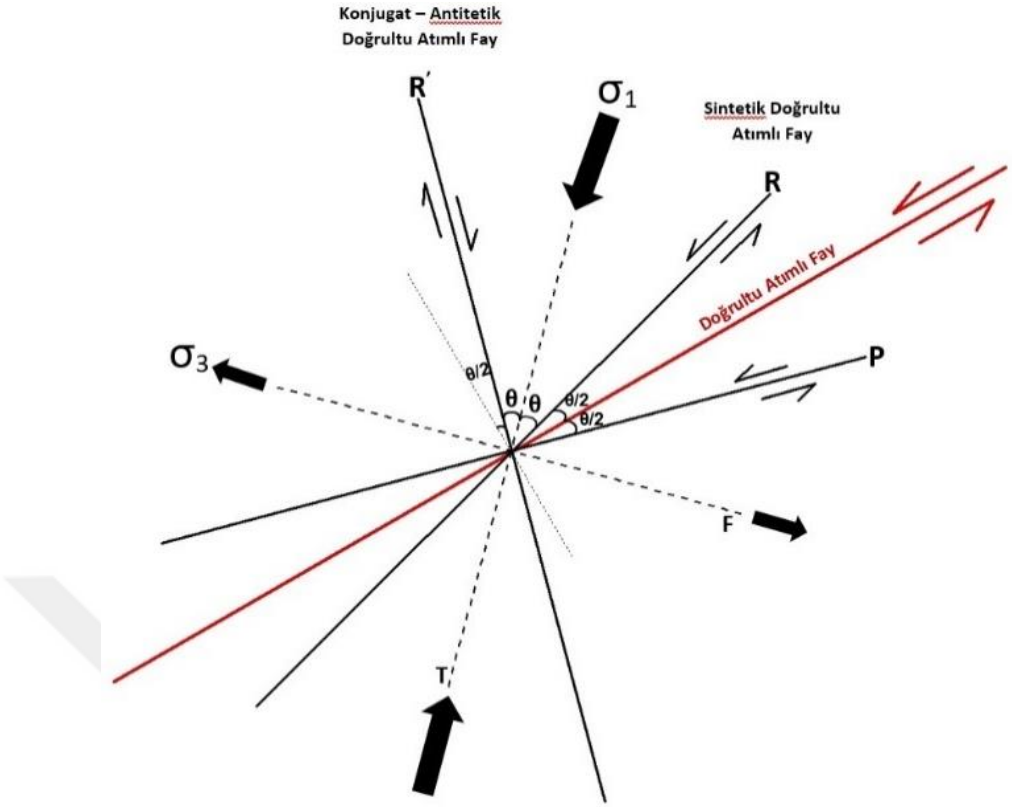
Şekil 4.40: Çalışma alanı içerisinde DAFZ boyunca incelenmiş fay düzlemlerinden elde edilmiş a)doğrultu; b)eğim yönü; c)eğim açısı değerlerinden oluşturulmuş gül diyagramlar.



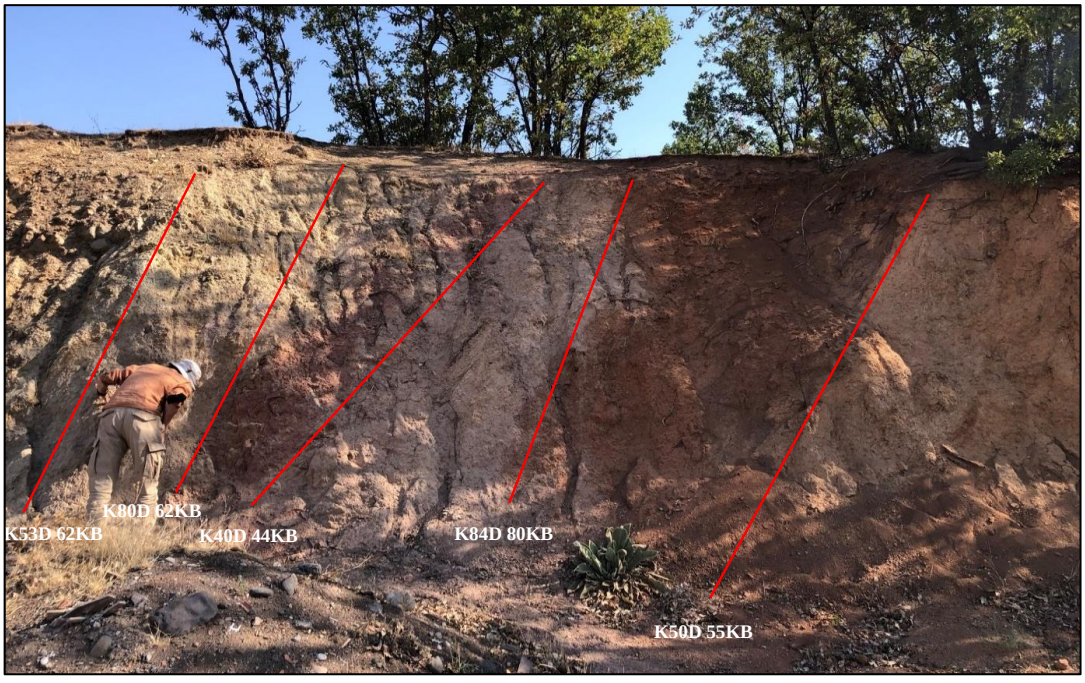
Şekil 4.41: Çalışma alanı içerisindeki DAFZ'na konjugat gelişmiş faylara ait gül diyagram.



Şekil 4.42: Çalışma alanı içerisinde DAFZ üzerinde ölçülen fay doğrultularından ve Hacılar köyü güneybatısında sırt tipi travertende ölçülmüş 272 adet çatlaktan elde edilen gül diyagramları.



Şekil 4.43: Doğrultu atımlı fayın gerilme eksenleri (Wilcox ve diğ. 1973, Bartlett ve diğ. 1981'den değiştirilerek



Şekil 4.44: Köklü Köyü'nün doğusunda Tümsek Tepe'nin batısında yol yarmasında Solhan formasyonunu kesen faylar (Bakış Yönü: KD).



Şekil 4.45: Yenibaşlarda köyün girişinde taraçalarda görülen faylanma. Fay kırıklarında kalsit oluşumları gözlenmektedir (Bakış Yönü : G).



Şekil 4.46: Alatepe köyü doğusunda Göynük Çayı kuzeyinde yol kenarında görülen fay (Bakış Yönü: B).



Şekil 4.47: Alatepe köyü doğusunda travertenleri kesen faylar (Bakış Yönü: GB).



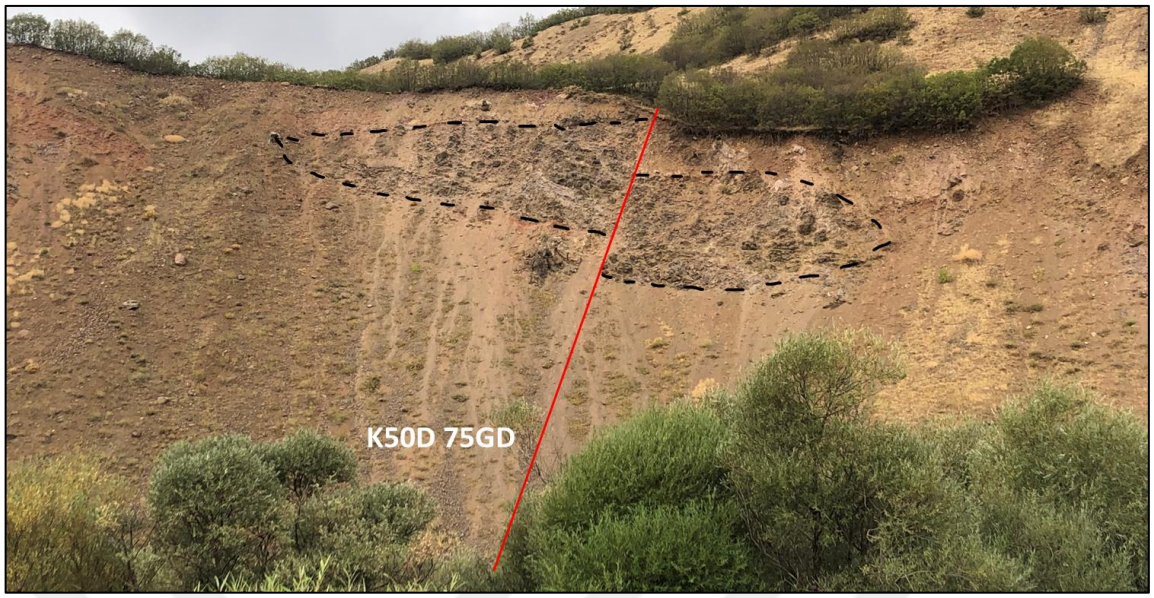
Şekil 4.48: Alatepe köyünde travertenlerde Ilıca segmentine konjugat gelişen fay (Bakış Yönü: B).



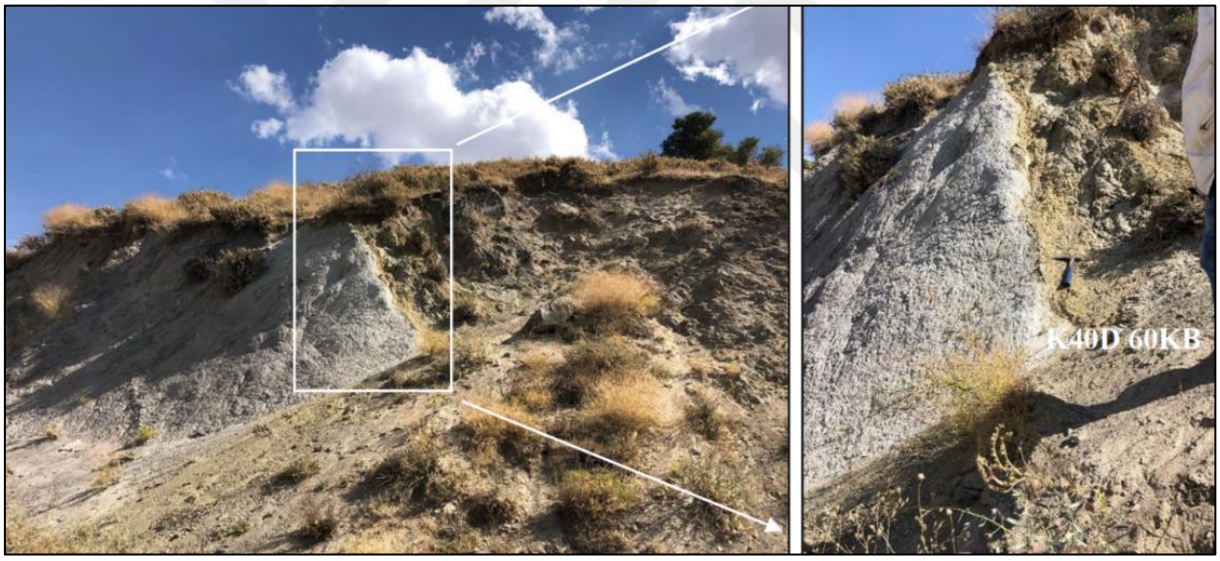
Şekil 4.49: Alatepe köyü kuzeydoğusu ile Çobantaşı köyü güneybatısı arasında Solhan volkanitleri içerisinde görülen faylanma (Bakış Yönü B).



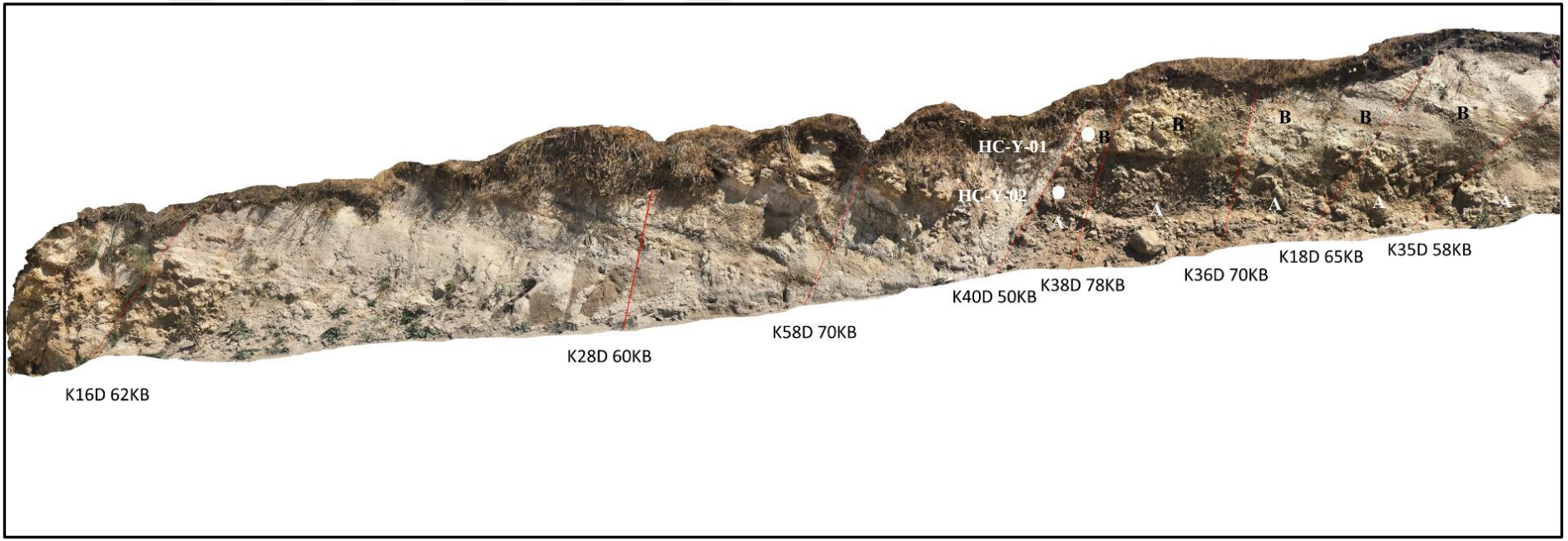
Şekil 4.50: Çobantaşı köyü doğusunda Solhan Volkanitlerini kesen K10°B doğrultulu fay (Bakış Yönü: G).



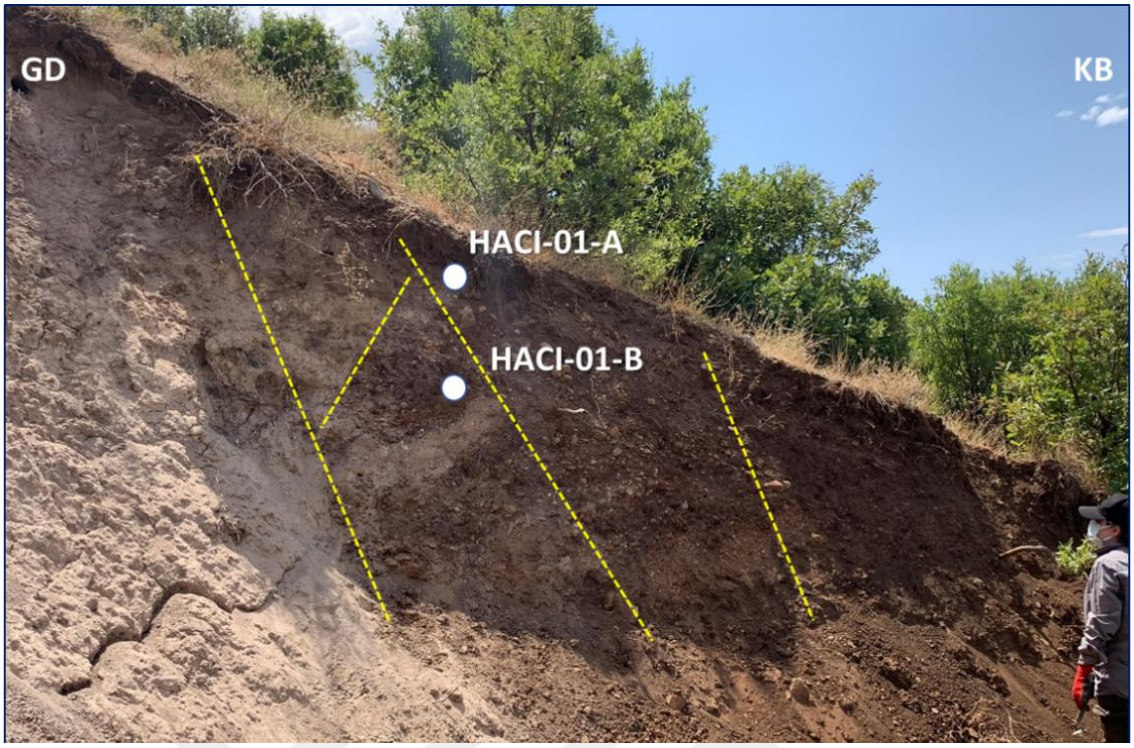
Şekil 4.51: Hacılar köyü güneybatısında Göynük Çayı yatağı içerisinde Solhan formasyonunda faylanma (Bakış Yönü : GB).



Şekil 4.52: Hacılar köyükuzeyi, Hoşek Tepe'nin güneybatısında Solhan volkanitlerini kesen fay ve fay düzlemi üzerinde gelişmiş fay kili (Bakış Yönü: D).



Şekil 4.53: Hacılar Köyü'nde izlenen altta (A) yamaç molozu ve üstte (B) travertenleri kesen faylar. Beyaz noktalar OSL numunelerinin alındığı yerler (Bakış Yönü: KD).



Şekil 4.54: Hacılar Köyü güneyinde Göynük vadisi kuzeyinde Solhan Volkanikleri ve Kuvaterner çökellerini kesen faylar (Bakış Yönü: D-GD). Beyaz noktalar alınan OSL numunelerin yerlerini göstermektedir.

Hacılar Köyü batısında DAFZ tarafından kesilen genç istif içerisinden alınan OSL numunelerinden (Şekil 4.53, Tablo 4.5) üstte bulunan yamaç molozunun yaşı 79- 80 bin yıl, altta yine travertenler ile yanal geçişli olarak görülen yamaç molozu içerisinden alınan numunenin yaşı 11-12 bin yıl olarak ölçülmüştür.

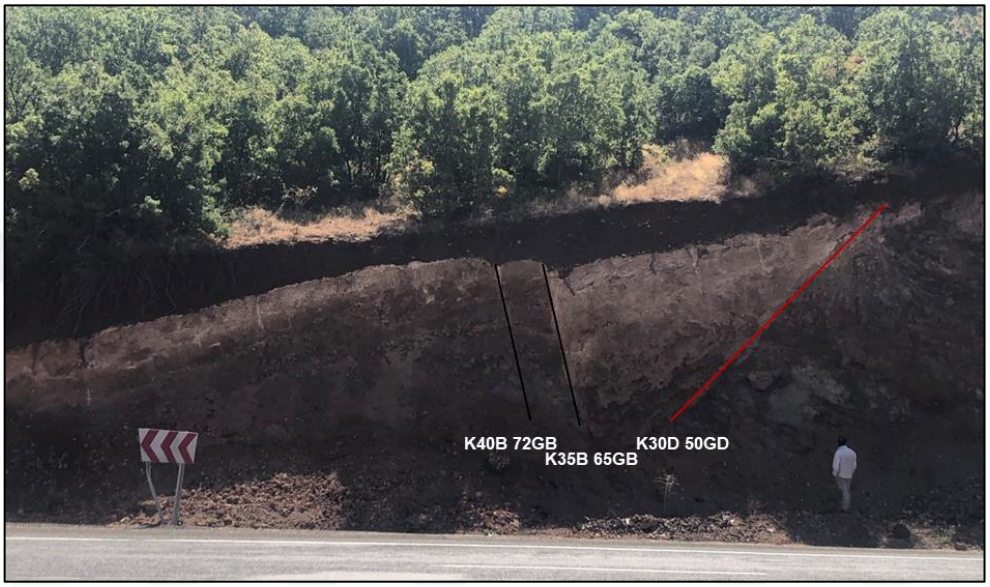
Hacılar Köyü güneyinde Göynük Vadisi içerisinde Solhan Volkanitleri ve Kuvaterner çökellerini kesen fayların yaşlarıyla ilgili veri elde edebilmek adına DAFZ'nun kollarından biri tarafından kesilen Kuvaterner istiften olay seviyesinin altından (HACI-01-B) ve üzerinden (HACI-01-A) olacak şekilde iki adet OSL numunesi alınmıştır (Şekil 4.54). Elde edilen yaş verilerine göre (Tablo 4.5), Kuvaterner çökelleri 7-10 bin (Holosen) yaş aralığındadır.

Tablo 4.5: Hacılar Köyü güney ve batı kesimlerinde DAFZ tarafından kesilen çökellerden alınan OSL yaş tayini sonuçları

Örnek	LAT	LON	Z (m)	Derinlik (cm)	OD (%)	Disc	De CAM (Gy)			De MAM (Gy)		
HC-Y-01	39.097	40.820	1550	20	16.3	12	45.6	±	2.4	45.61	±	4.35
HC-Y-02	39.097	40.820	1550	105	24.5	11/12	80.6	±	7.5	66.61	±	10.62
HACI-01-A	39.088	40.816	1480	30	29.6	12	52.3	±	4	44.26	±	5.61
HACI-01-B	39.088	40.816	1480	85	24.6	12	39.6	±	2.9	31.23	±	4.01

Tablo 4.5 devam

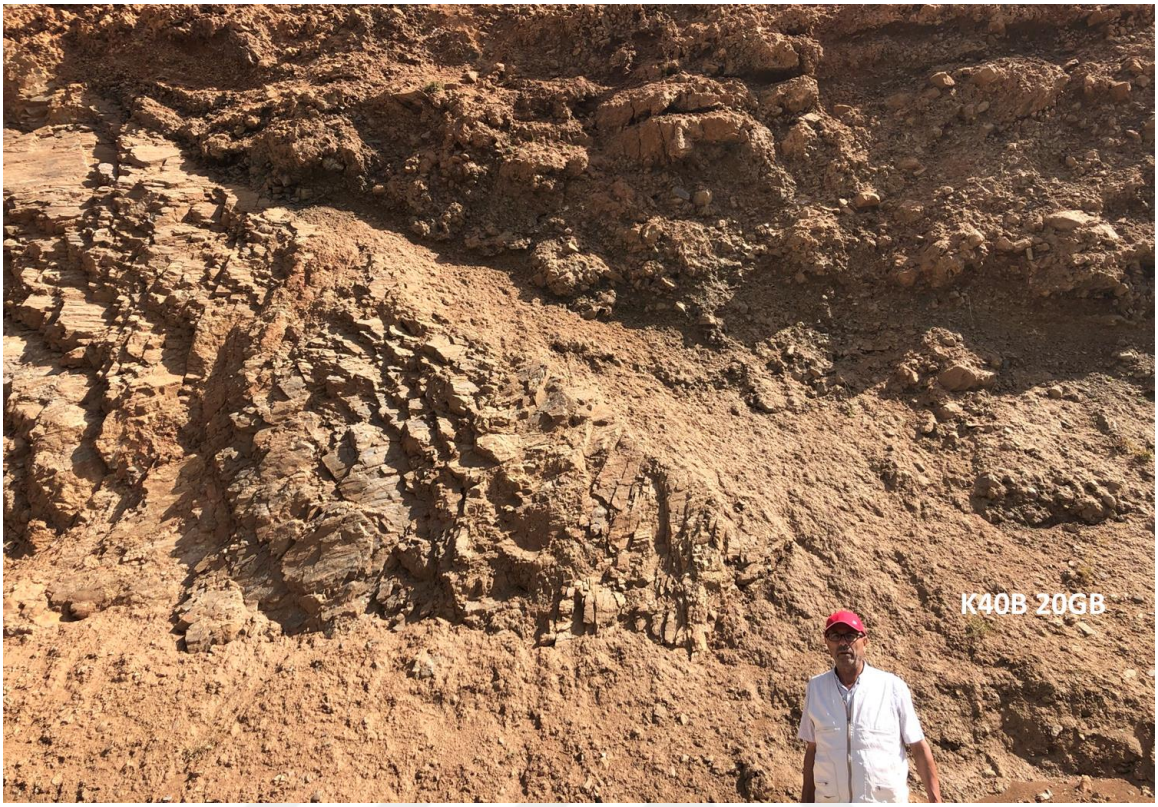
Örnek	U (ppm)	Th (ppm)	K (ppm)	Rb (ppm)	Dr (Gy/ka)	AGE (CAM) (ka)	AGE (MAM) (ka)
HC-Y-01	2.86	4.531	4.531	77.07	3.883 ± 0.148	11.743 ± 0.764	N/A
HC-Y-02	0.50	0.970	0.970	13.44	1.011 ± 0.037	79.721 ± 7.977	65.884 ± 10.78
HACI-01-A	7.36	22.00	22.00	225.85	7.197 ± 0.278	7.267 ± 0.623	6.15 ± 0.815
HACI-01-B	4.60	12.65	12.65	138.42	3.957 ± 0.147	10 ± 0.822	7.892 ± 1.055



Şekil 4.55: Hacılar köyü güneydoğusunda DAFZ'na konjugat gelişen faylar görülmektedir (Bakış Yönü:D).



Şekil 4.56: Hacıların güney doğusunda hendek alanında heyelanda DAF'a konjugat gelişmiş faylanma.



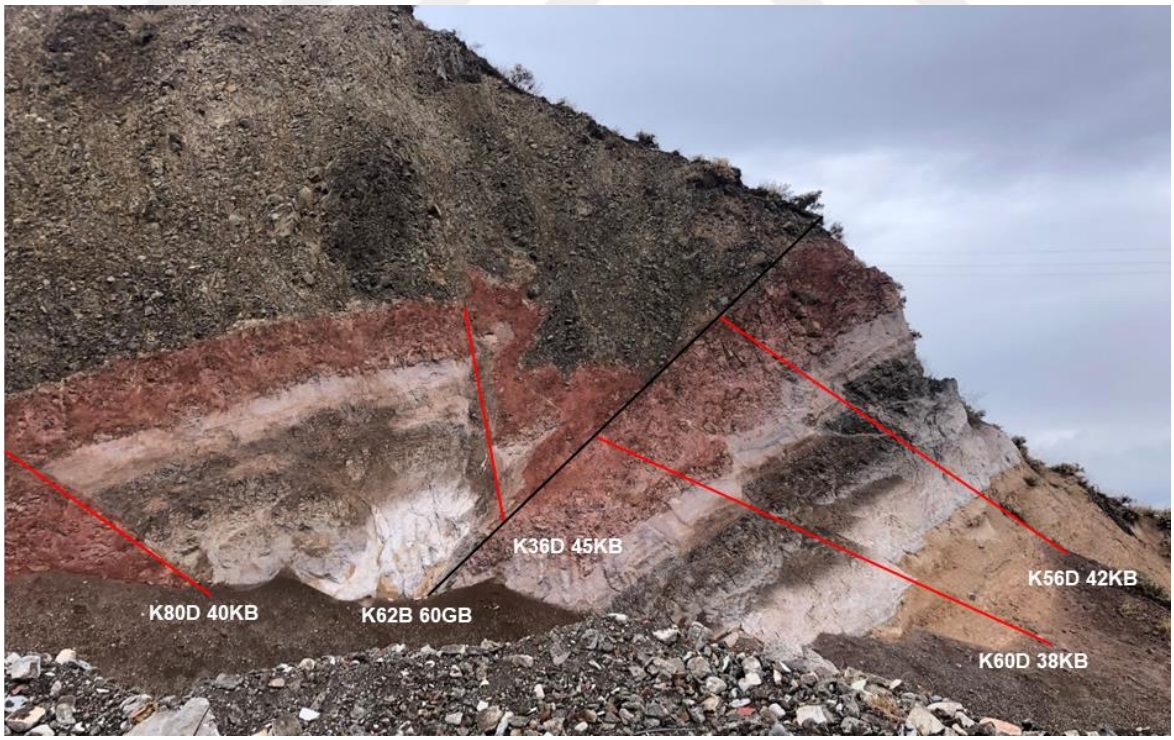
Şekil 4.57: Hacılar köyü doğusunda, çalışma alanı içerisindeki en yaşlı birim olan Bitlis Metamorfitlerini kesen Ilıca segmentine konjugat gelişmiş bir fay (Bakış Yönü: D).



Şekil 4.58: Tapan Tepe'nin doğu yamacında Solhan volkanitlerini kesen bir fay (Bakış Yönü: B).



Şekil 4.59: Ladere'nin kenarında Solhan formasyonu içerisinde bir faylanma ve fay düzlemi üzerinde gelişen fay kili (Bakış Yönü B-KB).



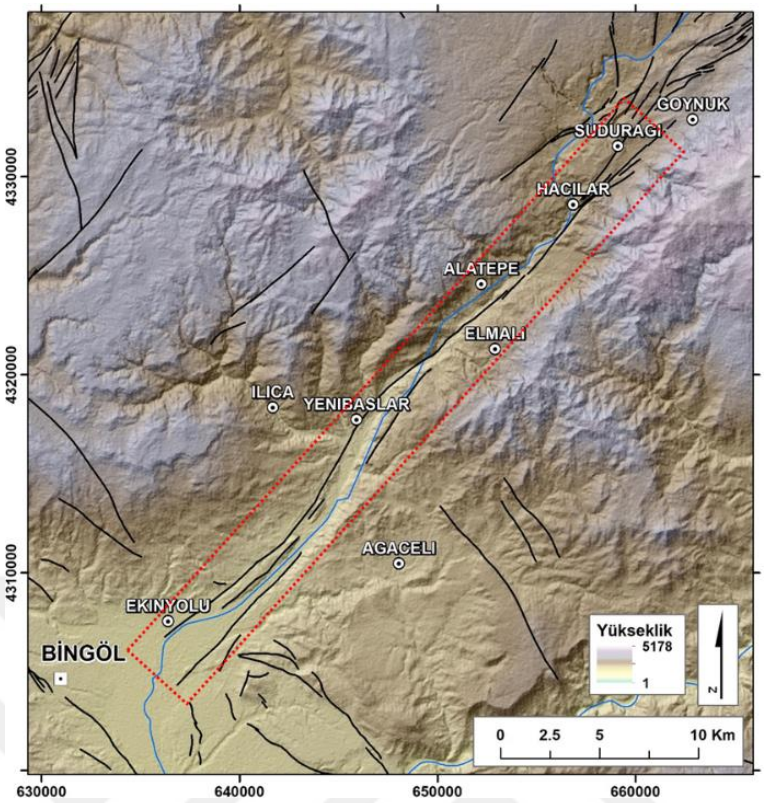
Şekil 4.60: Sudurağı köyü kuzeyinde Çaçan Tepe ile Ağacan Tepe arasında yol yarmasında Solhan Volkanitlerinde izlenen faylanmalar (Bakış Yönü: B).



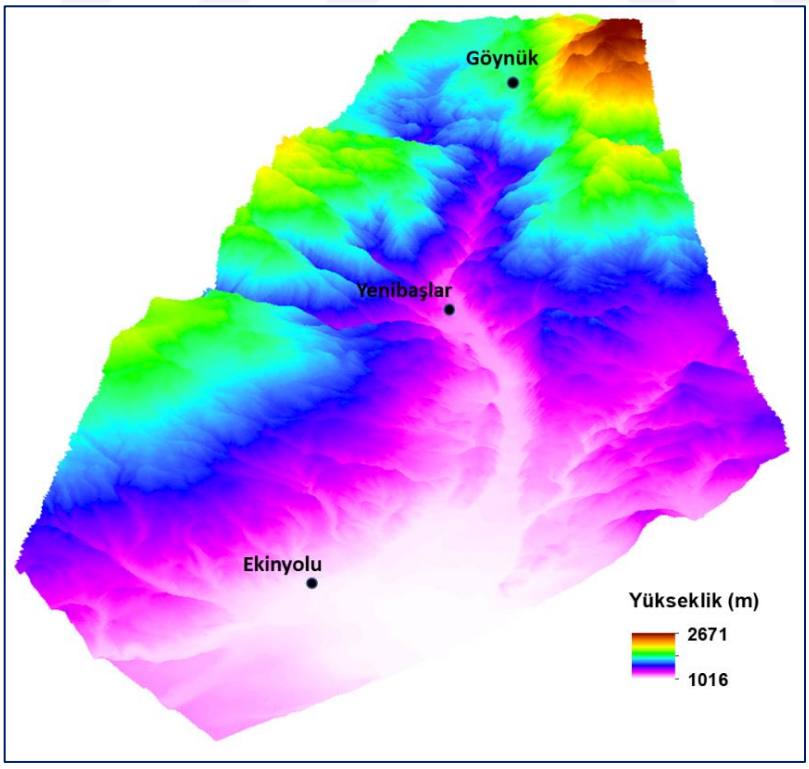
Şekil 4.61: Sudurağı köyü kuzeyindeki bir yol yarmasında DAFZ'nu kesen faylar (Bakış Yönü: B).

4.4. FAY MORFOLOJİSİ VE ÖTELENMİŞ YAPILAR

Ilıca Segmenti, Bingöl havzası kuzeydoğusundan K45°-50°D doğrultusu ile Göynük çayını takip ederek yaklaşık 35 km boyunca Göynük köyü batısına kadar devam eder. Segment, GB ve KD kesimlerinde, farklı kollar halinde uzanır ve yer yer 1.5 km genişliğe varan bir deformasyon zonu halinde, Göynük vadisi boyunca ise dar bir deformasyon zonu olarak izlenir. Ilıca segmenti boyunca, yanal atımlı fay morfolojisi ile ilişkili yapılar topoğrafyada çok belirgindir. Fay gölcükleri, basınç sırtları, oluk yapıları, uzamış sırtlar ve çizgisel vadiler en dikkat çekici yapılardır. Bu yapıların yanı sıra, Göynük Çayı boyunca farklı seviyelerde basamak oluşturmuş taraçalar, segment üzerinde morfolojik yapılarda gelişmiş sol-yanal ötelenmeler aktif tektonik hareketlerin etkisini göstermektedir. Gözlenen bu yapılar segmentin GB kesiminden KD'suna doğru sırasıyla aşağıda sunulmuştur (Şekil 4.64- Şekil 4.84 arası).

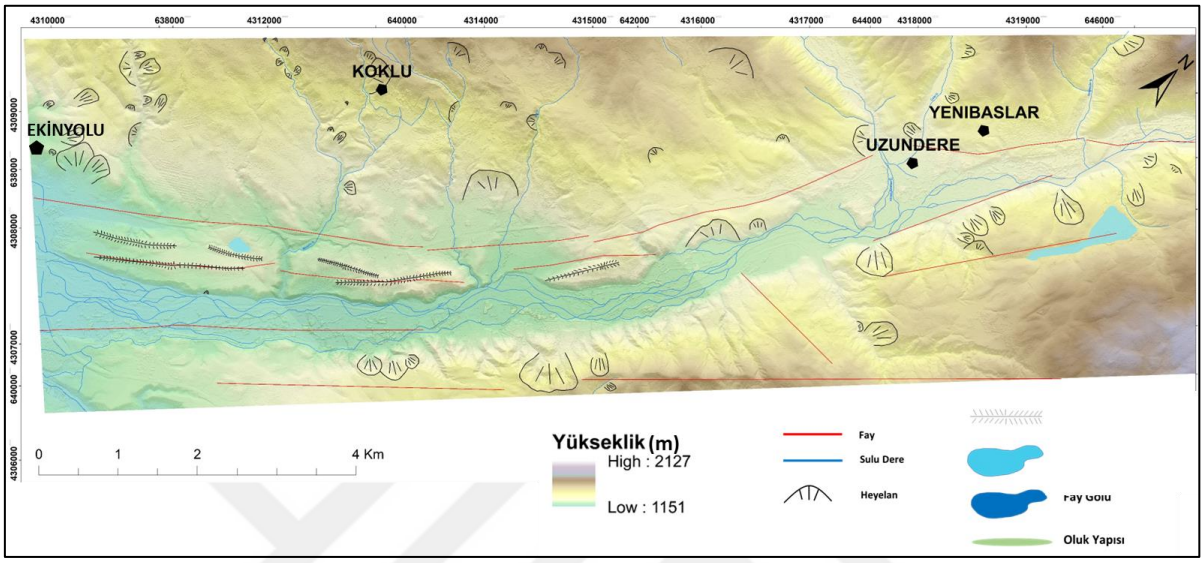


Şekil 4.62: Doğu Anadolu Fay Zonu içerisinde, Bingöl havzası kuzeydoğusunda Ilıca segmentinin konumu.



Şekil 4.63: Bingöl havzası kuzeydoğusundan Ilıca segmentinin izlendiği Göynük vadisi morfolojisine KD yönlü bir bakış.

Segmentin GB ucunda, birbirine paralel fay kolları ile birlikte geniş bir deformasyon zonu oluşturur. Bu fay kollarının geometrisine bağlı olarak, Bingöl Havzası'ndan, Ilıcalar Köyü'ne kadar uzamış sırtlar, çizgisel vadiler ve oluk yapıları görülür (Şekil 4.64, Şekil 4.65, Şekil 4.66, Şekil 4.67).



Şekil 4.64: Ilıca Segmenti'nin GB kesimi ve gelişen morfolojik yapılar.



Şekil 4.65: Ekinyolu köyü kuzeydoğusunda Göynük vadisi batısında gözlenen Doğu Anadolu Fay Zonu genel doğrultusuna paralel gelişmiş uzamış sırt. Beyaz oklar sırt eksenini işaret etmektedir. (Bakış yönü: KD)



Şekil 4.66: Ekinyolu Köyü'nün kuzeydoğusunda Zürap Tepe'nin kuzeydoğusunda göynük çayının kenarında gerçekleşen heyelan (Bakış Yönü: B).

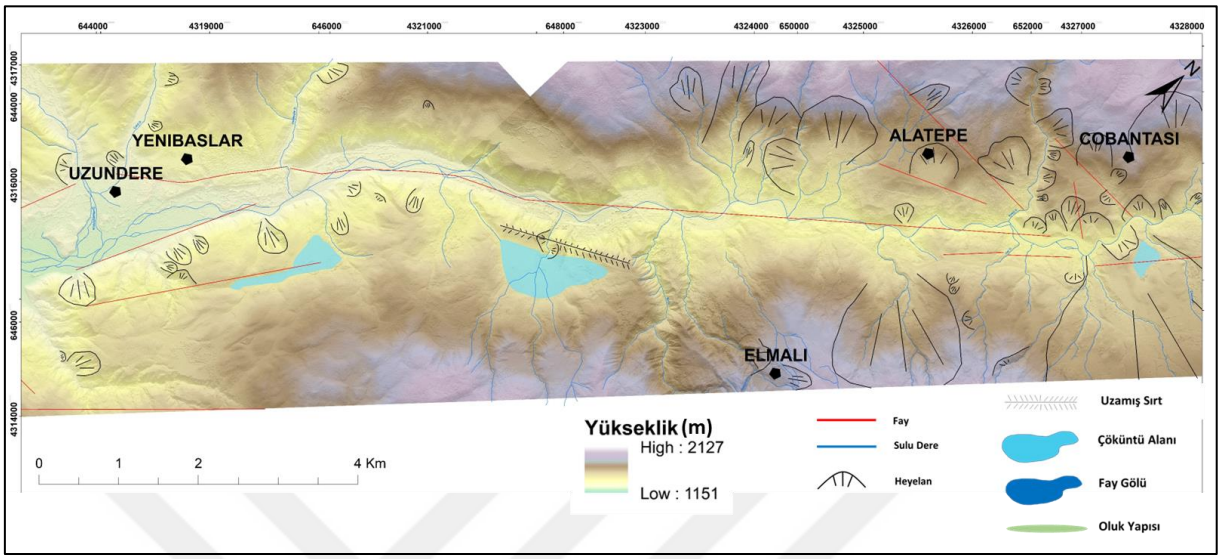


Şekil 4.67: Zürap Tepe'nin kuzeydoğusunda Göynük Çayı'nın kenarında taraça basamakları (Bakış Yönü: K).

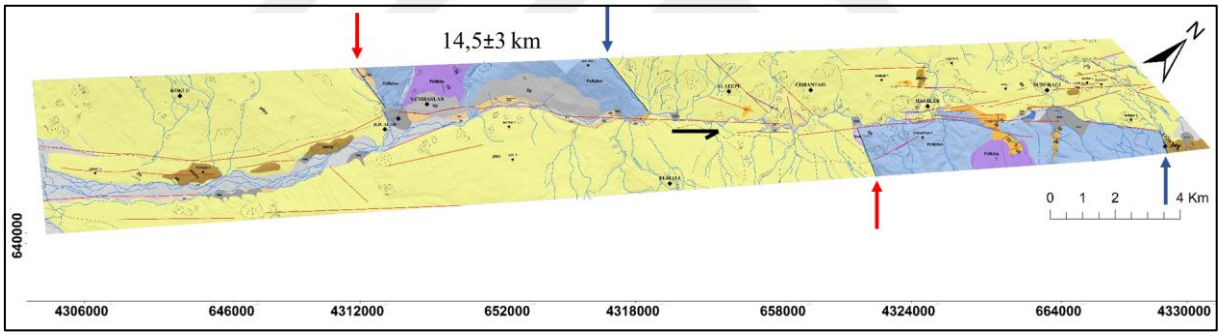
Segmentin orta kesimini oluşturan, Yenibaşlar köyünden Çobantaşı köyü güneyine kadar olan alanda segment dar bir deformasyon zonu halinde, çoğunlukla Göynük vadisi içerisinde neredeyse Ilıcalar beldesine kadar tek bir kol halinde devam eder (Şekil 4.68).

Ilıca segmenti boyunca yüzeylenen metamorfik kireçtaşları ve şistlerin oluşturduğu Bitlis Metamorfitlerinin Solhan volkanitleri ile tektonik dokanaklıdır. Bu dokanağın fayın kuzeybatı

ve güneybatı kesiminde sürekliliği kesilir ve dokanak ve komşu stratigrafik birimler yaklaşık 14,5±3 km sol-yanal olarak ötelenmiştir (Şekil 4.69).



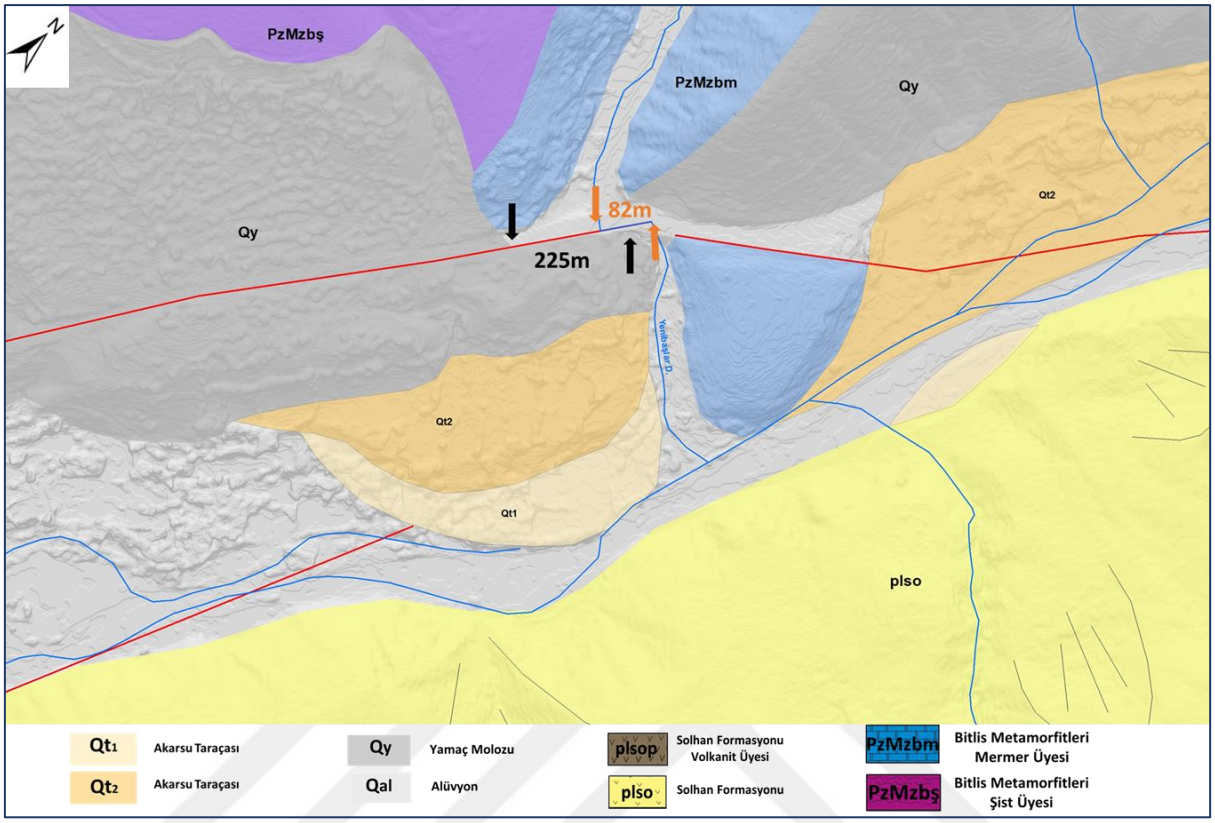
Şekil 4.68: Ilıca Segmenti'nin orta kesimi ve gelişen morfolojik yapılar.



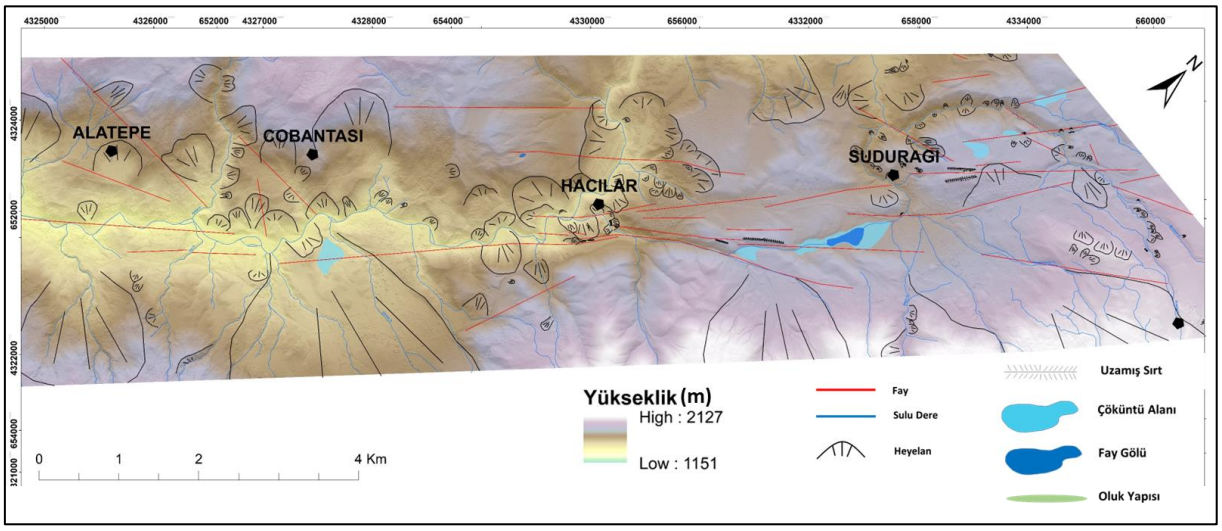
Şekil 4.69: Ilıca Segmenti içerisinde metamorfik istifte gözlenen ötelenme.

Elde edilen sayısal yükseklik modellerinde yapılan çalışmalar ve sonrasında yapılan arazi kontrolleri, Uzundere – Ilıcalar arasında bize 2 farklı ötelenmeyi göstermektedir. Uzundere ve Yenibaşlar'da yamaç molozunda 225m sol yanal ötelenme, Yenibaşlar'ın kuzeydoğusunda Yenibaşlar derede 82m ötelenme gözlenmiş, derenin ötelenmesiyle kapan sırtı yapısı meydana gelmiştir (Şekil 4.70).

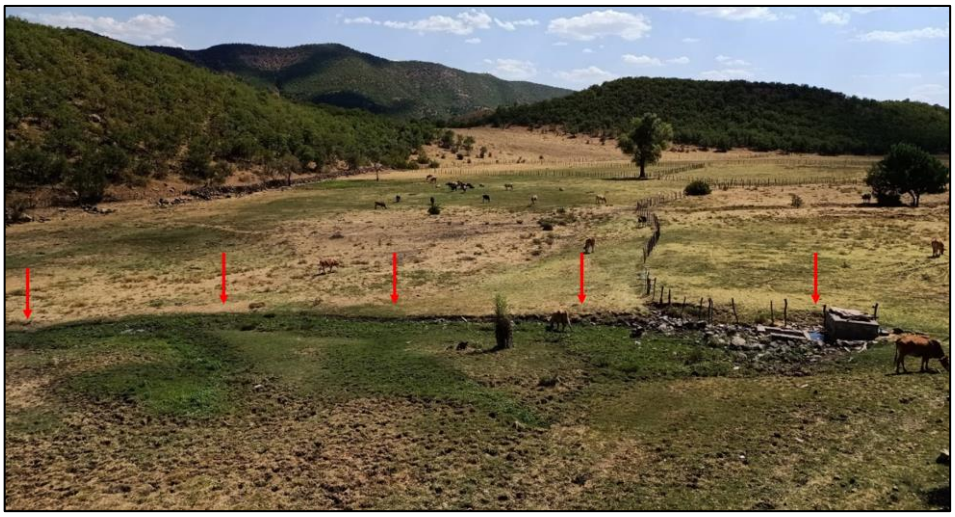
Ilıca Segmenti, Karlıova Segmenti ile aşmalı olduğu KD ucunda ise birbirine paralel, yarı paralel bir çok kola ayrılır. Fay kollarında gerçekleşen sıçramalara bağlı olarak genişlemeli ve sıkışmalı yapılar meydana gelir. Uzamış sırtlar, oluk yapısı, çöküntü alanları ve fay göllerinden oluşan bu yapılar fay morfolojisini net bir şekilde göstermektedir (Şekil 4.71- Şekil 4.84 arası).



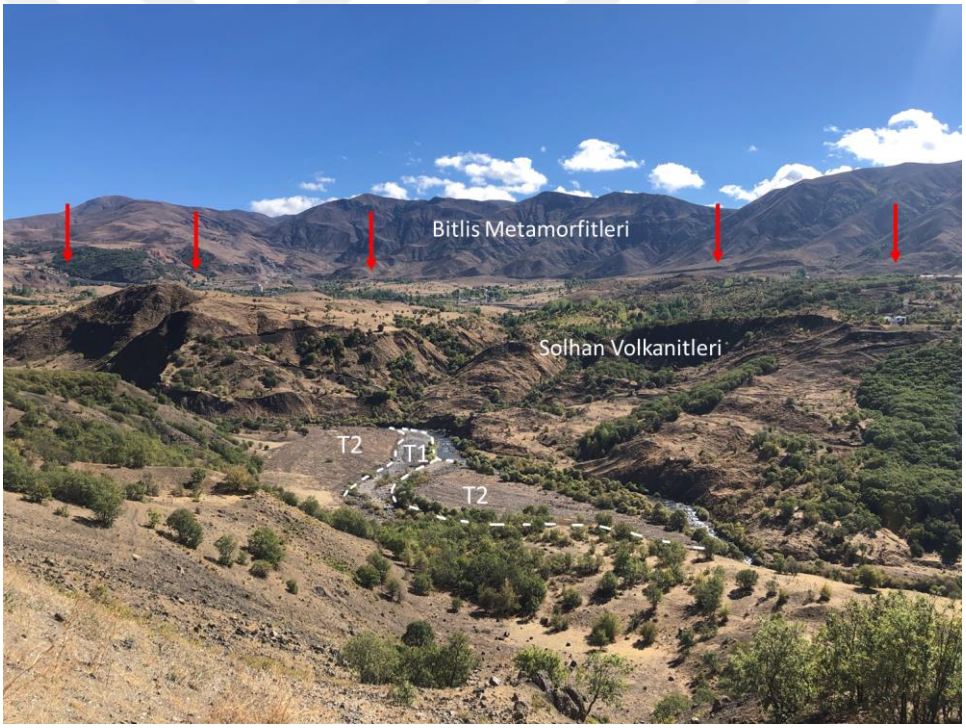
Şekil 4.70: Uzundere – Yenibaşlar dolaylarında faylanmanın etkisiyle meydana gelen ötelenme değerleri.



Şekil 4.71: Ilıca Segmenti'nin KD kesimi ve gelişen morfolojik yapılar.

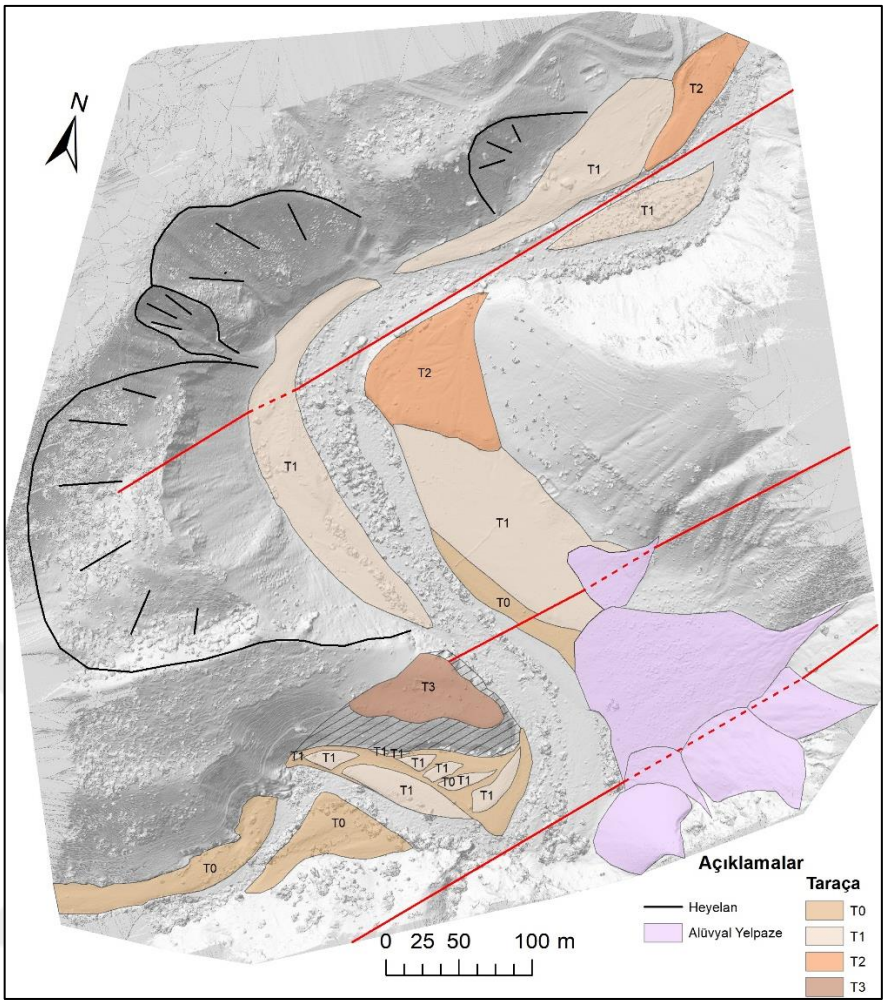


Şekil 4.72: Çobantaşı'nın güneyinde fay morfolojisini yansıtan çöküntü alanı. Kırmızı renkli oklar fayı göstermektedir (Bakış Yönü: B).



Şekil 4.73: Çobantaşı'nın güneyinde dere kenarında gelişmiş heyelan ve taraça basamakları. Bitlis Metamorfitleri,ve Solhan Formasyonunun tektonik dokanağı kırmızı oklar ile gösterilmiştir (Bakış Yönü: KD).

Çobantaşı kuzeyine doğru tek kol halinde izlenen Ilıca Segmenti, Hacılar köyü civarında farklı kollar halinde izlenir (Şekil). Hacılar Köyü ile Çobantaşı Köyü arasında, Hacılar köyü güneyinde, Göynük Vadisi içerisinde tektonik yükselmenin etkisiyle dere yatağında gerçekleşen hızlı kazılma sonucu 3 farklı seviyede taraça oluşmuştur ve bazı taraçalar DAFZ'nun kolları tarafından kesilmiştir. (Şekil 4.74, Şekil 4.75).

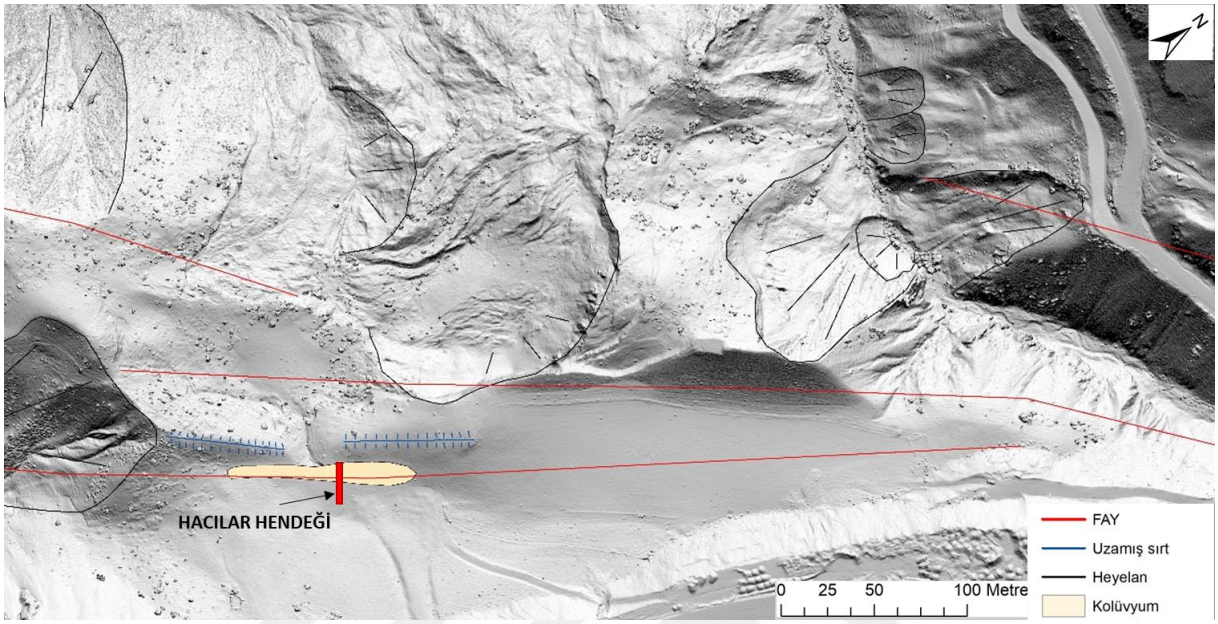


Şekil 4.74: Hacılar Köyü'nün güneyinde Göynük vadisinde sayısal yükseklik modeli üzerinde görülen morfolojik yapılar.



Şekil 4.75: Göynük vadisinde basamaklı taraçalar.

Hacılar köyü güneydoğusunda fayın sıçramasıyla uzamış sırtlar ve genç çökellerin doldurduğu oluk yapısı gelişmiştir. Fay kontrolünde gelişmiş heyelanlar görülmektedir ve bu heyelanlardan bazıları faylanmıştır (Şekil 4.76, Şekil 4.77).



Şekil 4.76: Hacılar Köyü güneydoğusunda hendek alanı ve gözlenen morfolojik yapılar.

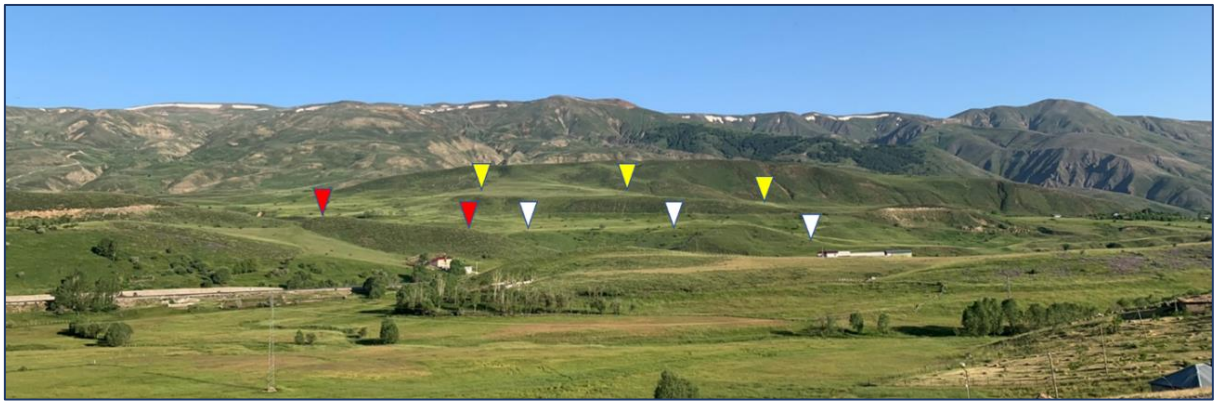


Şekil 4.77: Hacılar köyü güneyinde Ilıca segmenti üzerinde morfolojide gelişen oluk yapısı.



Şekil 4.78: Hacılar'ın batısında Hamam Tepe'nin kuzey doğusunda, sırt tipi travertenin güneybatısında görülen fay gölü.

Ilıca segmeti, Hacılar köyü kuzeyinde Karlıova Segmenti ile aşmalı olduğu KD ucunda, Sudurağı ve Göynük köyleri civarında, birbirine paralel, yarı paralel bir çok kola ayrılır. Bu kesimde fay kollarında gerçekleşen sıçramalara bağlı olarak genişlemeli yapılar meydana gelmiştir. Uzamış sırtlar, oluk yapıları, çöküntü alanları ve fay gölleri ile temsil edilen bu yapılar doğrultu atımlı fay morfolojisini net bir şekilde göstermektedir (Şekil 4.79, Şekil 4.80, Şekil 4.81, Şekil 4.82, Şekil 4.83, Şekil 4.84).

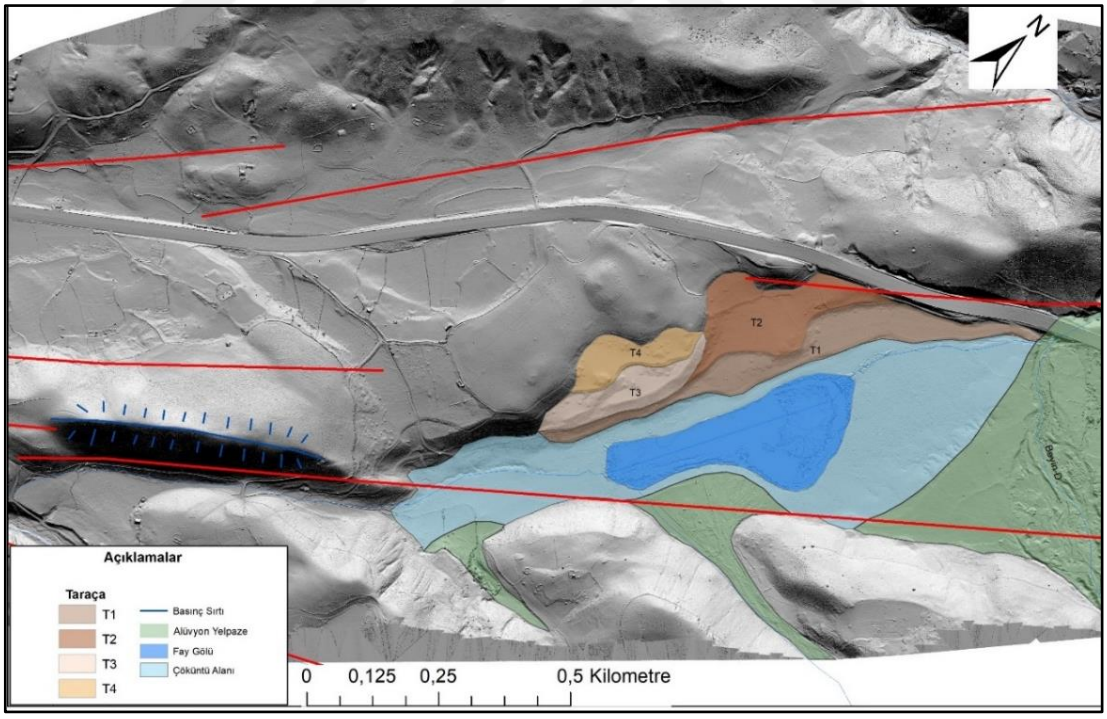


Şekil 4.79: Hacılar ve Sudurağı köyleri arasında kalan alanda DAFZ içerisinde gelişmiş uzamış sırtlar



Şekil 4.80: Göynük köyü batısında izlenen uzamış sırtlar (Bakış: GD).

Sudurağı köyünün güneydoğusunda gelişmiş olan fay gölünün batı kesimlerinde farklı taraça seviyeleri haritalanmıştır. 4 farklı seviyede izlenen taraçalar basamaklanma göstermektedir (Şekil 4.81). Basamaklanmış taraça seviyeleri bu kesimde tektonik süreçlerin erozyonal süreçlere göre daha baskın olduğunu ve fay gölünün ilerlemesinin hızlı geliştiğini işaret etmektedir.



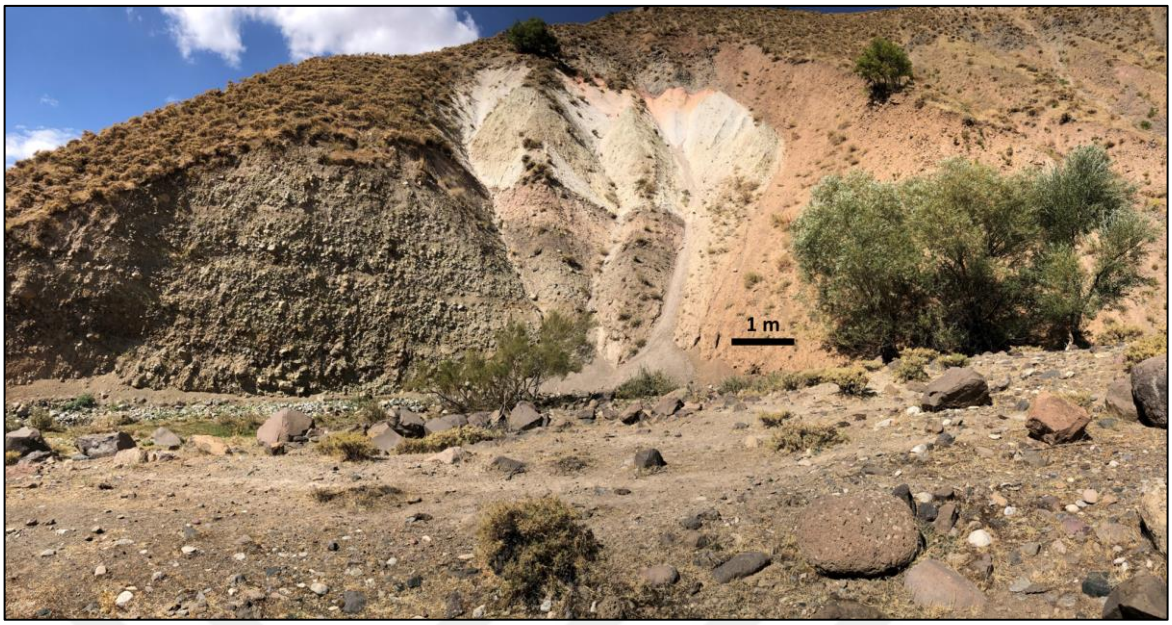
Şekil 4.81: Sudurağı köyü kuzeybatısında gelişen morfolojik yapılar.



Şekil 4.82: Ladere'nin güney-güneydoğusunda gelişmiş çöküntü alanı, kırmızı renkli oklar fayı göstermektedir.



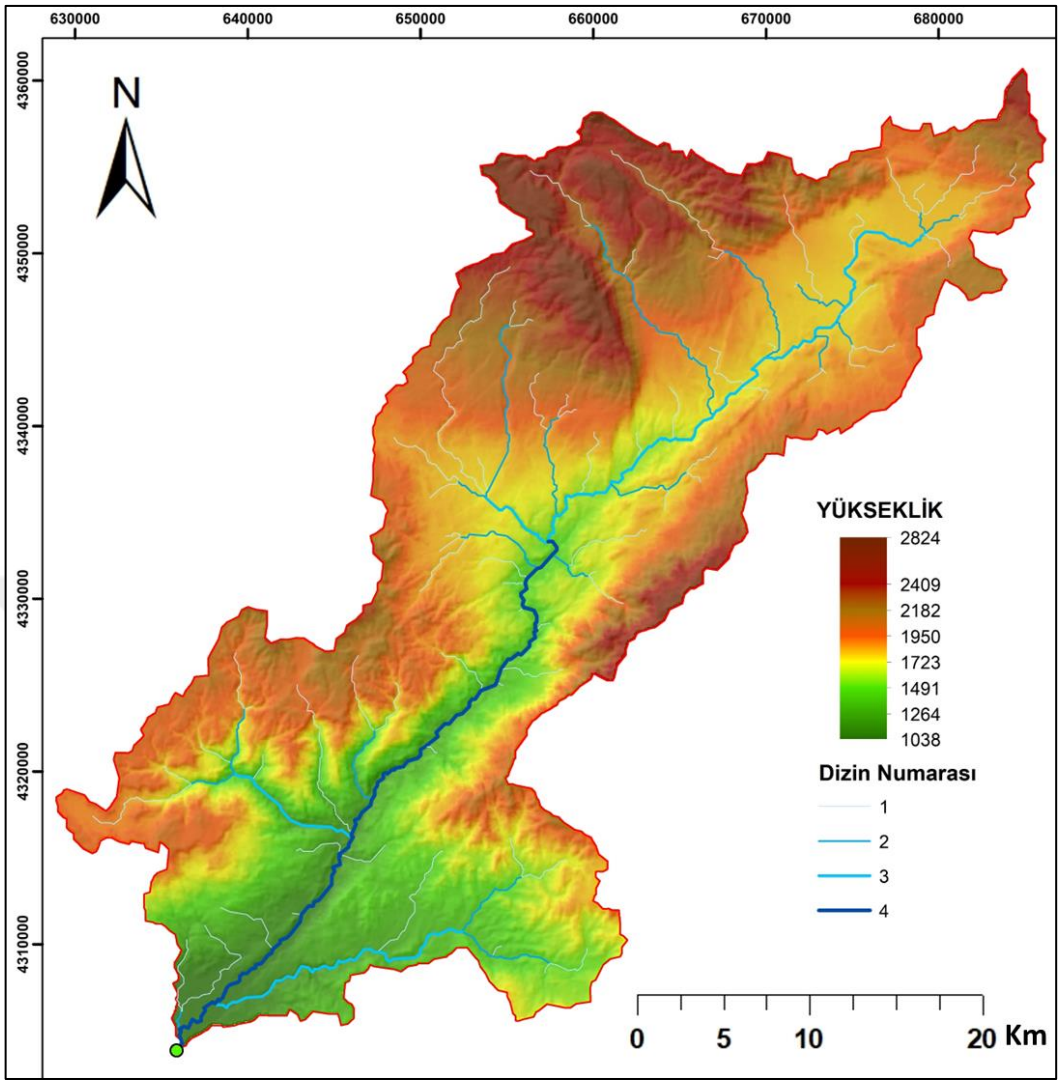
Şekil 4.83: Sudurağı köyü kuzeybatısında gözlenen oluk yapısı Solhan volkanikleri ve güncel çökeller (Q) arasında dokanak oluşturan bir fayın izi olarak izlenmektedir.



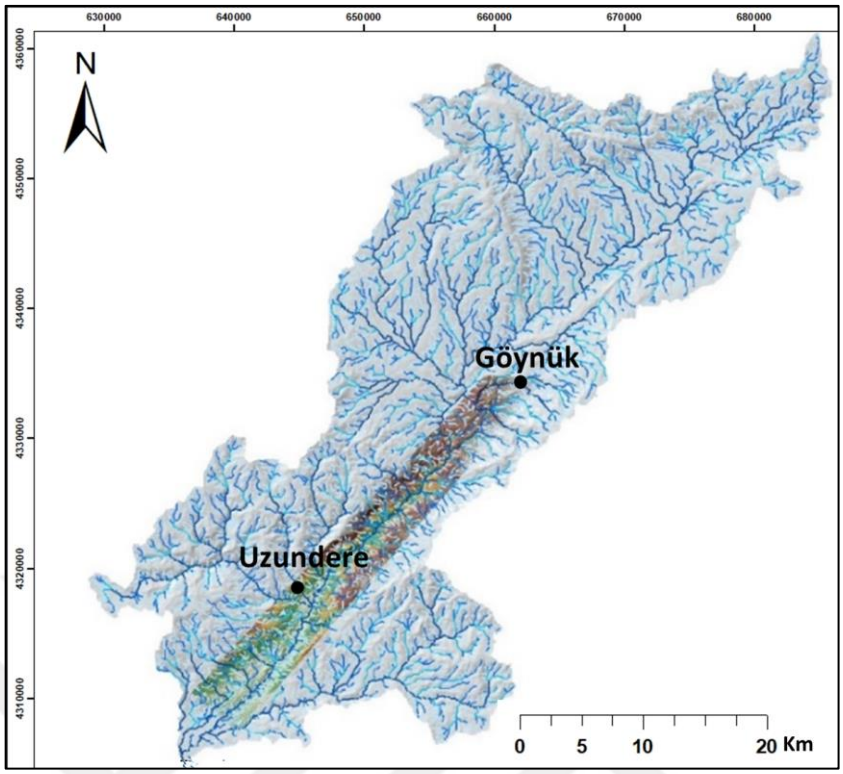
Şekil 4.84: Sudurağı köyü'nün kuzeyinde Kuvaterner çökelde ötelenme.

4.5. MORFOMETRİ

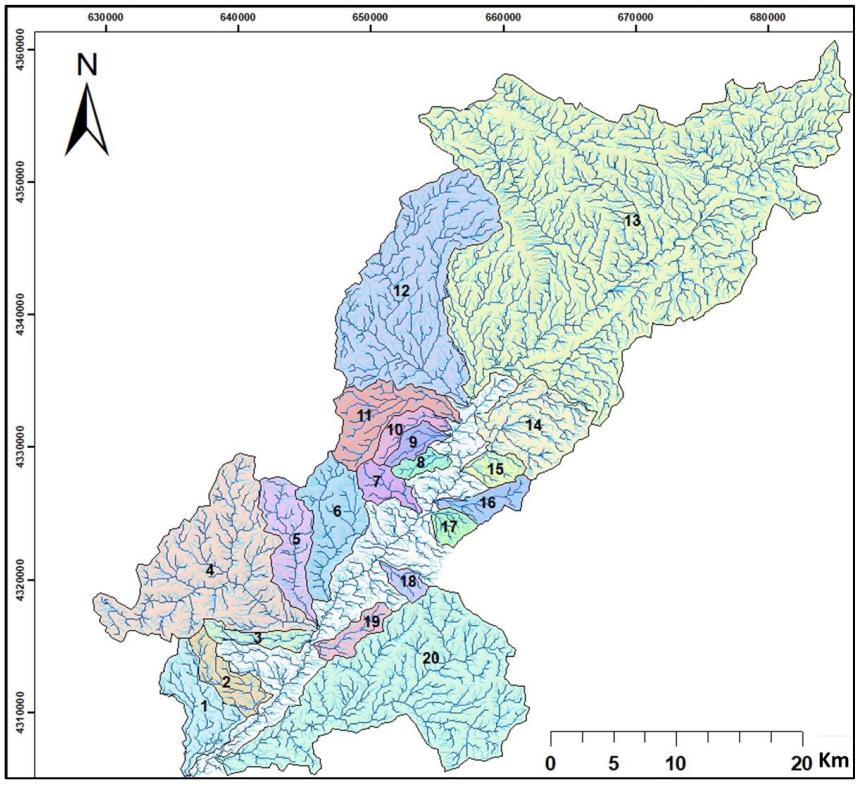
Morfometrik analizler, aktif tektonik araştırmalarda tektonik ve erozyonal süreçlerin anlaşılmasında, yer yüzü şekillerini kantitatif olarak ifade edebilmesi bakımından önemli bir yer tutar (Keller ve Pinter, 2002). Ilıca segmenti ve yakın civarının jeomorfolojik özellikleri ve morfolojik evrimini araştırma amacıyla Hipsometrik Eğri ve İntegral, Asimetri Faktörü ve Dere Boy-Gradyan indisi kullanılmıştır. Morfometrik analizler ASTER görüntülerinden oluşturulan 28m çözünürlükteki sayısal yükseklik modellerinin ArcGIS yazılımı içerisindeki ArcHydro aracı kullanılarak strahler dizilimine göre drenaj ağları türetilmiştir (Şekil 4.85, Şekil 4.86). Çalışma bölgesinde yer alan ana havzadan elde edilen 20 alt akarsu havzasında morfometrik analizler gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.87).



Şekil 4.85: Çalışma alanı ve çevresini kapsayan havzanın hipsometrik indis hesaplamalarında kullanılan ASTER verisinden türetilmiş yükseklik haritası.



Şekil 4.86: Ilıca segmentinin yer aldığı ana havzada drenaj ağının Strahler dizilimine göre sınıflandırılması. Renkli sayısal yükseklik modeli Ilıca segmentinin havza içerisindeki uzanımını göstermektedir.

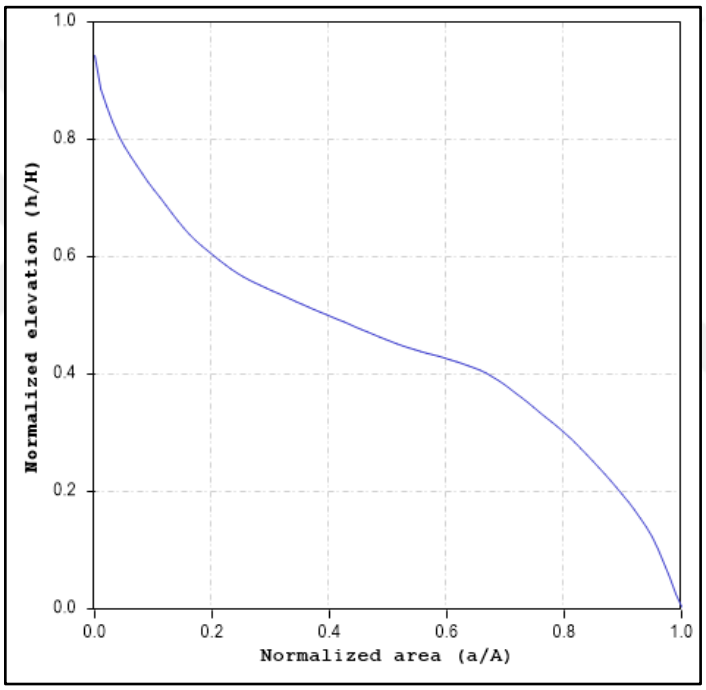


Şekil 4.87: Ilıca segmentinin yer aldığı ana akaçlama havzasının alt havzaları.

4.5.1. Hipsometrik Eğri ve İntegral

Bir havzanın yüksekliğinin, havzanın alanına oranı olarak hesaplanan hipsometrik eğriler ve bu eğriler altında kalan hipsometrik integral değerleri bize havzanın hangi aşınım evresinde olduğu, tektonik ve erozyonel süreçlerinden hangisinin egemen olduğu hakkında bilgi verir.

Ilıca segmentinin yer aldığı havza ve içerisinde tanımlanan 20 alt havzanın hipsometrik eğri ve integral değerlerinin 0,307 ile 0,707 arasında değiştiği hesaplanmıştır (Şekil 4.89, Şekil 4.91). Ana havzadan elde edilen hipsometrik integral değeri 0,46 olarak hesaplanmıştır ve S şekilli eğri göstermektedir (Şekil 4.88). DAFZ'nun batısındaki havzalar (Şekil 4.90) ve doğusundaki havzalar (Şekil 4.92) için hipsometrik eğriler oluşturulmuştur.



Şekil 4.88: Ana havzaya ait hipsometrik integral grafiği.

1 nolu drenaj havzası, Ilıca Segmenti'nin en GB ucunda, Bingöl İlçe Merkezi yakınında 28 km^2 lik bir alanı kaplamaktadır. Solhan Volkanitleri içerisinde yer alan bu havza için hipsometrik integral değeri 0,307 olarak hesaplanmıştır ve konkav bir eğri göstermektedir .

2 nolu drenaj havzası, Ilıca Segmenti'nin en GB ucunda, Köklü Köyünü de içine alacak şekilde 16 km^2 lik bir alanda yer almaktadır. Solhan Volkanitleri içerisinde yer alan bu havza için hipsometrik integral değeri 0,391 olarak hesaplanmıştır ve konkav bir eğri göstermektedir.

3 nolu drenaj havzası Ilıcalar Köyü'nün GB'sında 10 km^2 lik bir alanda yer almaktadır. Solhan Volkanitleri içerisinde yer alan bu havza için hipsometrik integral değeri 0,459 olarak hesaplanmıştır ve S şekilli bir eğri göstermektedir.

4 nolu drenaj havzası, Ilıcalar Köyünü de içine alan 110 km^2 lik geniş bir alanı kaplamaktadır. Solhan Volkanitlerinin Bitlis Metamorfitleri ile tektonik dokanağının görüldüğü bu havza için hipsometrik integral değeri 0,598 olarak hesaplanmıştır ve konveks bir eğri göstermektedir.

5 nolu drenaj havzası, Segmentin batısında Uzundere ve Yenibaşlar Köyleri arasında 27 km^2 lik bir alanda yer almaktadır. Bitlis Metamorfitleri içerisinde yer alan bu havza için hipsometrik integral değeri 0,612 olarak hesaplanmıştır ve konveks bir eğri göstermektedir.

6 nolu drenaj havzası, Yenibaşlar ve Alatepe Köyleri arasında 34 km^2 lik bir alanı kaplamaktadır. Bitlis Metamorfitlerinin Solhan Volkanitleri ile tektonik dokanğının görüldüğü bu havza için hipsometrik integral değeri 0,599 olarak hesaplanmıştır ve konveks bir eğri göstermektedir.

7 nolu drenaj havzası, Ilıca Segmenti'nin batısında, Alatepe ve Çobantaşı Köyleri arasında 10 km^2 lik bir alanı kaplamaktadır. Solhan Volkanitleri içerisinde yer alan bu havza için hipsometrik integral değeri 0,707 olarak hesaplanmıştır ve konveks bir eğri göstermektedir.

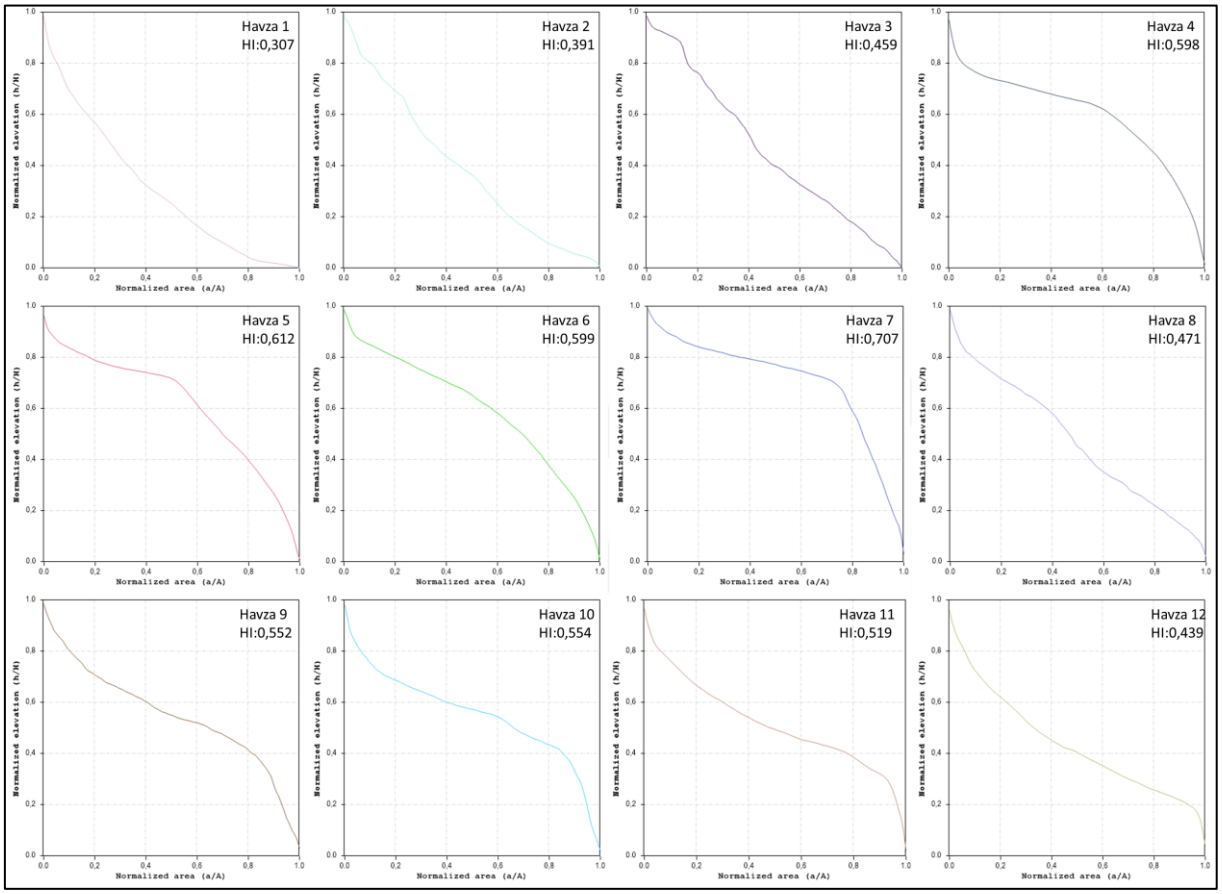
8 nolu drenaj havzası, Hacılar Köyü'nün batısında 6 km^2 lik bir alanı kaplamaktadır. Solhan Volkanitleri içerisinde yer alan bu havza için hipsometrik integral değeri 0,471 olarak hesaplanmıştır ve S şekilli bir eğri göstermektedir.

9 nolu drenaj havzası, Segmentin KD kesiminde, Hacılar Köyü'nün KB'sında 7km^2 lik bir alanı kaplamaktadır. Solhan Volkanitleri içerisinde yer alan bu havza için hipsometrik integral değeri 0,552 olarak hesaplanmıştır ve S şekilli bir eğri göstermektedir.

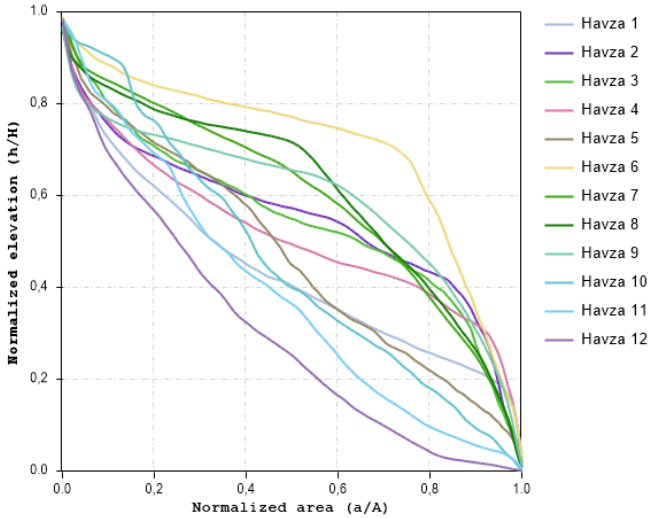
10 nolu drenaj havzası, Sudurağı Köyü'nün batısında 9 km^2 lik bir alanı kaplamaktadır. Solhan Volkanitleri içerisinde yer alan bu havza için hipsometrik integral değeri 0,554 olarak hesaplanmıştır ve S şekilli bir eğri göstermektedir.

11 nolu drenaj havzası, yine Sudurağı Köyü'nün batısında 29 km^2 lik bir alanda yer almaktadır. Solhan Volkanitleri içerisinde yer alan bu havza için hipsometrik integral değeri 0,519 olarak hesaplanmıştır ve S şekilli bir eğri göstermektedir.

12 nolu drenaj havzası, Göynük Köyü'nün batısında, Ilıca Segmenti'nin en KD'sunda 123 km^2 lik geniş bir alanı kaplamaktadır. Solhan Volkanitleri içerisinde yer alan bu havza için hipsometrik integral değeri 0,439 olarak hesaplanmıştır ve konkav bir eğri göstermektedir.



Şekil 4.89: 1-12 numaralı havzalara ait Hipsometrik İntegral değerleri ve Hipsometrik Eğriler.



Şekil 4.90: DAFZ'nun batısında kalan havzalardan elde edilen Hipsometrik Eğriler.

13 nolu drenaj havzası, Ilıca Segmenti sonlandığı en KD ucundan başlayarak Karlıova Segmenti'nin tamamını içine alacak şekilde ~488 km^2 lik oldukça geniş bir alanı kaplamaktadır. Bu havza için hipsometrik integral değeri 0,415 olarak hesaplanmıştır ve konkav bir eğri göstermektedir.

14 nolu drenaj havzası, Ilıca Segmenti'nin doğu tarafında, Göynük ve Sudurağı Köyleri arasında ~40 km^2 lik bir alanı kaplamaktadır. Solhan Volkanitlerinin Bitlis Metamorfitleri ile tektonik dokanaklı olduğu bu havza için hipsometrik integral değeri 0,465 olarak hesaplanmıştır ve konkav bir eğri göstermektedir.

15 nolu drenaj havzası, Hacılar Köyü'nün doğusunda ~9 km^2 lik bir alanı kaplamaktadır. Bitlis Metamorfitleri içerisinde yer alan bu havza için hipsometrik integral değeri 0,49 olarak hesaplanmıştır ve S şekilli bir eğri göstermektedir.

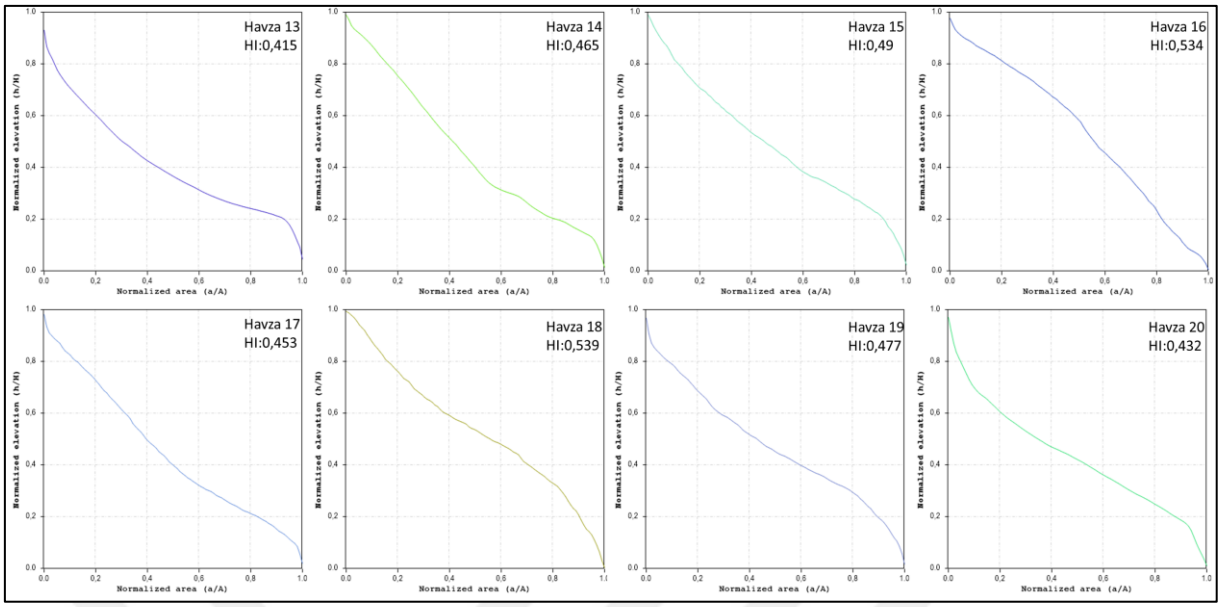
16 nolu drenaj havzası, Çobantaşı Köyü'nün doğusunda ~11 km^2 lik bir alanı kaplamaktadır. Bitlis Metamorfitleri ve Solhan Volkanitlerinin tektonik bir dokanak ile yan yana görüldüğü bu havza için hipsometrik integral değeri 0,534 olarak hesaplanmıştır ve konveks bir eğri göstermektedir.

17 nolu drenaj havzası, Alatepe köyünün doğusunda ~7 km^2 lik bir alanı kaplamaktadır. Solhan Volkanitleri içerisinde yer alan bu havza için hipsometrik integral değeri 0,453 olarak hesaplanmıştır ve konkav bir eğri göstermektedir.

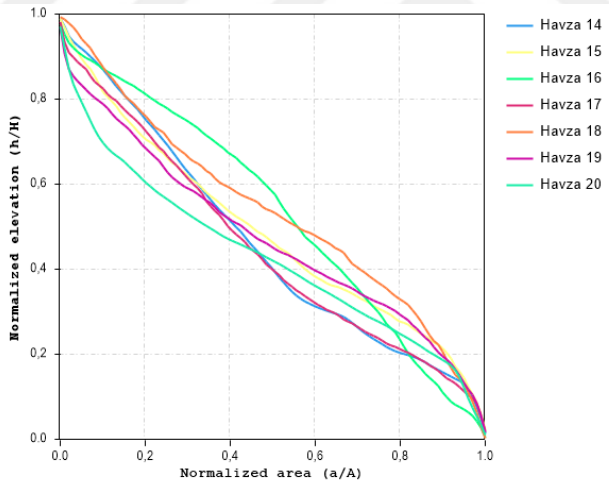
18 nolu drenaj havzası, Ilıca Segmenti'nin doğu tarafında, Elmalı Köyü güneyinde ~5 km^2 lik bir alanı kaplamaktadır. Solhan Volkanitleri içerisinde yer alan bu havza için hipsometrik integral değeri 0,539 olarak hesaplanmıştır ve S şekilli bir eğri göstermektedir.

19 nolu drenaj havzası, Ilıca segmentinin GB kesimlerinde Ilıcalar Köyü'nün doğusunda ~10 km^2 lik bir alanı kaplamaktadır. Solhan Volkanitleri içerisinde yer alan bu havza için hipsometrik integral değeri 0,477 olarak hesaplanmıştır ve S şekilli bir eğri göstermektedir.

20 nolu drenaj havzası, Ilıca segmentinin en güneybatısında, Ilıcalar Köyü'nün doğusunda ~158 km^2 lik geniş bir alanı kaplamaktadır. Solhan Volkanitleri içerisinde yer alan bu havza için hipsometrik integral değeri 0,432 olarak hesaplanmıştır ve S şekilli bir eğri göstermektedir.

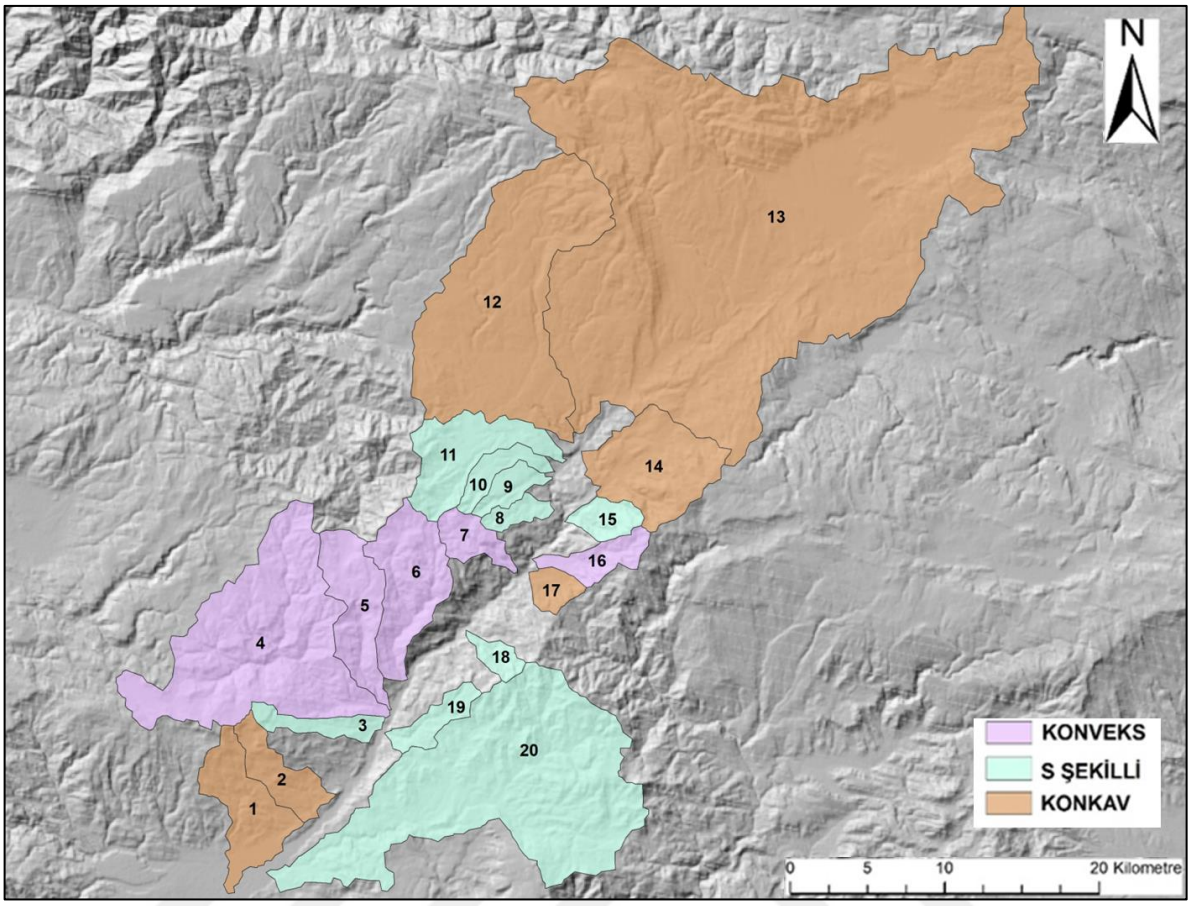


Şekil 4.91: 13-20 numaralı havzalara ait Hipsometrik İntegral değerleri ve Hipsometrik Eğriler.



Şekil 4.92: DAFZ'nun doğusunda kalan havzalardan elde edilen Hipsometrik Eğriler.

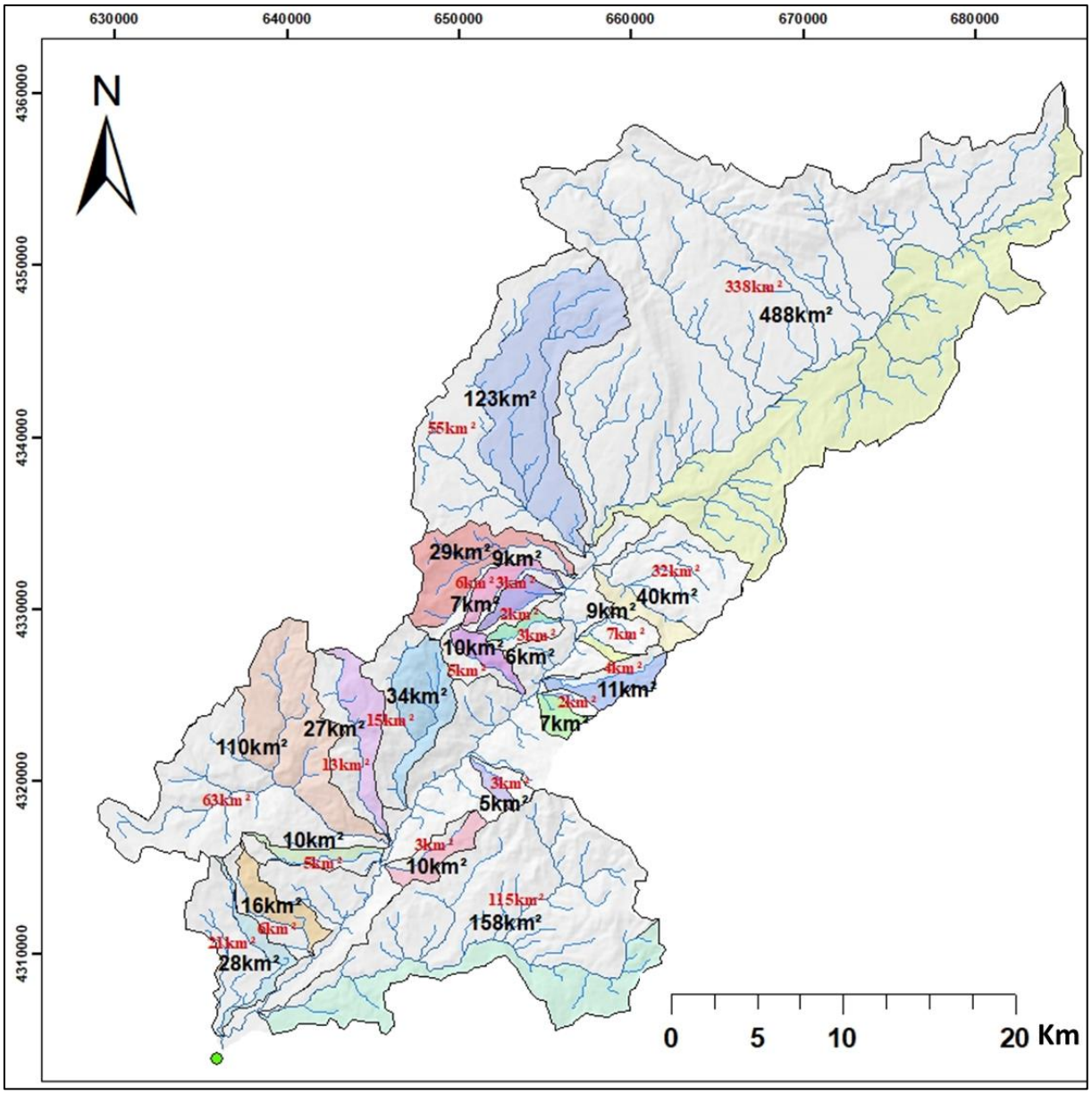
DAFZ'nun batısında ve doğusunda kalan havzalar, fayın havzalar üzerindeki etkisini anlayabilmek adına ayrılarak analiz edilmiştir. Oluşturulan grafiklerde DAFZ'nun batısında kalan havzalarda, doğu havzalara oranla daha yüksek hipsometrik integral değerleri ve konveks eğriler görülmektedir. Bu havzalardan 4, 5, 6, 7 ve 16 numaralı havzalar konveks eğriler verirler ve bu havzalar Bitlis Metamorfitleri ile Solhan Volkanitlerinin Tektonik dokanağının bulunduğu veya dokanağa yakın havzalardır (Şekil 4.93).



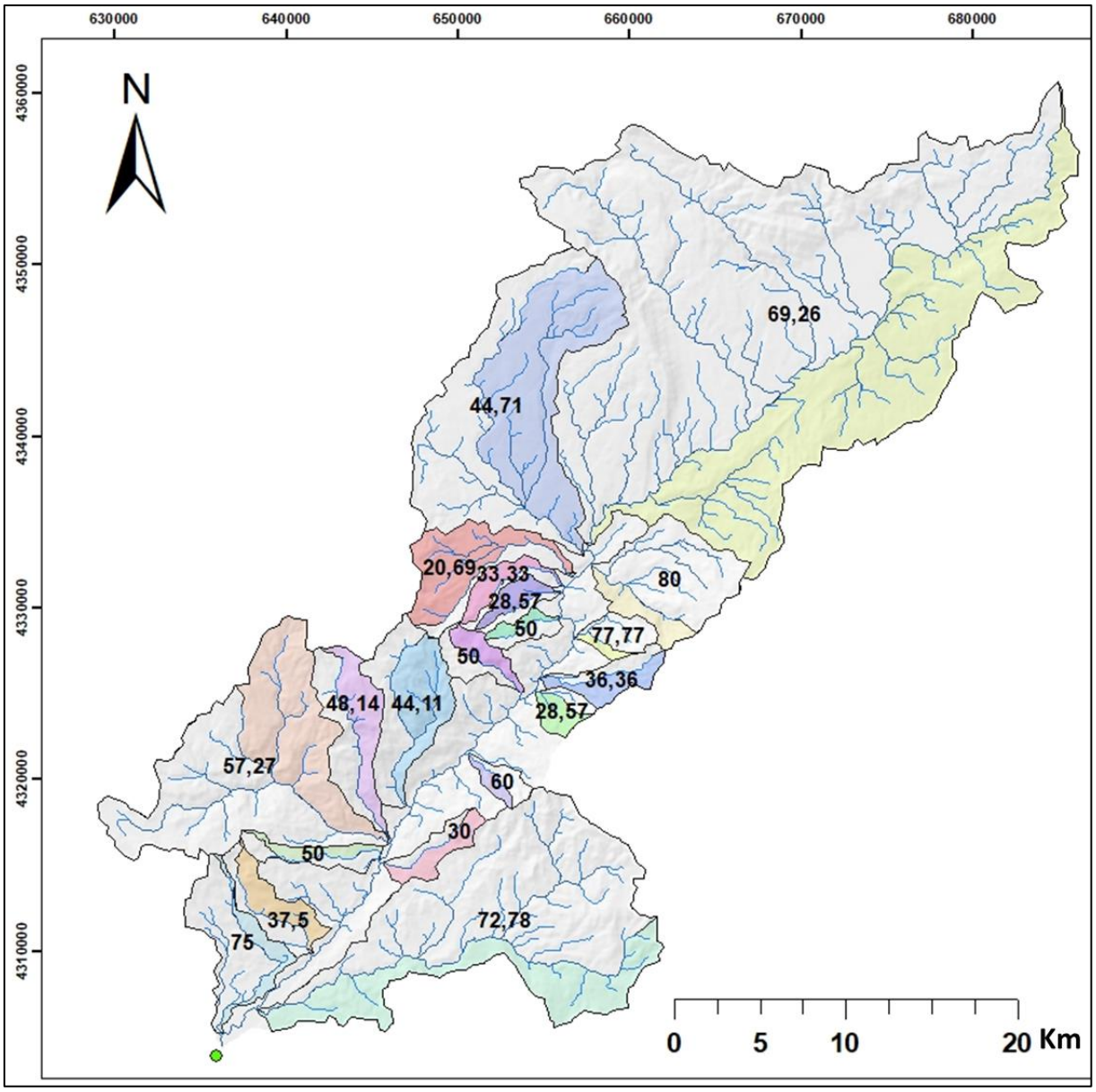
Şekil 4.93: Çalışma alanı ve çevresindeki havzalar için aşınım evrelerini gösteren Hipsometrik Eğri sınıfları.

4.5.2. Asimetri Faktörü (AF)

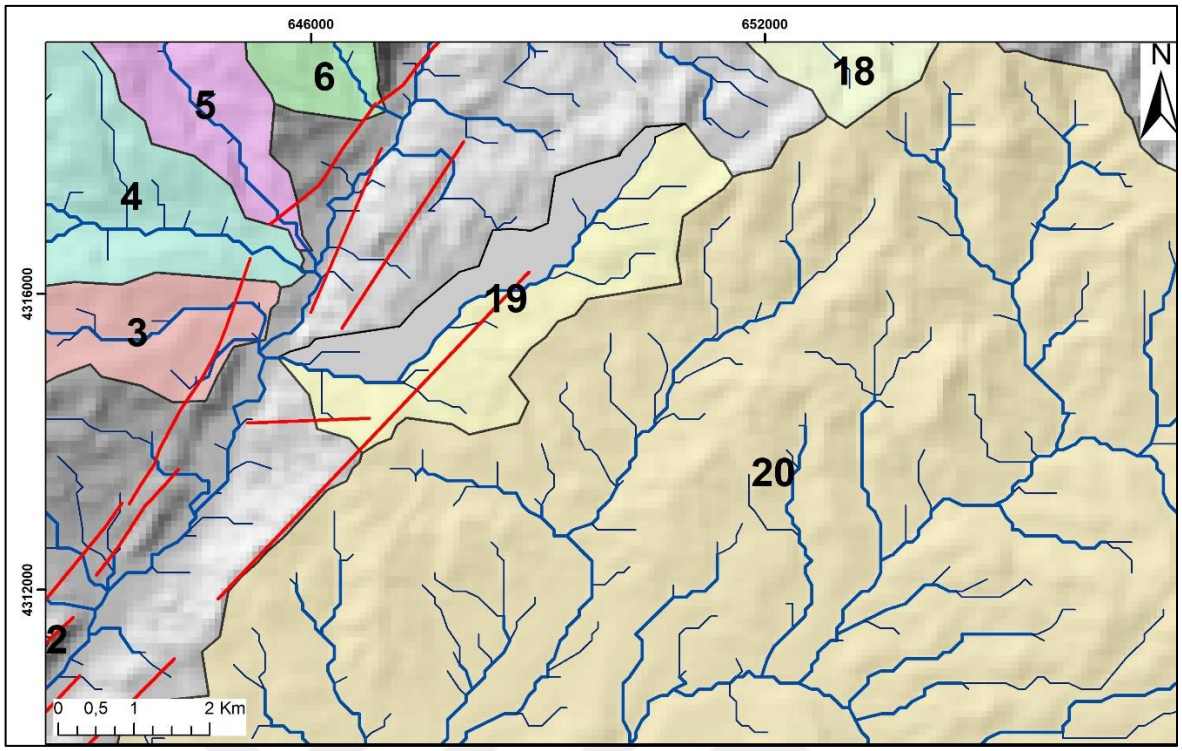
Drenaj havzasını tam ortasından geçen ve havzayı iki eş alana ayıran ana yatağın sağında ve solunda kalan alan aynı litoloji içerisinde yer alması ve tektonik tiltlenme olmaması durumunda birbirine eşittir. Bu alanların birbirine eşit olduğu durumlarda asimetri faktörü 1'dir ve havza denge durumundadır. Asimetri faktörünün 1'den sapması durumu bize havzada bir tiltlenme meydana geldiğini göstermektedir. Ilıca segmenti boyunca tanımlanan 20 alt havzanın asimetri faktörleri hesaplanarak havzaların asimetrisi araştırılmıştır (Şekil 4.94, Şekil 4.95). Segmentin GB sında, bulunan 19 numaralı havzanın düşük AF değerine sahip olması ve tiltlenme ile drenaj ağındaki hareket yönünün aynı olması, sol yönlü fayın varlığını işaret etmektedir (Şekil 4.96). Segmentin orta kesimlerinde, fayın dar bir deformasyon zonu içerisinde tek bir kol halinde devam ettiği alanlarda bulunan 3, 4, 5, 7 ve 8 numaralı havzaların simetrileri korunmuştur. Segmentin KD kesiminde, Karlıova Segmenti ile kesiştiği, fayın farklı kollar halinde izlendiği, transtansiyonel alanlarda havzalar asimetrik olarak görülür (Şekil 4.97).



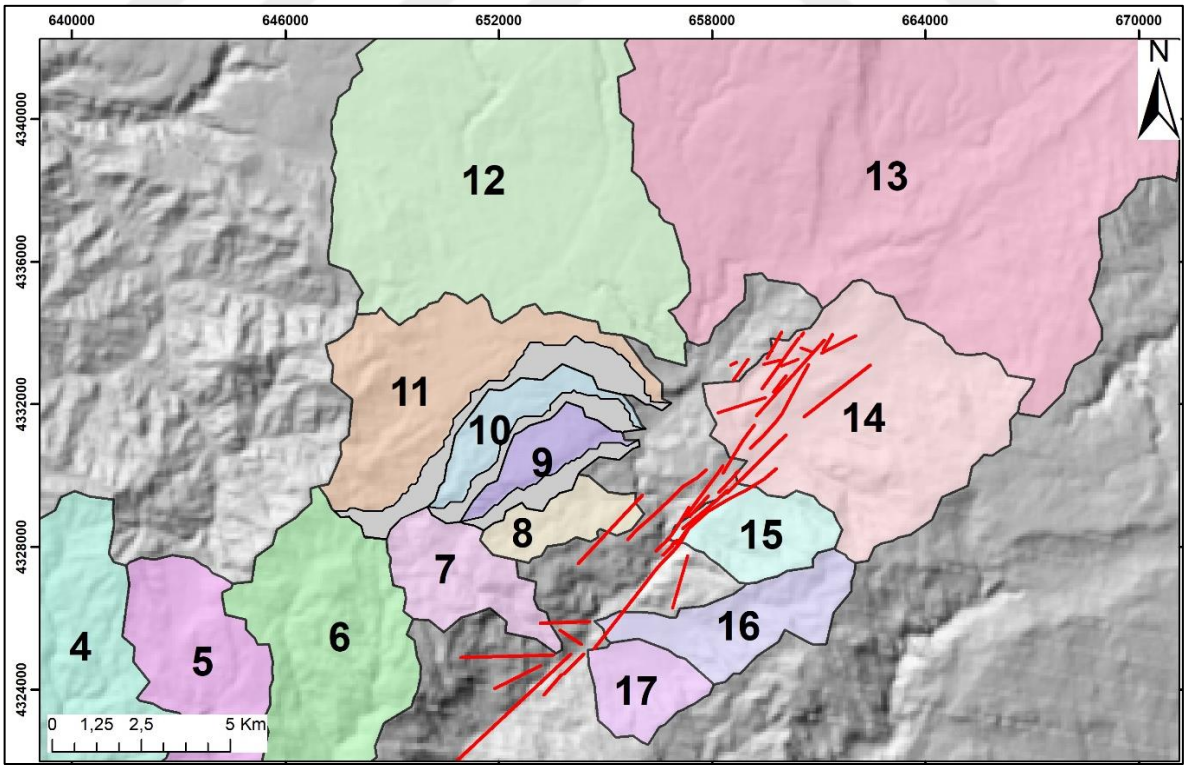
Şekil 4.94: Çalışma alanı ve çevresinde, gri renkle gösterilen toplam havza alanları (At) ve farklı renklerde gösterilen ana yatağın sağında kalan alanlar (Ar).



Şekil 4.95: Hesaplanmış havza Asimetri Faktörü (AF) değerleri.



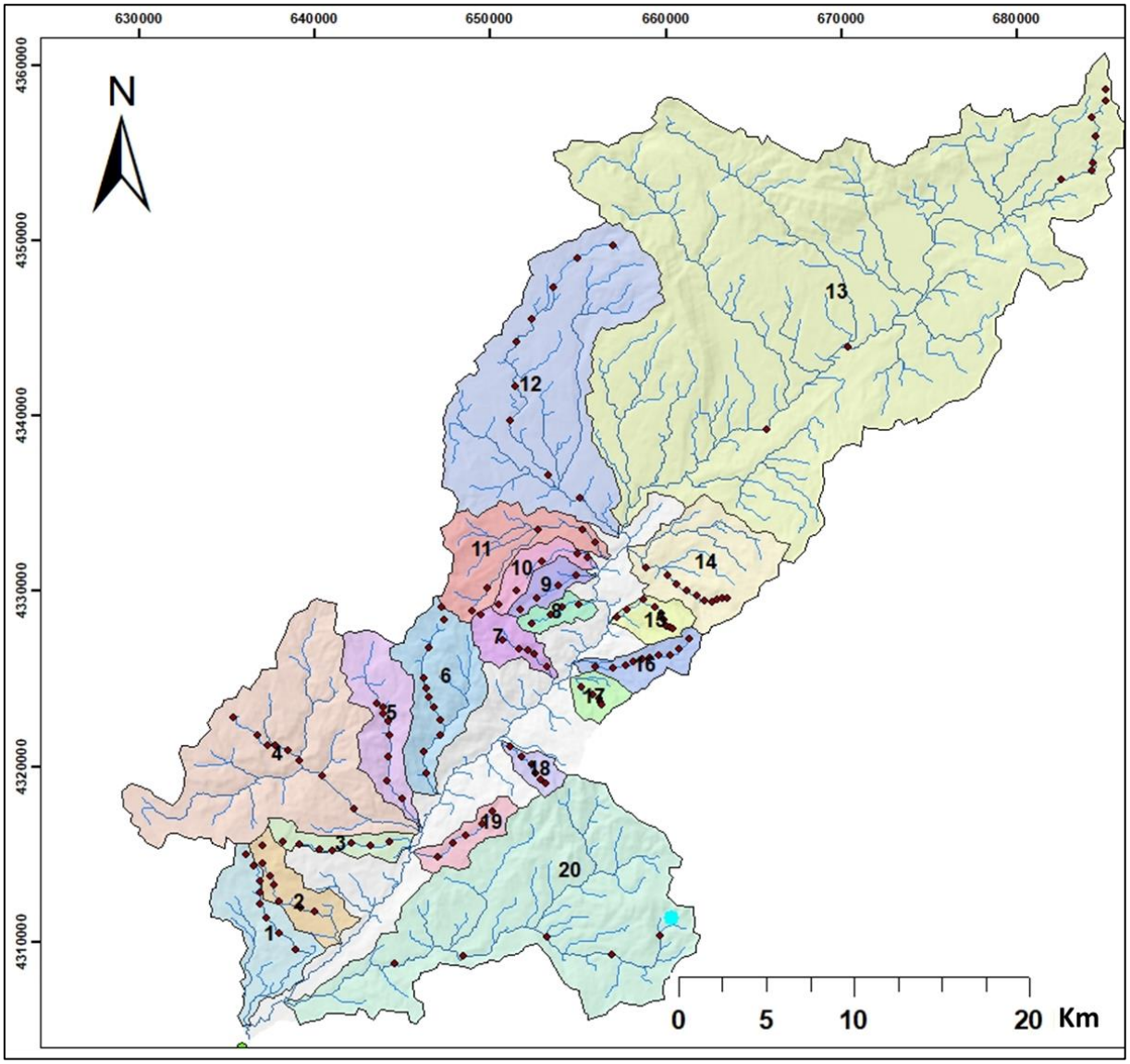
Şekil 4.96: 19 numaralı havza kuzeybatıya doğru (sarı alandan gri alana doğru) tiltlenmiştir (Sarı renkli alan toplam havza alanını, gri renkli alan drenaj ağının sağında kalan alanı göstermektedir). Havza ekseni Ilıca segmenti ile aynı doğrultuda gelişmiştir..



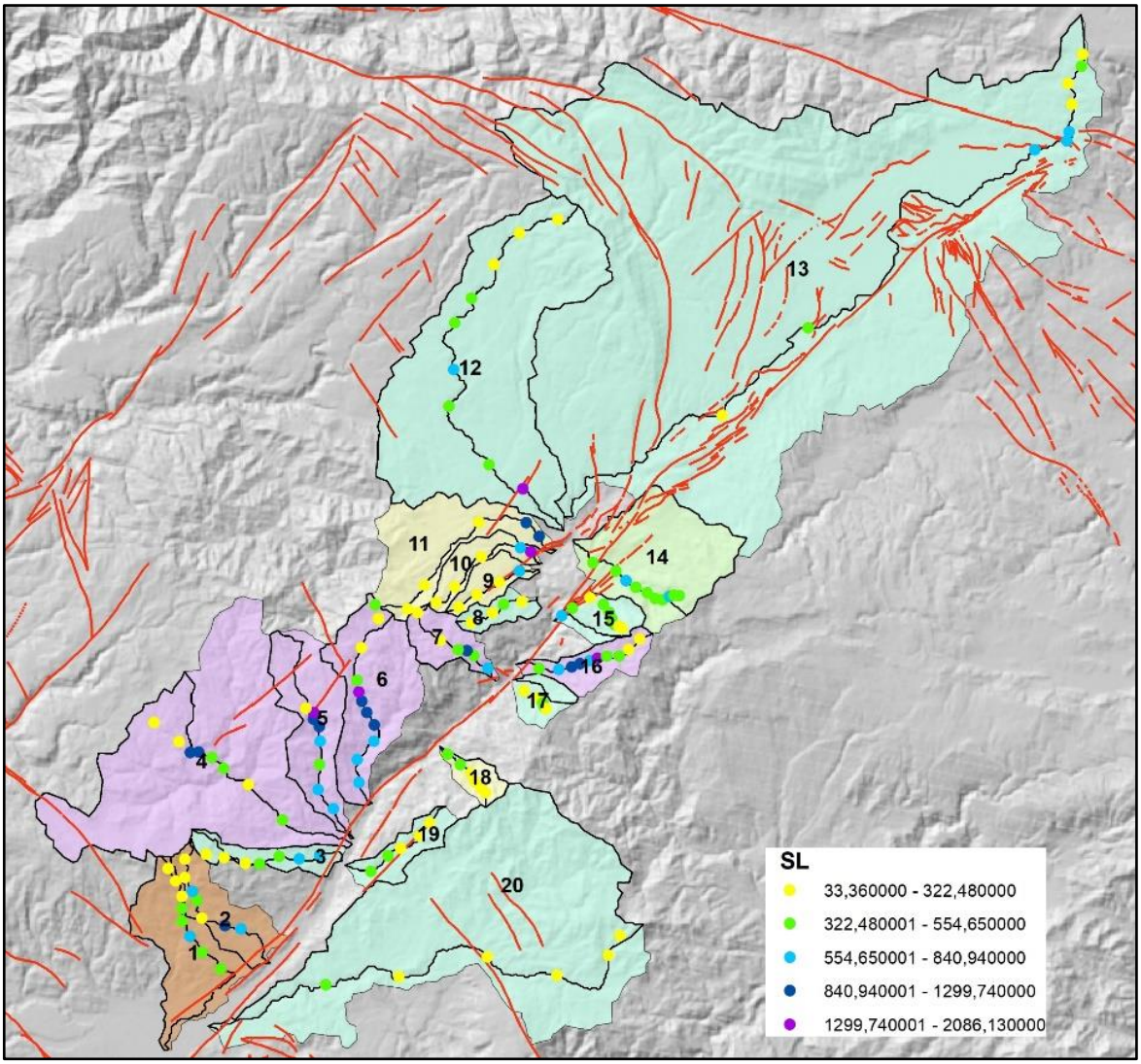
Şekil 4.97: Ilıca segmentinin KD kesiminde yer alan 9,10,11 numaralı drenaj havzalarında GD yönünde görülen tiltlenme (tiltlenme renkli havza alanlarından gri alana doğrudur).

4.5.3. Dere Boy- Gradyan İndisi (SL)

Dere boy-gradyan indisi, akarsuların aşındırma ve biriktirme gücünü göstererek vadi boyunca meydana gelebilecek topoğrafik kot farkları hakkında bilgi verir ve fark izlenen noktaların tektonik ve/veya erozyonel süreçler ile ilişkilendirilmesine olanak sağlar. SL değerlerinin yüksek olduğu yerler vadinin kazılma, düşük olduğu yerler ise vadinin depolanma sürecinde olduğu yerlerdir. Ilıca Segmenti'nin içerisinde bulunduğu 20 alt havzada belirlenen noktalar boyunca SL indis ölçümleri yapılmıştır (Şekil 4.98, Şekil 4.99, Şekil 4.100, Şekil 4.101). Havzalarda ölçülen ortalama değerler 237, 07 ile 849,85 arasında değişmektedir.



Şekil 4.98: Alt havzalarda SL hesaplaması için kullanılan noktalar.



Şekil 4.99: Alt havzalarda hesaplanan SL değerlerinin dağılımı.

1 numaralı havzada ortalama SL indis değeri 409,12 olarak hesaplanmıştır ve havza içerisinde 112'den 662'ye kadar değişen değerlerde SL indisi ölçülmüştür.

2 numaralı havza için ortalama SL indis değeri 511,24 olarak hesaplanmıştır. Havza içerisinde 163'den 995'e kadar değişen SL değerleri ölçülmüştür. Yapılan hesaplamaya göre, 1400-1450 metre kotları arasında ve 1700 metre kotunun yukarısında en düşük SL değerleri görülmektedir.

3 numaralı havzanın hesaplanan ortalama SL indis değeri 450,15'dir ve havza genelinde SL indis değerleri birbiriyle uyumlu olarak 253 ile 677 arasında değişmektedir.

4 numaralı havzanın hesaplanan ortalama SL indis değeri 489,28 dir. Havza içerisinde 73'den 981'e kadar değişen SL indis değerleri ölçülmüştür. 1400-1700 metre kotları arasında SL indisinde görülen yüksek değerler 1800 m kotundan daha yukarıda aniden düşmektedir.

5 numaralı havzada ortalama SL değeri 849,54 olarak hesaplanmıştır. Havza içerisinde 118'den 1843'e kadar değişen SL değerleri görülmektedir. 1600-1800 m kotları arasında en yüksek seviyelere ulaşan SL değerleri 1800 m kotundan daha yüksek alanlarda aniden düşmektedir

6 numaralı havzanın hesaplanan ortalama SL değeri 849,85'dir. Havza içerisinde SL değerleri 209 ile 2086 arasında değişmektedir. 1800 m kotuna kadar artış gösteren SL değerleri bu kottan daha üst kotlara doğru azalmaktadır

7 numaralı havzanın ortalama SL indis değeri 501,21 olarak hesaplanmıştır. Havza içerisinde ölçülen SL değerleri 33 ile 1144 arasında değişmektedir. 1550 m kotunda aniden yükselen SL değeri 1800 m kotunda aniden düşmektedir.

8 numaralı havzanın hesaplanan ortalama SL indis değeri 237,07'dir. Havza genelinde 68 ile 415 arasında değişen, diğer havzalara göre daha düşük SL değerleri hesaplanmıştır.

9 numaralı havzanın ortalama SL indis değeri 273,942 olarak hesaplanmıştır. SL değerleri havza içerisinde 86 ile 630 arasında değişir ve 1450 m kotundan 1850 m kotuna doğru azalan değerler dikkati çeker.

10 numaralı havzanın hesaplanan ortalama SL indis değeri 544,38'dir. Havza içerisinde 80 ile 1643 arasında değişen SL değerleri ölçülmüştür. 1500 metre kotunda en yüksek SL indis değerine sahip olan havzanın 1700 m kotunda SL indis değerleri ani bir şekilde azalmaktadır.

11 numaralı havzada hesaplanan ortalama SL indis değeri 485,4'dür. Havza içerisinde 70 ile 1067 arasında değişen SL değerleri ölçülmüştür. 1400-1700 m kotları arasında yüksek SL değerlerine sahip havzanın 1700 m kotundan itibaren SL değerlerinde ani azalma izlenmektedir.

12 numaralı havzanın ortalama SL indis değeri 521,08 olarak hesaplanmıştır. Havza içerisinde 127 ile 1729 arasında geniş bir aralıkta sahip SL değerleri ölçülmüştür. 1500 -1600 m kotlatrı arasında oldukça yüksek değere sahip SL değerleri 1700 m ve 2450 m kotları arasında azalarak devam etmektedir.

13 numaralı havza Karlıova Segmenti içerisinde yer almaktadır. Bu havzanın ortalama SL indis değeri 446,25 olarak hesaplanmıştır. Havza içerisinde 197 ile 785 arasında değişen SL indis değerleri ölçülmüştür.

14 numaralı havzanın hesaplanan ortalama SL indis değeri 499,33'dür. Havza içerisinde 339 ile 690 arasında değişen SL değerleri ölçülmüştür.

15 numaralı havzanın hesaplanan ortalama SL indis değeri 376,14'dür. Havza içerisinde 243 ile 581 arasında değişen SL değerleri ölçülmüştür.

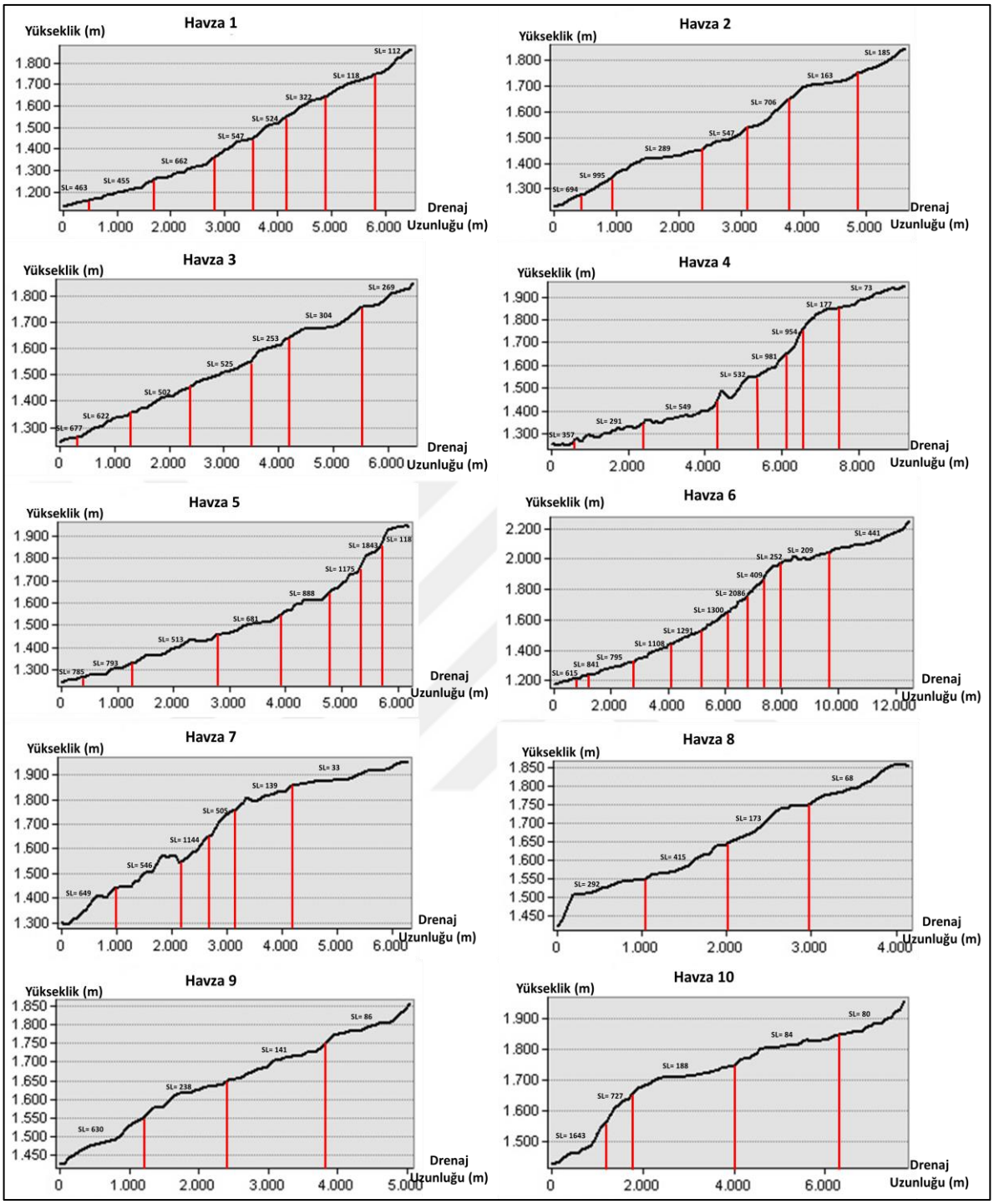
16 numaralı havzanın hesaplanan ortalama SL indis değeri 641,18'dir. Havza içerisinde 166'dan 1666'ya kadar değişen SL değerleri ölçülmüştür. 1820-2020 m kotları arasında SL değerinde ani bir yükselme izlenmektedir.

17 numaralı havzanın hesaplanan ortalama SL indis değeri 313,69'dur. Havza içerisinde SL değerleri 255 ile 392 arasında değişmektedir.

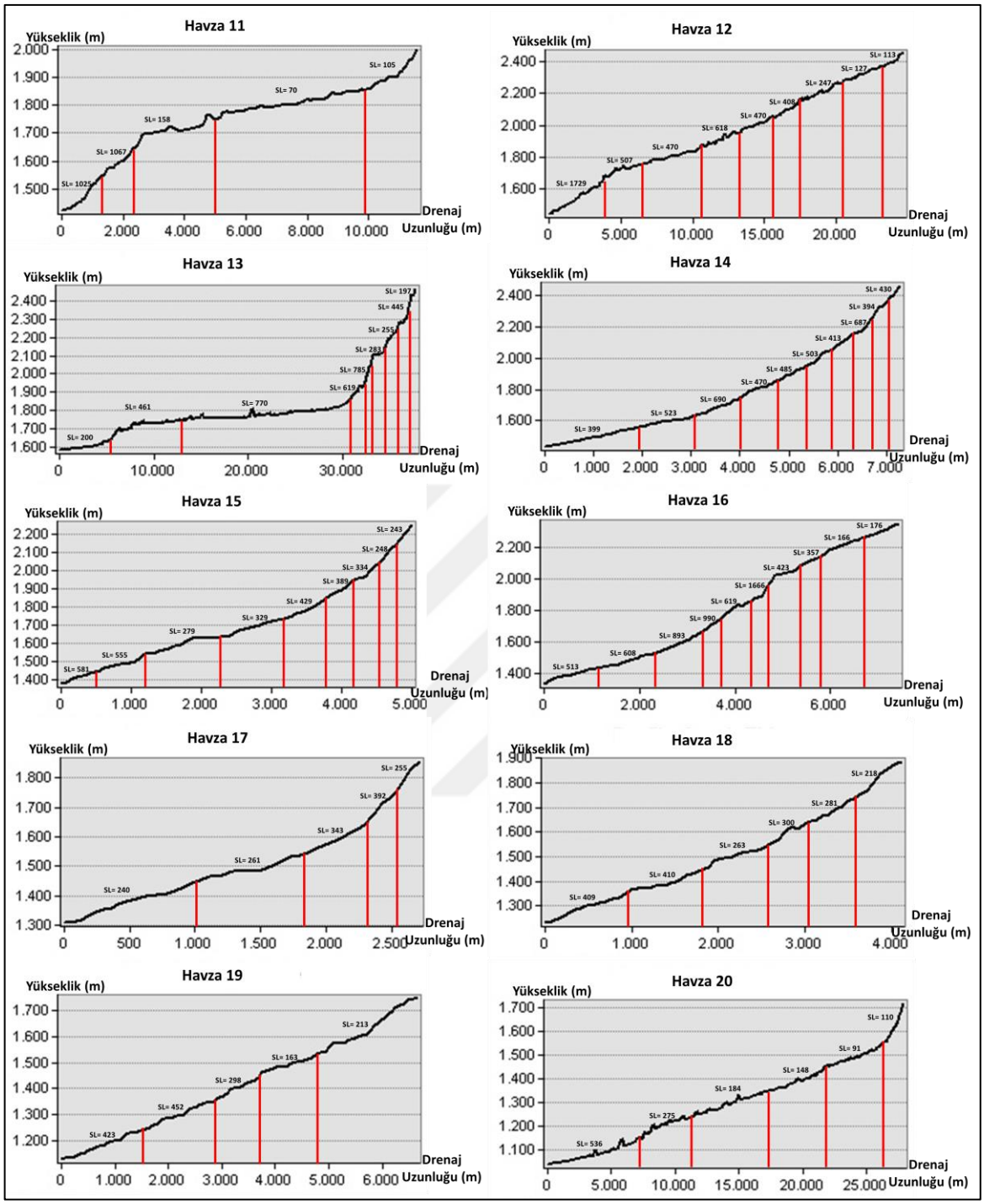
18 numaralı havzanın hesaplanan ortalama SL indis değeri 309,85'dir. Havza içerisinde SL değerleri 218 ile 410 arasında değişmektedir.

19 numaralı havzanın ortalama SL indis değeri 298,19 olarak hesaplanmıştır. Havza içerisindeki SL değerleri 163 ile 423 arasında değişmektedir.

20 numaralı havzanın hesaplanan ortalama SL indis değeri 224,19'dur. Havza içerisinde 91 ile 536 arasında değişen SL değerleri ölçülmüştür. Havzada 1000-1200 m kotları arasında göreceli yüksek SL değerleri izlenirken 1200 m kotundan itibaren bu değerler azalmaktadır.



Şekil 4.100: 1-10 numaralı havzalara ait SL indis değerleri.



Şekil 4.101: 11-20 numaralı havzalara ait SL indis değerleri

4.6. DEPREM TARİHÇESİ

Çalışma alanı içerisinde yer alan Bingöl İli, hem KAFZ hem de DAFZ'nun etkisiyle bugüne kadar birçok depreme maruz kalmıştır. Bölgeyi etkilemiş, hasara uğratmış, yüzey kırığı oluşturmuş veya oluşturmuş olma ihtimali olan depremler çeşitli kaynaklar yardımıyla aşağıda tarihsel ve aletsel depremler başlıkları altında anlatılmıştır.

4.6.1. Tarihsel Dönem Depremleri (1900 öncesi)

Deprem kataloglarına göre Doğu Anadolu Fay Zonu ve içerisindeki Ilıca Segmenti'nde 1900 öncesinde gerçekleşmiş 30 adet hasar yapıcı deprem yer almaktadır. Bu depremler kronolojik olarak aşağıda verilmiştir.

4.6.1.1. M.S. Haziran 572 Doğu Anadolu

572 yılında Doğu Anadolu bölgesinde geniş alanlarda şiddetli bir deprem hissedilmiştir ancak depremin verdiği hasar hakkında herhangi bir bilgi yoktur (Ambraseys, 2009).

4.6.1.2. M.S. 602-603 Muş

Muş ilinin yaklaşık 30 km kuzeybatısında gerçekleşen bu şiddetli depremde Karapet (Kutsallar Manastırı) çok büyük hasar almış, altındaki evler yıkılmış ve kilisenin temelleri yer değiştirerek büyük hasara uğramıştır (Guidoboni ve diğ., 1994).

4.6.1.3. M.S. 19 Ağustos 995 Palu, Elazığ

19 Ağustos 995 tarihinde Güneydoğu Anadolu'da Sivrice, Palu ve Bingöl'ü etkileyen yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir. Birçok kişinin hayatını kaybettiği bu depremde köy evleri, taş binalar, kiliseler yıkılırken, bazı nehirler kurumuş buna karşılık yeni su kaynakları ortaya çıkmıştır. Depremin artçı şokları Mart 996 ya kadar devam etmiştir. (Pınar ve Lahn, 1952; Guidoboni ve diğ., 1994; Ambraseys 2009).

4.6.1.4. M.S. 8 Temmuz 1046 - 27 Haziran 1047 [438 H.] Diyarbakır

8 Temmuz 1046 ile 27 Haziran 1047 tarihleri arasında Diyarbakır ve Ahlat'ta IX şiddetinde bir deprem hissedilmiştir. Bu yıkıcı depremde bir çok kişi hayatını kaybetmiş, bir çok kale duvarı yıkılmıştır (Guidoboni ve diğ., 1994).

4.6.1.5. M.S. 1111-Van

1111 yılında Van Gölü civarında, yüzey kırığı oluşturan oldukça şiddetli bir deprem meydana gelmiştir. (Pınar ve Lahn, 1952)

4.6.1.6. M.S. 28 Kasım 1131 Varto

28 Kasım 1131'de (Ermenicedeki harf değişikliklerinden dolayı bu deprem için 1131 ve 1132 olarak iki tarih verilmiştir) Ani'de (Ermenistan'ın eski başkentlerinden biri) IX şiddetinde olduğu düşünülen bir deprem hissedilmiştir. Depremle bir çok yapıda ve kilisede yıkım meydana gelmiştir (Guidoboni ve Comastri, 2005).

4.6.1.7. M.S. 3 Şubat 1133 Doğu Anadolu

Ambraseys (2009) tarafından Suriye'de gerçekleşebileceği düşünülen ve Doğu Anadolu bölgesini etkileyen bir deprem hissedilmiştir (Ambraseys, (2009); Guidoboni ve Comastri (2005)).

4.6.1.8. M.S. 24 Mayıs 1145 Doğu Anadolu

Ambraseys (2009) şiddetli hissedilen bir depremi Doğu Anadolu bölgesinde konumlandırır. Bu deprem için daha fazla bilgi yoktur. Guidoboni ve Comastri (2005) tarihsel kaynağın yazarının kökenine dayanarak bu depremin Malatya'da konumlandırılabileceğini ifade eder.

4.6.1.9. M.S. 1206 Erzincan

Ermeni kayıtlarında, Erzincan'da şiddetli bir şekilde hissedilen ancak verdiği hasarın bilgisi olmayan bir deprem bulunmaktadır (Guidoboni ve Comastri, 2005; Ambraseys, 2009).

4.6.1.10. M.S. 1236 Erzincan

Erzincan'da hissedilen şiddetli bir deprem, Ermeni kaynaklarında kaydedilmiştir (Guidoboni ve Comastri, 2005; Ambraseys, 2009). Bu depremin hasar dağılımı hakkında bilgi yoktur.

4.6.1.11. M.S. 3 Ekim 1275 Ahlat

3 Ekim 1275'de Türkiye'nin doğusunda bulunan Ahlat'da büyüklüğü 6 olan bir deprem meydana gelmiştir. Depremin şiddeti Ercis'de X, Ahlat'ta IX-X, Diyarbakır, Mardin ve Sivas'da VIII ve Ani'de V-VI olarak hissedilmiştir. Ahlat ve Ercis'in neredeyse tamamı yok olmuş, birçok kişi hayatını kaybetmiştir. Silvan, Mardin ve Diyarbakır'da ciddi hasar meydana gelirken Ani'de çok fazla hasara sebep olmamıştır (Pınar ve Lahn, 1952; Guidoboni 2005).

4.6.1.12. M.S. 1280-81 Erzincan

Erzincan'da hissedilen şiddetli bir deprem, Ermeni kaynaklarında kaydedilmiştir (Guidoboni ve Comastri, 2005; Ambraseys, 2009). Bu depremin hasar dağılımı hakkında bilgi yoktur.

4.6.1.13. M.S. 1290-91 Erzincan

Erzincan'da hissedilen şiddetli bir deprem, Ermeni kaynaklarında kaydedilmiştir (Ambraseys, 2009). Bu depremin hasar dağılımı hakkında bilgi yoktur.

4.6.1.14. M.S. 1345 Erzincan

Erzincan'da hissedilen şiddetli bir deprem, Ermeni kaynaklarında kaydedilmiştir (Guidoboni ve Comastri, 2005; Ambraseys, 2009). Bu depremin hasar dağılımı hakkında bilgi yoktur.

4.6.1.15. M.S. 1356 Erzincan

Ermeni kaynaklarına göre Erzincan'da hissedilen şiddetli bir deprem kaydedilmiştir (Guidoboni ve Comastri, 2005; Ambraseys, 2009). Bu depremin hasar dağılımı hakkında bilgi yoktur ancak Erzincan'ı yıkmadığı bilinmektedir.

4.6.1.16. M.S. 1601 Erzincan

Ambraseys (2009)'da Erzincan'da hissedilen bu sarsıntının iki bölgeyi yıktığı yazılıdır. Yıkılan bölgelerden biri Ambraseys (2009)'a göre, Erzincan'ın doğusu olabileceği gibi Muş yakınında bir ilçe de olabilir. Yazar, diğer bölgenin ise Van Gölü kuzeybatısı olabileceği ihtimalini belirtir.

4.6.1.17. M.S. Nisan 1678 Bingöl

Ambraseys ve Finkel (1987) Nisan 1678 tarihinde Avrupa'da yayınlanan bir gazete haberine dayanarak, haberdeki depremin en çok Bingöl yerleşimini etkileyen bir deprem olabileceğini yorumlamıştır.

4.6.1.18. M.S. 1712 Erzurum

Erzurum'da şiddetli bir deprem hissedilmiştir (Ambraseys, 2009). Bu depremin hasar dağılımı hakkında bilgi yoktur.

4.6.1.19. M.S. Haziran 1719 Erzurum

Erzurum'da şiddetli bir deprem hissedilmiştir (Ambraseys, 2009). Bu depremin hasar dağılımı hakkında bilgi yoktur.

4.6.1.20. M.S. 18 Temmuz 1784

Ambraseys ve Finkel (1987) Erzincan-Erzurum-Muş-Van-Ergani (Diyarbakır) arasında kalan geniş bir bölgede ağır deprem hasarı oluştuğundan bahsetmektedir. Bingöl'e bağlı yerleşimlerde de hasar olmuş, burada yaşayanlar Harput'a göç etmiştir. Kayıtlara göre artçı sarsıntılar dört ay boyunca devam etmiştir.

4.6.1.21. M.S. 1789 Palu

1789 yılında Palu'da bir çok kişinin ölümüne sebep olan ve büyük hasar bırakan şiddetli bir deprem hissedilmiştir (Pınar ve Lahn, 1952).

4.6.1.22. M.S. 1 Kasım 1844 Erzurum

Erzurum'da şiddetli bir deprem hissedilmiştir (Ambraseys, 2009). Bu depremin hasar dağılımı hakkında bilgi yoktur fakat Erzurum'da hasar olmadığı bilinmektedir. Aynı ay içerisinde birkaç sarsıntı daha hissedilmiştir.

4.6.1.23. M.S. 1856 Karlıova

Bahar aylarında Karlıova ve Göynük'de hasara neden olan bir deprem gerçekleşmiştir (Ambraseys, 2009). Kayıtlara göre, özellikle Karlıova, Kargapazarı ve doğusunda hasar ağırdır.

4.6.1.24. M.S. 1866 Göynük

Bingöl kuzeydoğusunda Kiğı civarında ve Göynük vadisi içerisinde ağır hasara neden olan bir deprem meydana gelmiştir (Ambraseys, 2009). Bir Rus konsolosun Göynük vadisi içerisinde yaptığı gözlemlere göre hasar en güneybatıda Çobantaşı köyü ile kuzeydoğuda Karlıova arasında yoğunlaşmıştır. Konsolosun gözlemleri Ambraseys (2009) tarafından yüzey kırığı oluştuğu şeklinde değerlendirilmiştir. Bahsedilen yüzey deformasyonlarının yeri açık olarak tarif edilmemiş olmakla beraber Ambraseys (2009) bu depremin Göynük vadisi içerisinde yüzey kırığı oluşturduğunu öne sürer. Ambraseys (2009) içerisinde yer alan kaynaklara göre bu deprem Erzincan, Erzurum, Ordu, Diyarbakır illerinde de hissedilmiştir.

4.6.1.25. M.S. 3 Mayıs 1874 Palu

3 Mayıs 1874'de saat 7 sularında yaklaşık 1 dk süren bir deprem hissedilmiştir. Palu ve Pütürge fay zonunda meydana gelen bu depremle Hazar Gölü çevresindeki köylerin bir çoğu tamamen yıkılmış, gölün güney tarafı yaklaşık 2 metre yükselmiş, buna bağlı olarak Hazar Gölü kıyısındaki köyler tamamen sular altında kalmıştır. Dicle vadisinin Maden yakınlarında toprak kayması meydana gelmiş, Maden'deki hasar tam olarak bilinmemekle birlikte yıkılan evler olmuş ve 3000 kişilik nüfusun tamamı kasabayı terk etmiştir. Artçı sarsıntılar 3 gün boyunca devam etmiş buna bağlı olarak yıkılan evler olmuştur (Ambraseys, 2009).

4.6.1.26. M.S. 27 Mart 1875 Palu

1874 yılında gerçekleşen Palu depreminden yaklaşık 1 yıl sonra 27 Mart gecesi bir deprem gerçekleşmiştir. Palu'dan Elazığa doğru Palu, Kaçkor, Harput ve Ulu Ova'da bir çok yapıda yıkım meydana gelmiş ve çok sayıda insan hayatını kaybetmiştir. Bu depremle birlikte Hazar Gölü'ndeki toplam yükseklik 4m'ye ulaşmış ve vadiyi taşma tehlikesiyle karşı karşıya bırakmıştır (Pınar ve Lahn, 1952; Ambraseys, 2009).

4.6.1.27. M.S. 1878 Kığı

1878 yılında Kığı'da hissedilen deprem bölgede ciddi hasara yol açmıştır (Pınar ve Lahn, 1952; Ambraseys, 2009).

4.6.1.28. M.S. 31 Mart 1893

Malatya'da IX şiddetinde hissedilen bu depremde şehir merkezindeki çarşıyı harabeye çevirmiş ve bu depremde 400 kişi hayatını kaybetmiştir. Ergin ve diğ. (1967)'ye göre depremin kaynak fayı Malatya'nın kuzeyindeki faylarla ilişkilidir (Pınar ve Lahn, 1952; Ergin ve diğ. 1967).

4.6.1.29. M.S. 20 Nisan 1896 Kığı

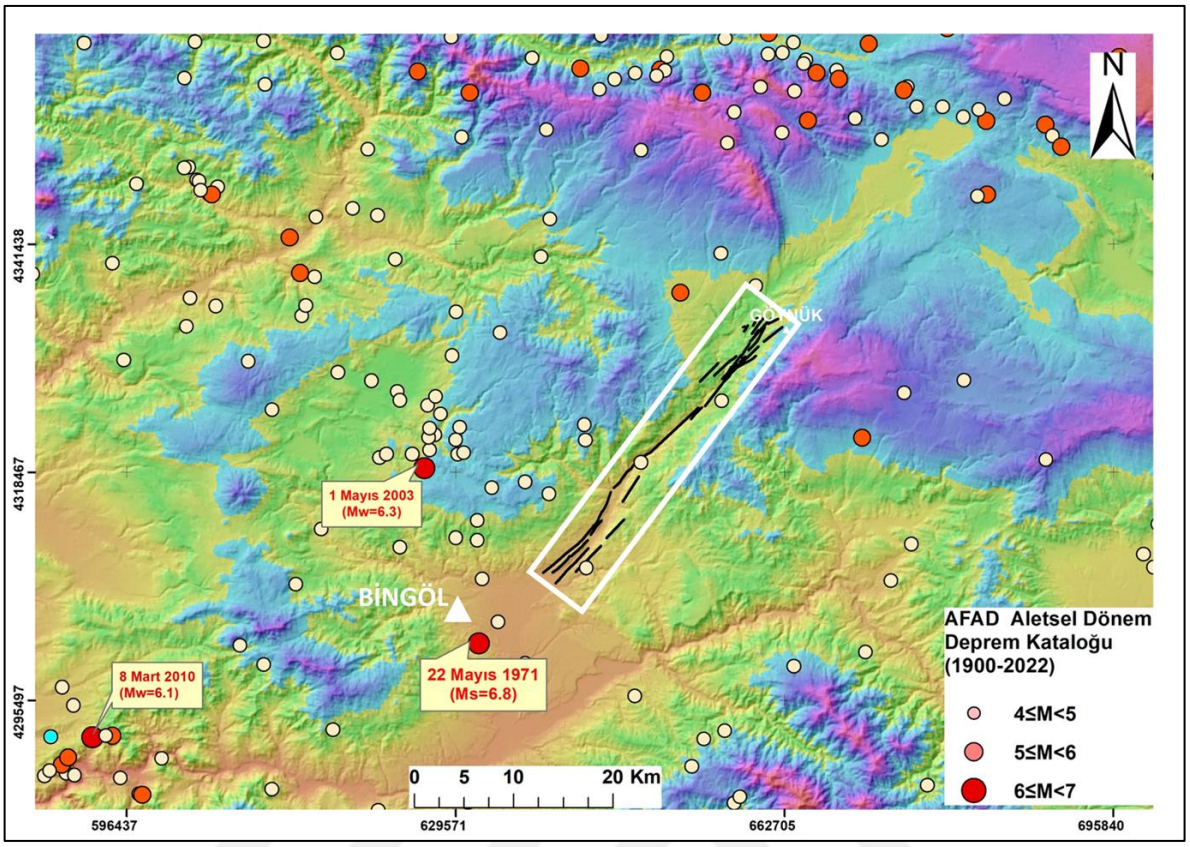
Kığı'da 20 Nisan 1896'da saat 14:55'de şiddetli bir deprem hissedilmiştir (Ambraseys, 2009).

4.6.1.30. M.S. 9 Eylül 1897 Palu

Palu'da güçlü bir sarsıntı hissedilmiştir (Ambraseys, 2009). Bu depremin hasar dağılımı hakkında bilgi yoktur.

4.6.2. Aletsel Öncesi Dönem (1900-1964) ve Aletsel Dönem (1964-2022) Depremleri

Bingöl ili ve yakınlarında 1900-2022 yılları arasında, aletsel ve aletsel dönem öncesi periyotta çok sayıda deprem meydana gelmiştir. Bunlardan büyüklüğü M≥4 olan depremler Şekil 4.102'de gösterilmiş ve hasar bilgisi veya şiddet dağılımı bilinen depremler aşağıda kronolojik olarak listelenmiştir.



Şekil 4.102: AFAD-DAD'dan alınan deprem kataloğuna göre çalışma alanı ve çevresinde 1900-2022 yılları arasında meydana gelmiş büyüklüğü 4 ve üzeri olan depremler. Siyah çizgiler Ilıca Segmentini göstermektedir. Beyaz renkle gösterilen alan DAFZ'nun çalışma alanı içerisindeki bölümüdür.

4.6.2.1. 4 Aralık 1905 Malatya-Pütürge

4 Aralık 1905'de Malatya'nın güneydoğusundaki Şiro Çayırı'nda max şiddeti IX olan 6.8 büyüklüğünde bir deprem hissedilmiştir. Depremi 5.5 büyüklüğünde artçı şoklar takip etmiştir. Pütürge ve Çelikhan arasında 5000 e yakın yapıda hasar meydana gelirken 500 kişi de hayatını kaybetmiştir (Pınar ve Lahn, 1952; Ambraseys ve Finkel, 1987; Ambraseys, 1988).

4.6.2.2. 11 Aralık 1934 Bingöl Solhan

11 Aralık 1934'de Bingöl'de 5.9 büyüklüğünde bir deprem hissedilmiştir. Bu depremde 200 ev hasar görürken, 12 kişi de hayatını kaybetmiştir (Ayhan ve diğ., 1981).

4.6.2.3. 5 Mayıs 1935 Kığı

5 Mayıs 1935'de Bingöl'ün Kığı ilçesinde hissedilen orta şiddetli depremde can kaybı olmamasına rağmen 40 ev yıkılmış, 155 ev ise ağır hasar almıştır (Pınar ve Lahn, 1952; Apuhan, 2020).

4.6.2.4. 7 Aralık 1937 Kığı

7 Aralık 1937 Kığı ilçesinde saat 11.30'da yaklaşık 22 saniye süren bir deprem hissedilmiştir. Bu depremde can kaybı meydana gelmemiş ancak 9 ev yıkılmış, 21 ev ağır hasar almış ve geri kalan tüm evlerin de sıvaları dökülmüştür. 9 Aralık 1937'de ikinci bir sarsıntı meydana gelmiştir. Bu sarsıntıda da can kaybı olmamış, bir kişi yaralanmış, bir hayvan telef olmuş ve önceki depremde hasar gören evler yıkılmış, 57 ev de ağır hasar almıştır (Apuhan, 2020).

4.6.2.5. 1938 Bingöl

1938 yılının Nisan ve Mayıs aylarında yer sarsıntıları hissedilmiştir. 15 ve 16 Nisan tarihinde Genç ilçesi yakınlarında hissedilen depremde can kaybı olmamasına rağmen 4 ev yıkılmış, 28 ev hasar almıştır. 21 Mayıs günü gerçekleşen deprem Bingöl merkezde hissedilirken, 24 Mayıs günü gerçekleşen depremin merkezi Genç ilçesidir. Bu depremlerde de can kaybı meydana gelmemiştir (Apuhan, 2020).

4.6.2.6. 29 Mayıs 1940 Sancak

29 Mayıs 1940 tarihinde, Bingöl'ün Sancak beldesinde 4.8 büyüklüğünde bir deprem hissedilmiştir. Bu depremde biri ağır iki kişi yaralanmış, 103 ev de hasar görmüştür (AFAD; Apuhan, 2020).

4.6.2.7. 1943-1944 Palu

1943-1944 yıllarında Sivrice-Palu arasında aralıklarla yaklaşık 4 ay süren depremler hissedilmiştir (Pınar ve Lahn, 1952).

4.6.2.8. 16 Mart 1948 Maraş-Malatya

1948 yılında Maraş ile Malatya arasında şiddetli bir şekilde hissedilen bir deprem meydana gelmiştir.

4.6.2.9. 18 Ağustos 1948 Sivrice-Palu

18 Ağustos 1948'de Sivrice Palu arasında orta şiddetli bir deprem hissedilmiştir.

4.6.2.10. 17 Ağustos 1949 Karlıova

17 Ağustos 1949'da Erzincan'ın güneydoğusunda, Karlıova'da 6.9 büyüklüğünde bir deprem hissedilmiştir. Depremin hissedilen en büyük şiddeti VII olarak belirlenmiştir. Depremde bir çok köy hasar almış, bir çok bina yıkılmış, heyelan ve kaya düşmeleri gerçekleşmiş, buna rağmen ölüm sayısı hasat zamanı bir çok kişinin tarlalarda olmasına bağlı olarak beklenilenden az olmuştur. Elmalı ve Geylan arasında sağ yönlü doğrultu atımlı, toplam uzunluğu 38 km olan bir yüzey kırığı meydana gelmiştir (Pınar ve Lahn, 1952; Canıtez, 1960; Ambraseys, 1988).

4.6.2.11. 4 Şubat 1950 Kığı

Bingöl'ün Kığı ilçesinde 4 Şubat günü büyüklüğü 4.9 olan bir deprem hissedilmiştir. Bu depremde, 100 evde hasar meydana gelirken 20 kişi de hayatını kaybetmiştir (Pınar ve Lahn, 1952; Apuhan., 2020).

4.6.2.12. 8 Kasım 1950 Sivrice

8 Kasım 1950'de Sivrice'de orta şiddette bir deprem hissedilmiştir (Pınar ve Lahn, 1952).

4.6.2.13. 31 Ağustos 1965 Karlıova

31 Ağustos 1965'de 07:45 ile 09:30 arasında Karlıova merkezinde bir dizi sarsıntı hissedilmiştir. Depremde can kaybı yaşanmamasına rağmen, Karlıova Merkez'de 5 ev ve hükümet konağı hasar görmüş, Kızılçubuk ve Sarıkuşak köyleri yerle bir olmuş, en büyük hasar Kızılçubuk, Kayapınar, Sarıkuşak, Halifan, Topalan ve Suçatı köyleri ile Göynük civarında yaşanmış, toplamda 1500 ev hasar görmüş ve 229 ev de yıkılmıştır (Apuhan., 2020).

4.6.2.14. 7 Mart 1966 Varto – Hınıs

7 Mart 1966'da Muş ilinin Varto ilçesinde büyüklüğü 5.5 olan bir deprem hissedilmiştir. Bu depremde 15 kişi hayatını kaybetmiş, 30 kişi yaralanmış, 4000 ev harabeye dönmüş, 3600 ev de hasar görmüştür. Bağiçi köyünde heyelan yarıkları görülmüştür (Ergin ve diğ.,1971).

4.6.2.15. 19 Ağustos 1966 Varto

19 Ağustos 1966'da Varto'da 6.1 büyüklüğünde bir deprem hissedilmiştir. Depremin en fazla hasar yaptığı bölgede binaların %80-90'ı tamamen yıkılmış, geri kalanı ise ağır hasar almıştır. Tepeköy'de hasar %100'dür. Karlıova'nın kuzeybatısında Elmalıderesi'nden Hamurpet Gölü'ne kadar olan yaklaşık 60 km'lik alanda yüzeyde çatlaklar, yarıklar, düşey kaymalar ve heyelanlar görülmüştür. (Ergin ve diğ.,1971).

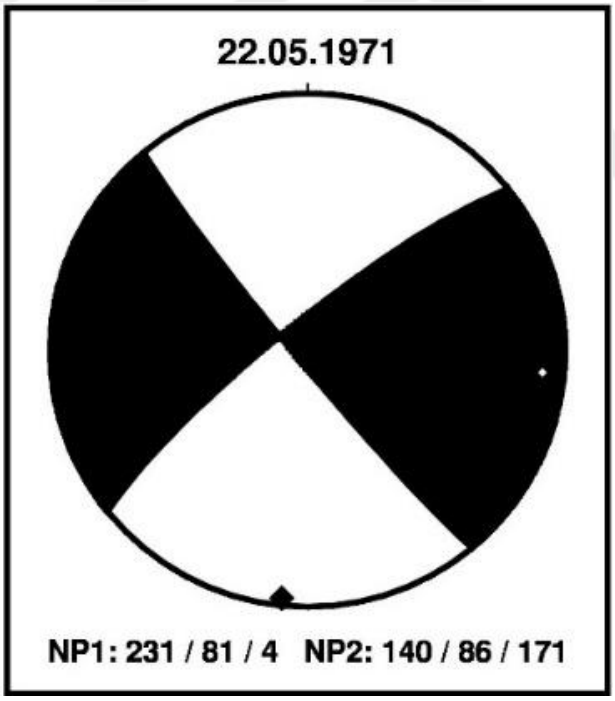
4.6.2.16. 2 Mayıs 1971 Bingöl

22 Mayıs 1971'de saat 18.43 sularında merkezüstü Bingöl'ün 10km kuzeydoğusunda, Çapakçur Ovası'nda, büyüklüğü (M_s) 6.7 ve odak derinliği 3 km olan şiddetli bir deprem hissedilmiştir (Seymen ve Aydın, 1972). Bu depremde 875 kişi hayatını kaybederken 700 kişi de yaralanmıştır. Can kaybının yanı sıra 5583'ü ağır olmak üzere 10.000 den fazla ev de hasar almıştır (Apuhan., 2020). Deprem şiddet dağılımı, Seymen ve Aydın tarafından haritalanmıştır ve değerler V ile IX arasında değişmektedir (Şekil 4.104).

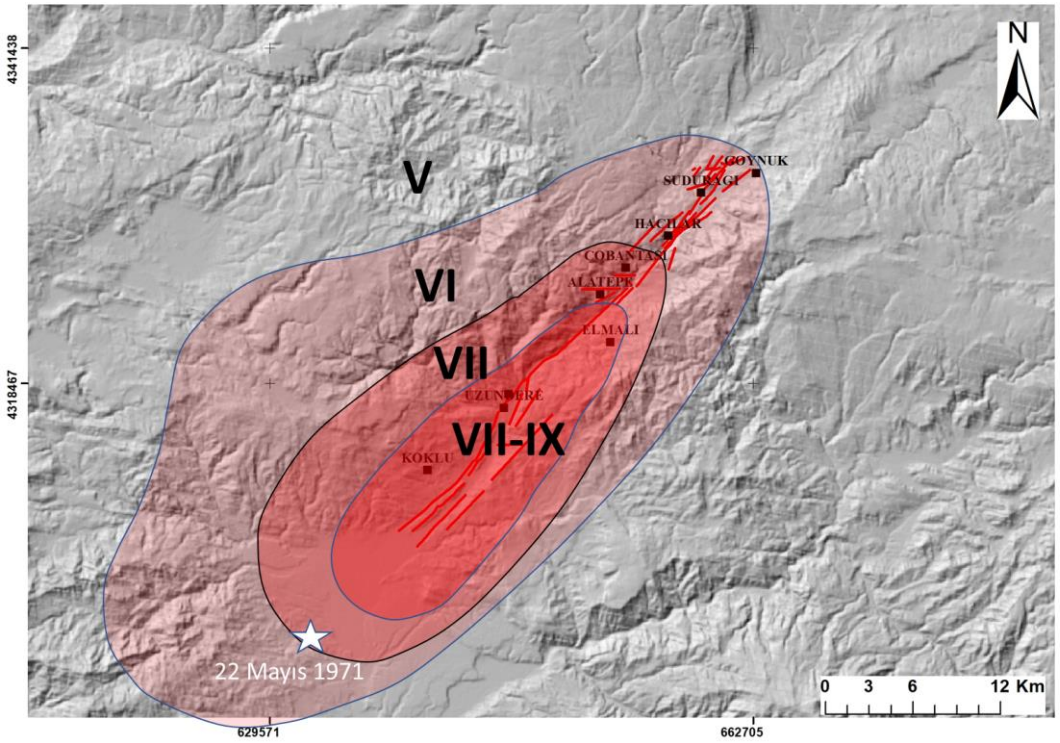
Taymaz ve diğ., (1991) (Şekil 4.105); Eyidoğan ve Barka, (1966) (Şekil 4.103) tarafından hazırlanan deprem odak mekanizması çözümlerinin, DAFZ ile aynı doğrultuda olması, 1971 depreminin bu ana fay zonunda gerçekleştiğinin bir göstergesidir.

Seymen ve Aydın (1972), deprem sonrasında yaptıkları arazi çalışmalarında Çobantaşı, Alatepe köyleri yakınlarında 1971 depremiyle gelişen doğrultusu KG ile K25D arasında değişen en-echelon çatlakların varlığını tespit etmişlerdir (Şekil 4.107). Yazarlar; Bingöl ve Çobantaşı arasında, yaklaşık 35 km boyunca, uzunlukları 50 m ile 500 m arasında değişen, birbirine paralel ya da yarı-paralel yüzey deformasyonları gözlemlenmişler ve bu zon içerisinde 25 cm sol-yanal ötelenme ölçmüşlerdir.

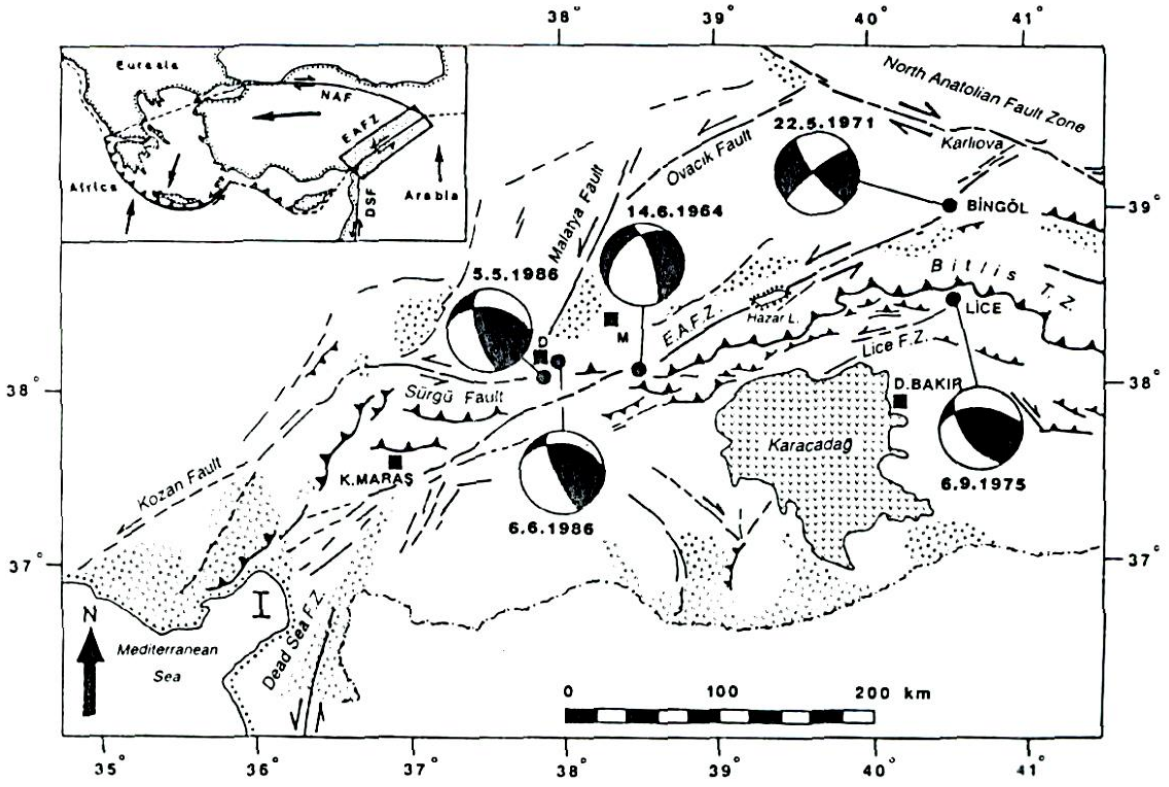
Arpat (1971), deprem sonrasında yaptığı arazi gözlemleri doğrultusunda, 1971 depreminin Göynük vadisi boyunca yüzey kırığı oluştuğunu ve faya paralel, yarı paralel gelişmiş en-echelon çatlaklar geliştiğini ifade etmektedir (Şekil 4.106).



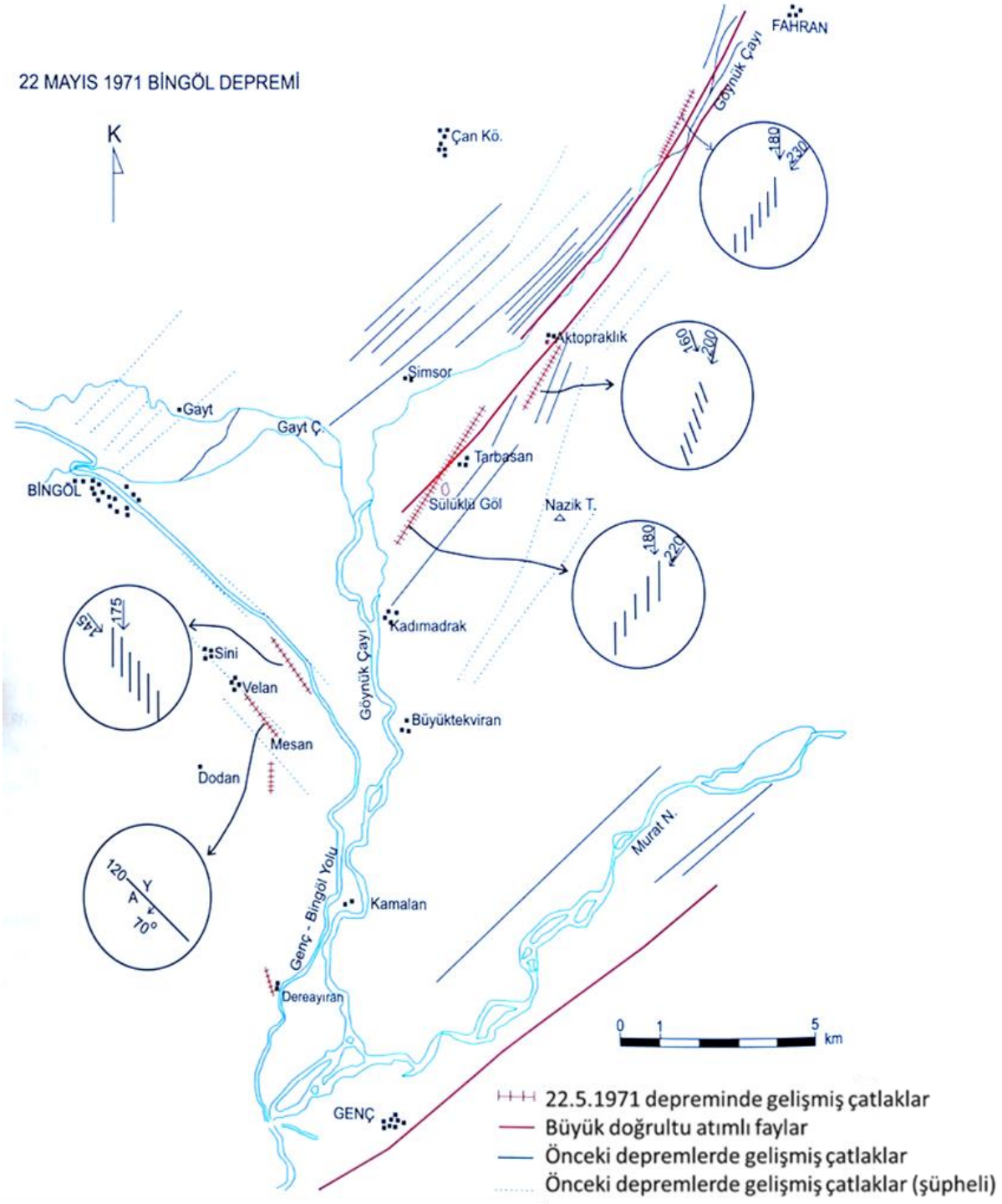
Şekil 4.103: Eyidoğan ve Barka (1996)'daki parametrelere (Doğrultu/Eğim/Kayma açısı; düzlem1: 231/81/4; düzlem2: 140/86/171) göre 22 Mayıs 1971 Bingöl depreminin odak mekanizması çözümü.



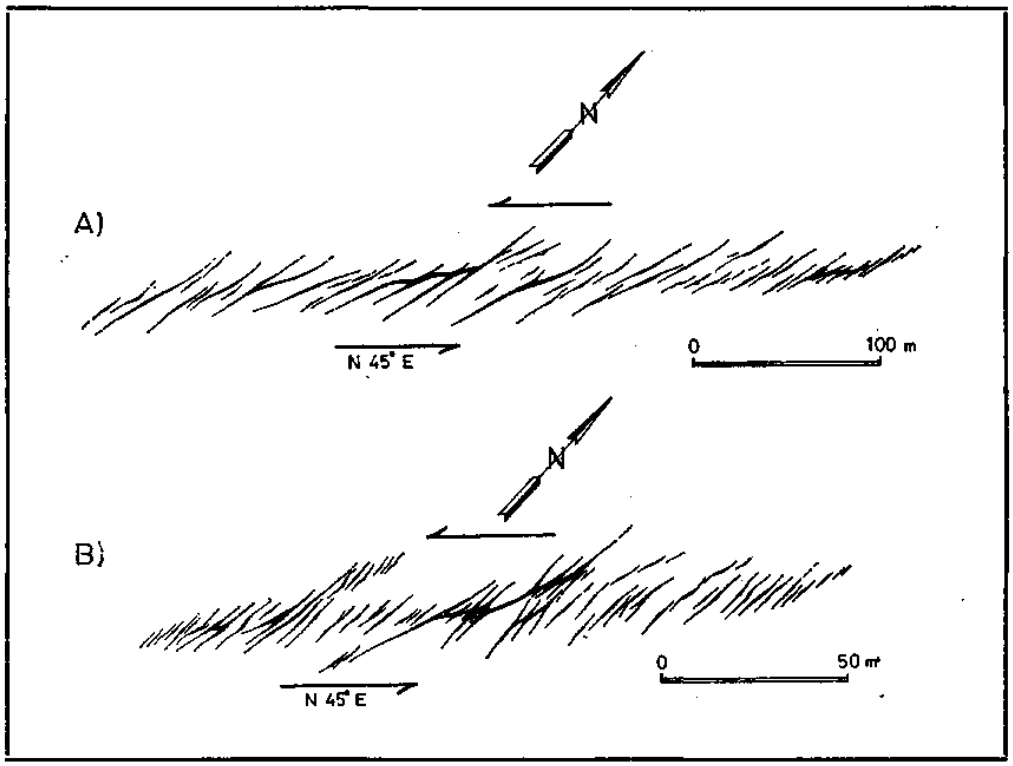
Şekil 4.104: 22 Mayıs 1971 Bingöl depreminde şiddet dağılımını gösteren harita. Yıldız, aletsel episantrı (38º 80 N – 40º 50 E) göstermektedir (Seymen ve Aydın, 1972'den sadeleştirilerek).



Şekil 4.105: Taymaz ve diğ. (1991) tarafından 22 Mayıs 1971 Bingöl depremi ve Doğu Anadolu Fayı üzerindeki diğer önemli depremler için hazırlanmış odak mekanizması çözümleri.



Şekil 4.106: Arpat (1971)'ın saha gözlemlerine dayanarak hazırlanan 22 Mayıs 1971 depreminde gelişen yüzey deformasyonları haritası (Herece, 2008).



Şekil 4.107: Çalışma alanının güneybatısındaki Sarıçiçek köyü yakınlarında 22 Mayıs 1971 depremi ile gelişen riedel kırıkları (Seymen ve Aydın, 1972).

4.6.2.17. 1 Mayıs 2003 Bingöl

1 Mayıs 2003 gecesi saat 03:27'de Bingöl'de orta şiddetli bir deprem hissedilmiştir. Merkezüstü Bingöl'ün yalaşık 15km kuzeybatısında yer alan bu depremin büyüklüğü (M_w) 6.4, odak derinliği 5 km'dir. Bu depremde 177 kişi hayatını kaybetmiş, 500'den fazla kişi yaralanmış ve yaklaşık 2000 bina hasar almıştır (BOUN-KRDAE).

4.6.2.18. 8 Mart 2010 Elazığ

8 Mart 2010 gecesi saat 04:32'de merkezüstü Elazığ'ın Okçular köyü, büyüklüğü (M_w) 6.1, derinliği 5 km olan bir deprem gerçekleşmiştir. Bu depremde 41 kişi hayatını kaybetmiş, 134 kişi yaralanmış, 3000'e yakın hayvan telef olmuş ve 4000'den fazla yapı hasar görmüştür.

4.6.2.19. 3 Aralık 2015 Bingöl

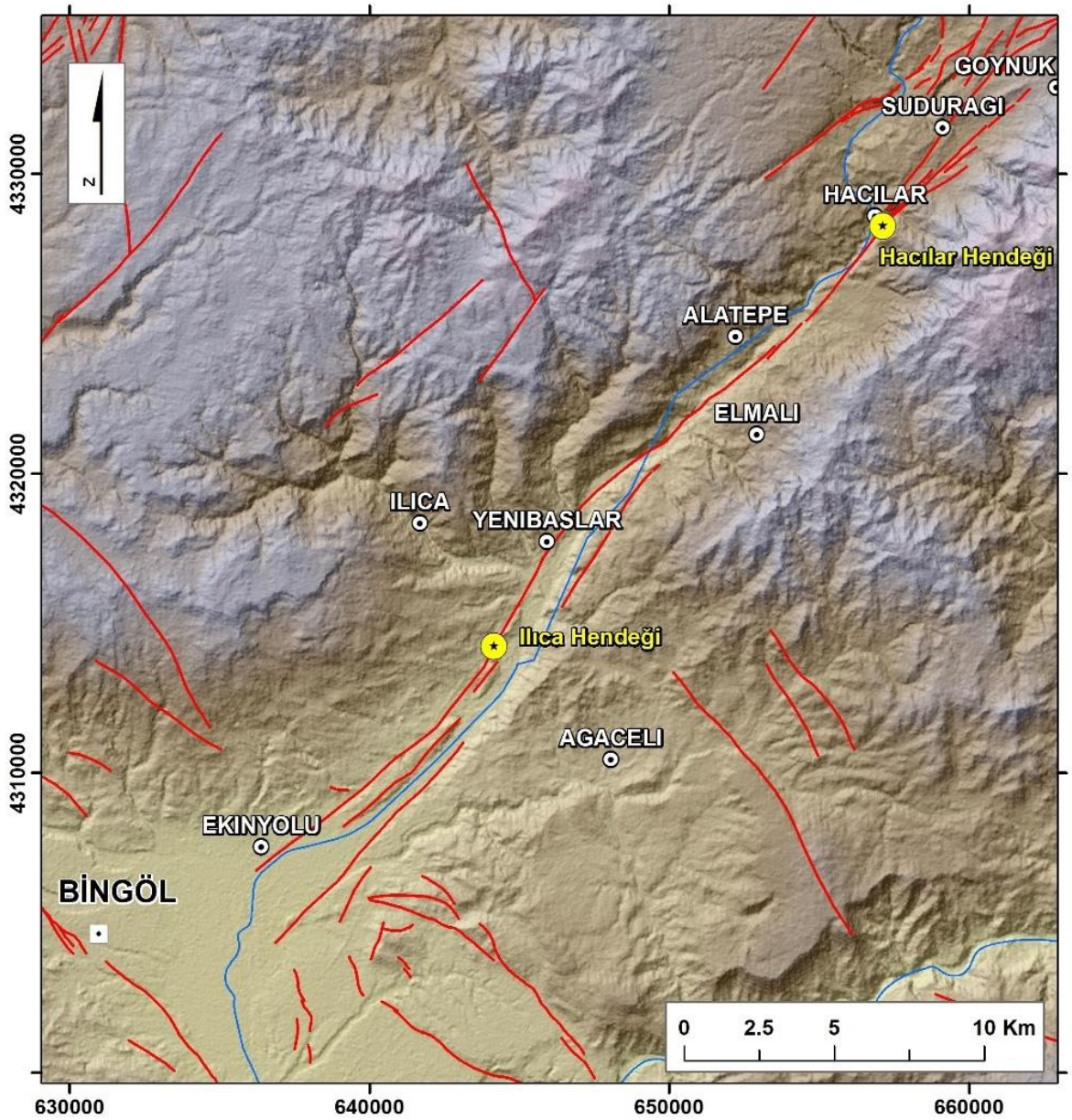
3 Aralık 2015 gecesi saat 01:27'de şiddetli bir sartıntı hissedilmiştir. Merkezüstü Bingöl'ün kuzeybatısında Açıkgüney köyü olan depremin büyüklüğü (M_l) 5.5, odak derinliği yaklaşık 5 km'dir. Depremde can kaybı bulunmamasına rağmen 500'den fazla yapı hasar almıştır.

4.6.2.20. 14 Haziran 2020 Bingöl

14 Haziran 2020 akşamı saat 17:24'de Bingöl Karlıova'da büyüklüğü (M_w) 5.9, derinliği 5 km olan bir deprem hissedilmiştir.

4.7. PALEOSİSMOLOJİK HENDEK

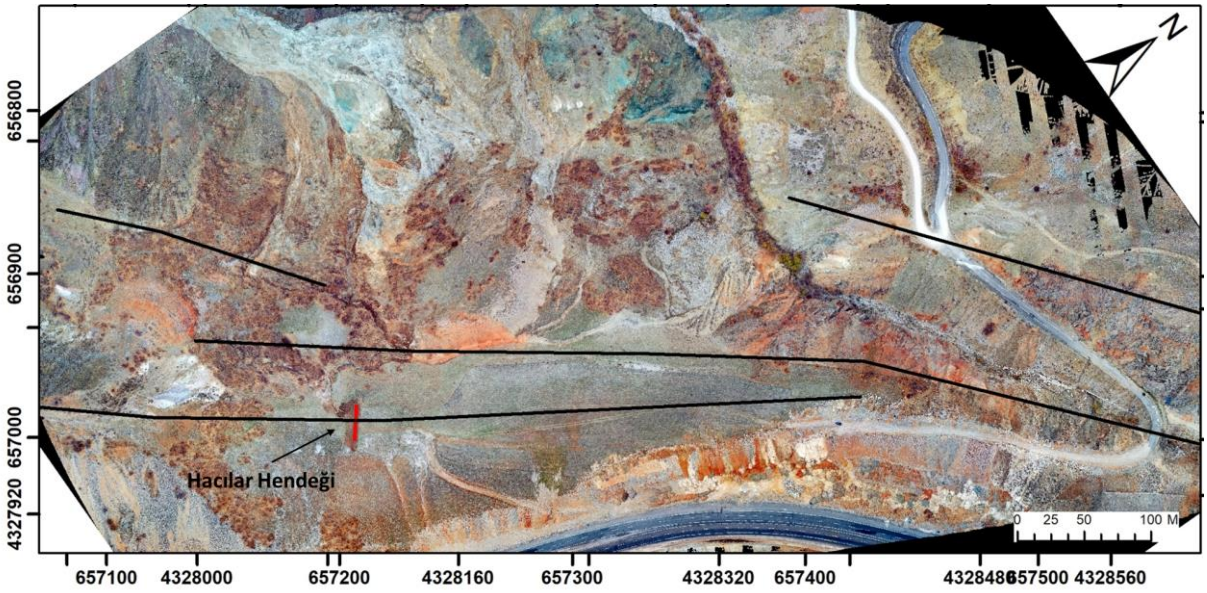
Tez çalışması kapsamında, Ilıca segmenti üzerinde iki farklı lokasyonda birer adet paleosismolojik hendek kazısı gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.108). Deformasyon zonunun nispeten dar olduğu ve genç çökellerin depolanmasına uygun alanlar tercih edilmiştir. Bir hendek Ilıca segmentinin kuzeydoğu kesimlerinde, Hacılar köyü güneyinde kazılmıştır. Diğer hendek ise segmentin daha güney kesimlerinde, Ilıca beldesi güneydoğu kesimlerinde kazılmıştır.



Şekil 4.108: Paleosismolojik hendek çalışması yapılan lokasyonların Ilıca segmenti üzerinde konumu.

4.7.1. Hacılar Hendeği

Ilıca segmentinin en kuzey kesimlerinde, Sudurağı köyü civarında, topoğrafyada fay morfolojisi ile ilişkili yapılar çok belirgindir. Fay gölcükleri, basınç sırtları, oluk yapıları yaklaşık 1.3 km genişliğinde bir zon halinde izlenir. Daha güneybatıda, bu zon daralır ve Ilıca segmenti Göynük vadisi içerisinden güneybatıya doğru takip edilir. Hacılar köyü civarında birkaç kol halinde devam eden fay zonunun köyün güneyinde, Göynük vadisine girmeden önce belirgin bir oluk yapısı sunduğu bir alanda, faya dik bir paleosismolojik hendek kazısı (Hacılar hendeği) gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.109, Şekil 4.110). Lokasyon seçimi; fay kolunun kestiği jeolojik birimlerin göreceli olarak genç olması, çökelimin uygunluğu, iş makinasının lokasyona ulaşımı ve yer sahiplerinin rızası gibi unsurlar değerlendirilerek yapılmıştır. Seçilen lokasyonda, K50°D doğrultusunda takip edilen faya dik olarak yaklaşık K40°B doğrultusunda açılan hendeğin uzunluğu ~ 30 m derinliği ise ~ 3 m'dir. Hendek duvarları kepçe izlerinden temizlenmiş, hendeğin hem kuzey duvarı hem de güney duvarı stratigrafi, sedimantoloji ve yapısal unsurlar göz önünde bulundurularak şeritmetre ve çırpıcı ipi yardımıyla 2x1m ölçeğinde karelajlandırılmış, çivi ve renkli bantlar kullanılarak kılavuz seviyeler ve yapısal unsurlar belirlenip işaretlenmiş ve milimetrik kağıda duvarların logları çizilmiştir. Hendek duvarları aşmalı bir şekilde fotoğraflanarak kuzey duvardan elde edilen 1130 adet ve güney duvardan elde edilen 1026 adet fotoğraf kullanılarak Agisoft Metashape Pro yazlımı ile fotomozaik görüntü oluşturulmuş (Şekil 4.119, Şekil 4.120, Şekil 4.121, Şekil 4.123, Şekil 4.124, Şekil 4.125), elde edilen fotomozaik görüntü ve hendek içinde yapılan çizimlerden yararlanılarak ArcMap yazılımında log çizimi tamamlanmıştır (Şekil 4.118, Şekil 4.122). C-14 yaşlandırmasında kullanılmak üzere kuzey duvardan 12, güney duvarda 18 adet numune alınmış, alınan numunelerden 7 adeti (HC-S-21(22); HC-S-C10; HC-S-C14; HC-S-C20; HC-N-C9; HC-N-C10; HC-N-C12) TÜBİTAK MAM AMS laboratuvarı tarafından yaşlandırılmış, 3 adeti (HC-S-C4, HC-S-C12, HC-N-C2) Almanya Kiel'de bulunan Leibniz Laboratuvarı tarafından yaşlandırılmak üzere gönderilmiştir.



Şekil 4.109: Hacılar Hendeğinin konumu. Siyah renkli çizgiler fayı göstermektedir. Kırmızı alan Hacılar Hendek yeri.



Şekil 4.110: Kırmızı renkli çizgi fayı göstermektedir. a. Seçilen hendek yeri. b. Faya dik açılan hendek. c. Hendeğin genel görünümü d. Hendeğin kapandıktan sonraki görüntüsü.

Hendek Stratigrafisi

Hacılar hendeği kolüvyal çökellerin depolandığı bir oluk morfolojisi içerisinde açılmıştır. Hendekte stratigrafik olarak gözlenen en yaşlı seviye (birim Z) gevşek tutturulmuş; kötü boylanmalı, kızıl renkte siltli kum matriksli, bloklu köşeli çakıllar içeren seviyedir. Bu seviyenin üzerine hendeğin güneydoğu kesimlerinde açık kahve renkli, çakıllı bloklu, iyi tutturulmuş kil (birim A) ve onun da üzerinde koyu kahve renkli, gevşek tutturulmuş kumlu killi çakıl seviyesi (birim B) izlenir. Hendeğin kuzeybatı kesimlerinde birim-Z üzerine koyu kahverenginde ve plastik özellikte kil seviyesi (birim H2) gelir. Bu seviye hendeğin kuzeybatı kesiminde 3-4 m boyunca izlenir. H2 birimi üzerinde yeşilimsi gri, az kumlu kahverengi kil seviyesi (birim H1) neredeyse tüm duvar boyunca uzanır. Hendeğin kuzeybatı kuzeybatı kesimlerinde kalınlığı yaklaşık 30 cm, 7-24 metreler arasında 75-80 cm, güneydoğu kesimde ise yaklaşık 20 cm'dir. Bu seviye güneydoğu kesimde bir fay ile kesilerek sonlanır. Hendeğin sadece kuzeybatı kesiminde H2 birimi üzerinde köşeli çakıllı koyu kahve renkli siltli bir kil seviyesi (birim I) yer alır. Tüm bu seviyeler neredeyse tüm hendek duvarları boyunca, yaklaşık 21 metre boyunca kırmızı renkli, çakıllı, killi kum seviyesi (birim C1) ile örtülür. Hendeğin kuzeybatı kesimlerinde ise, C1 biriminin altında kalan seviyeler, yaklaşık 6 metre boyunca kumlu, seyrek çakıllı, açık kahverengi kil (birim C2) seviyesi ile örtülür. C1 ve C2 seviyeleri her iki duvarda da D birimi ile örtülür. D birimi koyu kahve renginde, siltli kumlu kil litolojisi ile temsil edilir ve tüm duvar boyunca 25-100 cm arasında değişen kalınlıkta izlenir. D birimi içerisinde yer yer çakıllı kum mercekleri (birim d1), yer yer kırmızı renkli, kötü boylanmalı, köşeli çakıllı siltli kum (birim d2) seviyeleri gözlenmiştir. D biriminin üst seviyelerinde ise koyu pembe-kızıl renkte kumlu killi silt seviyesi (birim d3) hendeğin kuzeybatı kesimlerinde devamlı olmayan mercekler halinde takip edilmektedir. D birimi, hendeğin 0-14 metreleri arasında pembe renkli az kumlu, killi silt seviyesi (birim G) ile örtülür. Bu seviyeler üzerinde farklı kil paketleri gözlenmiştir. Yeşilimsi kahverengi kil litolojisi ile temsil edilen birim-F, G birimini güneybatı duvarda 0-12 metreler arasında örter. Kuzeydoğu duvarda bu seviye izlenmez. Açık kahverengi tutturulmuş siltli kil seviyesi (F1 birimi) ise altta yer alan D, G ve F1 seviyelerini güneybatı duvarda tüm hendek boyunca, kuzeydoğu duvarda ise 0-15 metreler arasında örtmektedir. Koyu kahve renkli, gevşek tutturulmuş, yer yer çakıllı killi silt litolojisi ile temsil edilen seviye (birim F2) ise her iki duvarda da tüm hendek boyunca altta yer alan tüm seviyeleri örter ve üzerinde güncel toprak seviyesi (birim T) tüm hendek boyunca izlenir (Tablo 4.6, Şekil 4.118, Şekil 4.122).

Tablo 4.6: Hacılar hendeği içerisinde gözlenen litolojik birlikler.

BİRİM	LİTOLOJİ
T	Güncel toprak
F2	Koyu kahve renkli, gevşek tutturulmuş, yer yer çakıllı killi silt
F1	Açık kahve renkli, tutturulmuş siltli kil
F	Yeşilimsi kahverengi kil
G	Pembe renkli, az kumlu killi silt
D	Grimsi kahve renkli siltli kumlu kil d3: Koyu pembe-kızıl kumlu killi silt d2: kırmızı, kötü boylanmalı, köşeli çakıllı siltli kum d1: çakıllı kumlu kil
C2	Kumlu, seyrek çakıllı açık kahverengi kil
C1	Kırmızı renkli, çakıllı, killi kum
I	Koyu kahve renkte siltli kil matriksli, köşeli çakıl
H1	Yeşilimsi gri, az kumlu kahverengi kil
H2	Koyu kahverengi plastik kil
B	Koyu kahve renkli, gevşek tutturulmuş kumlu killi çakıl
A	Açık kahve renkli, çakıllı bloklu, iyi tutturulmuş kil.
Z	Gevşek tutturulmuş, köşeli, bloklu çakıl; kızıl renkte siltli kum matriksli

Yapısal Unsurlar ve Olay seviyeleri

Hacılar hendeğinde gözlenen stratigrafik seviyelerin sınırlarında, faylanma nedeniyle gelişmiş devamsızlıklar ve ötelenmeler gözlenmiştir. Göreceli olarak en eski olay hendeğin kuzeybatı kesimlerinde her iki duvarda da gözlenmiştir. Hendeğin 24-25 metreleri arasında tabanda yer alan birimler Z, H2, H1 ve I birimleri bir fay kolu kesilmiştir. Fay kolu boyunca H1 biriminin tabanında yaklaşık 20 cm düşey yönde ötelenme ölçülmüştür. Fayın kuzeybatısında yer alan I birimi ise güneydoğu kesimde gözlenmemiştir. Bu kesilen birimlerin hepsi C2 seviyesi ile örtülmektedir. C2 biriminin tabanı bir olay seviyesi olarak belirlenmiş ve HC-O1 olarak isimlendirilmiştir.

Hem güneybatı hem de kuzeydoğu duvarda, D birimi ve ondan daha yaşlı birimlerin farklı fay kolları tarafından kesildiği gözlenmiştir. Bu seviyeler güneydoğu kesimlerde G birimi ile, güneybatı duvarın kuzeybatı kesimlerinde ise F1 birimi ile örtülmektedir. Stratigrafik olarak F1 biriminden daha genç olan G biriminin tabanı bu faylanmaya ilişkin olay seviyesi olarak kabul edilmiştir. Bu seviye HC-O2 olarak isimlendirilmiştir. Hendeğin güneydoğu kesimlerinde her iki duvarda da daha kompleks bir fay paterni izlenir. Kuzeydoğu duvarda, bu zonda, alt kesimde yer alan birimlerden H1 ve B birimleri aniden sonlanırlar. Daha üst kesimlerde izlenen seviyelerde 5-10 cm arasında değişen düşey yer değiştirmeler ölçülmüştür. Bu fay paterni F1 birimi içerisine kadar ilerlemektedir. F1 seviyesini örten F2 biriminin tabanı bu faylanmayı

oluşturan depremin olay seviyesi olarak belirlenmiştir. Bu olay seviyesi HC-O3 olarak isimlendirilmiştir.

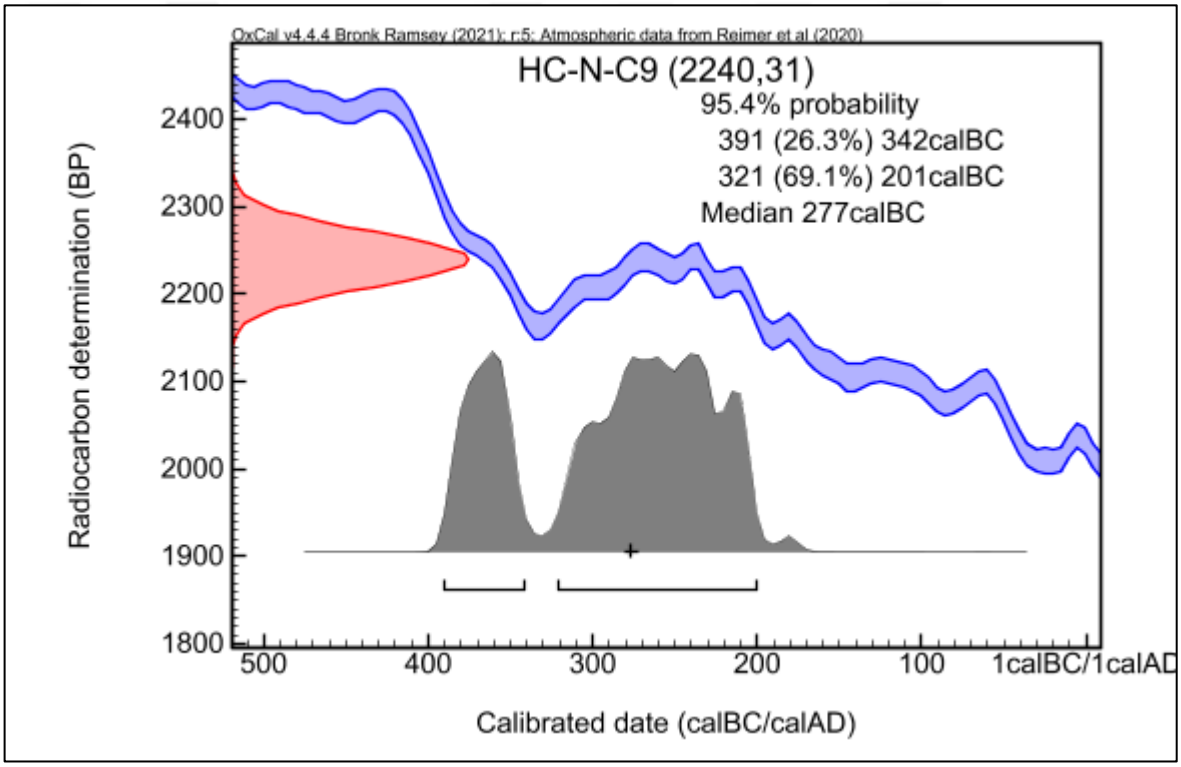
Tarihlendirme

Hendek içerisinden olay seviyelerinin hem altında hem de üzerinde bulunan litolojik seviyelerden alınan ve TÜBİTAK MAM AMS laboratuvarlarında analiz edilen 7 numunenin K-14 yaş aralıkları aşağıdaki tabloda verilmiştir. 1. Olay seviyesi olan HC-O1 için seviyenin altında kalan birim birim içerisinde alınan HC-N-C9 numunesinden elde edilen K-14 yaş aralığı (2σ) M.S.391-201'dir (Şekil 4.111). Olay seviyesinin üzerinde kalan alandaki litolojik seviyelerden alınan HC-N-C10 için K-14 yaş aralığı (2σ) M.S. 1047-1258 (Şekil 4.112), HC-S-C14 için K-14 yaş aralığı (2σ) M.S. 1039-1211'dir (Şekil 4.115). Bu deprem seviyesinin yaşı, elde edilen alt ve üst seviyelerdeki yaş aralığı içerisindedir (Şekil 5.1, Tablo 4.7). 2. Olay seviyesi olan HC-O2 için seviyenin altında kalan litolojiden elde edilen HC-S-C10 için K-14 yaş aralığı (2σ) M.S. 1445-1631 (Şekil 4.113), HC-S-C21 için K-14 yaş aralığı (2σ) M.S. 1458-1635 (Şekil 4.117), üst seviyelerinden elde edilen HC-S-C20 için K-14 yaş aralığı (2σ) M.S. 1456-1634 (Şekil 4.116), HC-N-C12 için K-14 yaş aralığı (2σ) M.S. 1456-1634'dır (Şekil 4.114). Bu deprem seviyesi alt ve üst birimlerden elde edilen yaş değerleri aralığındadır. 3. Olay seviyesi için alt birimden elde edilen HC-N-12 için K-14 yaş aralığı (2σ) M.S. 1456-1634'dır ve bu olay seviyesi günümüze kadar ulaşamayan eski bir depremi temsil eder (Şekil 5.1, Tablo 4.7).

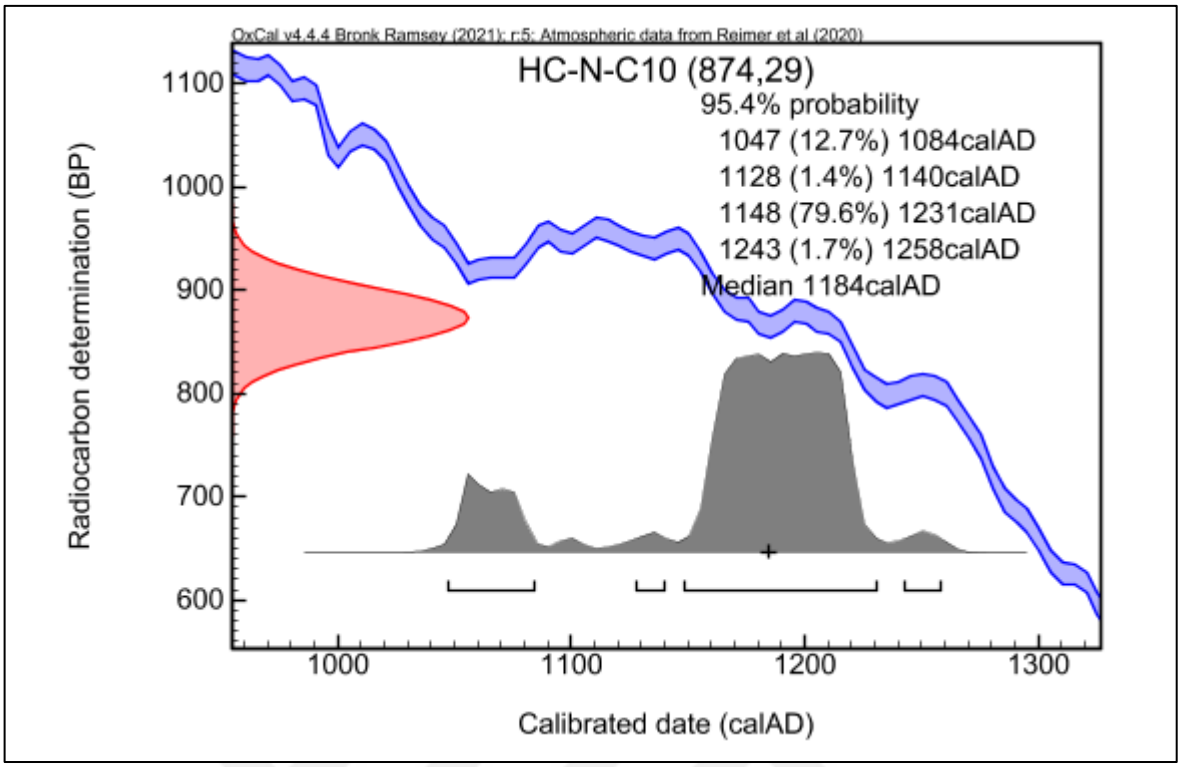
Elde edilen yaş verileri Oxcal v.4.4 (Ramsey, 2021) yazılımı kullanılarak Bayesian olasılık hesaplarına göre analiz edilmiştir. Buna göre , HC-O1 için olay seviyesi (2σ) M.Ö. 227 – M.S. 1184 tarih aralığında, HC-O2 için olay seviyesi M.S. 1495-1527 tarih aralığında ve HC-O3 için olay seviyesi M.S. 1514-günümüzdür (Şekil 5.1)

Tablo 4.7: Hacılar hendeğine ait Karbon-14 yaş tayini sonuçları.

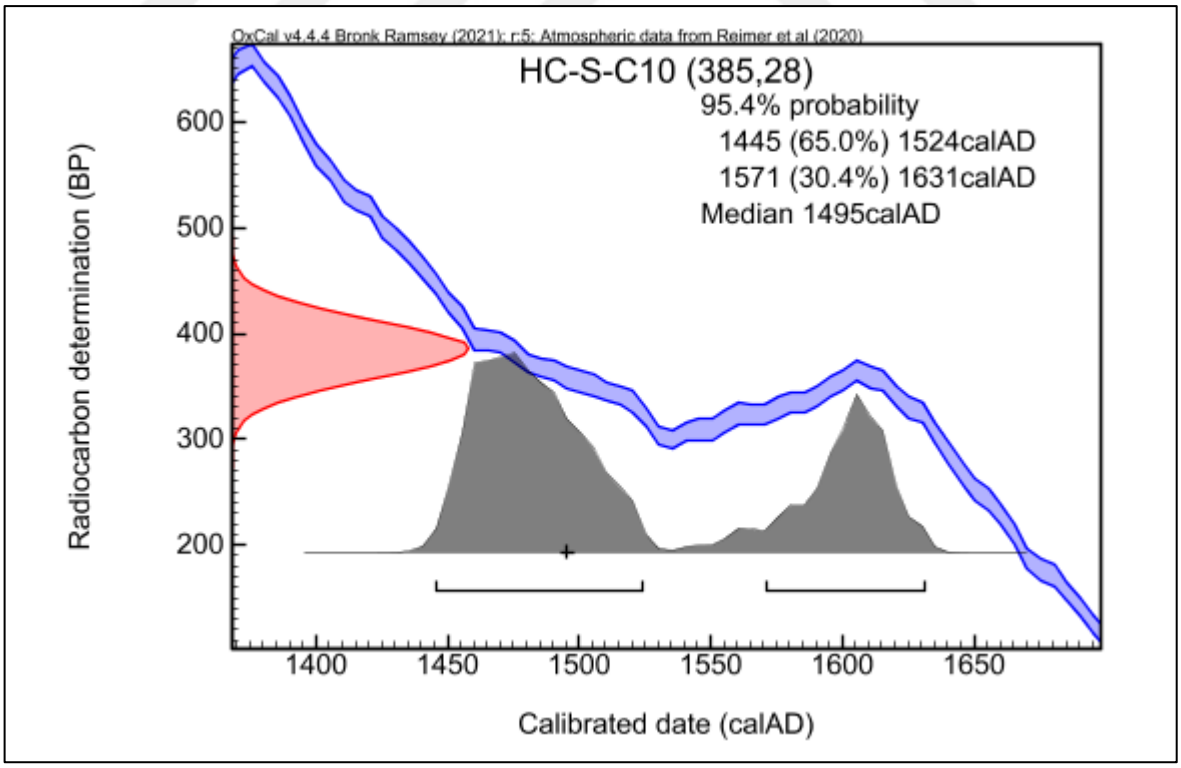
Örnek No	Lab.No	Malzeme	Karbon-14 Yaşı (BP)	Kalibre yaş (Takvim yaşı) (1σ)	Kalibre yaş (Takvim yaşı) (2σ)
HC-N-C12	TÜBİTAK-2326	Kömür	363 ± 26	M.S. 1470-1623	M.S. 1456-1634
HC-S-C20	TÜBİTAK-2323	Kömür	370 ± 26	M.S. 1460-1619	M.S. 1453-1632
HC-S-C21	TÜBİTAK-2320	Kömür	354 ± 30	M.S. 1477-1626	M.S. 1458-1635
HC-S-C10	TÜBİTAK-2321	Kömür	385 ± 28	M.S. 1455-1616	M.S. 1445-1631
HC-S-C14	TÜBİTAK-2322	Kömür	914 ± 31	M.S. 1046-1199	M.S. 1039-1211
HC-N-C9	TÜBİTAK-2324	Kömür	2240 ± 31	M.Ö. 381-210	M.Ö. 391-201-
HC-N-C10	TÜBİTAK-2325	Kömür	874 ± 29	M.S. 1163- 217	M.S. 1047-1258



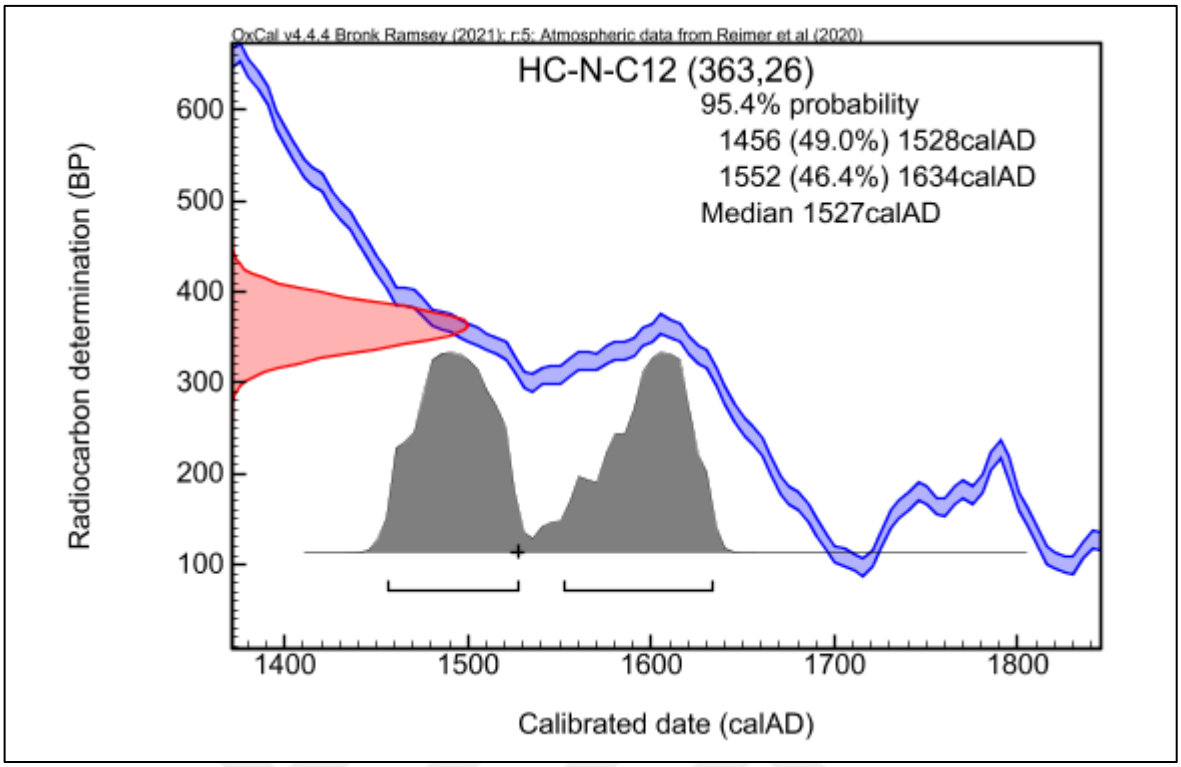
Şekil 4.111: Hacılar Hendeği kuzey duvarından alınan HC-N-C9 numaralı kömür parçasının kalibre edilmiş C-14 yaş tayini sonucu.



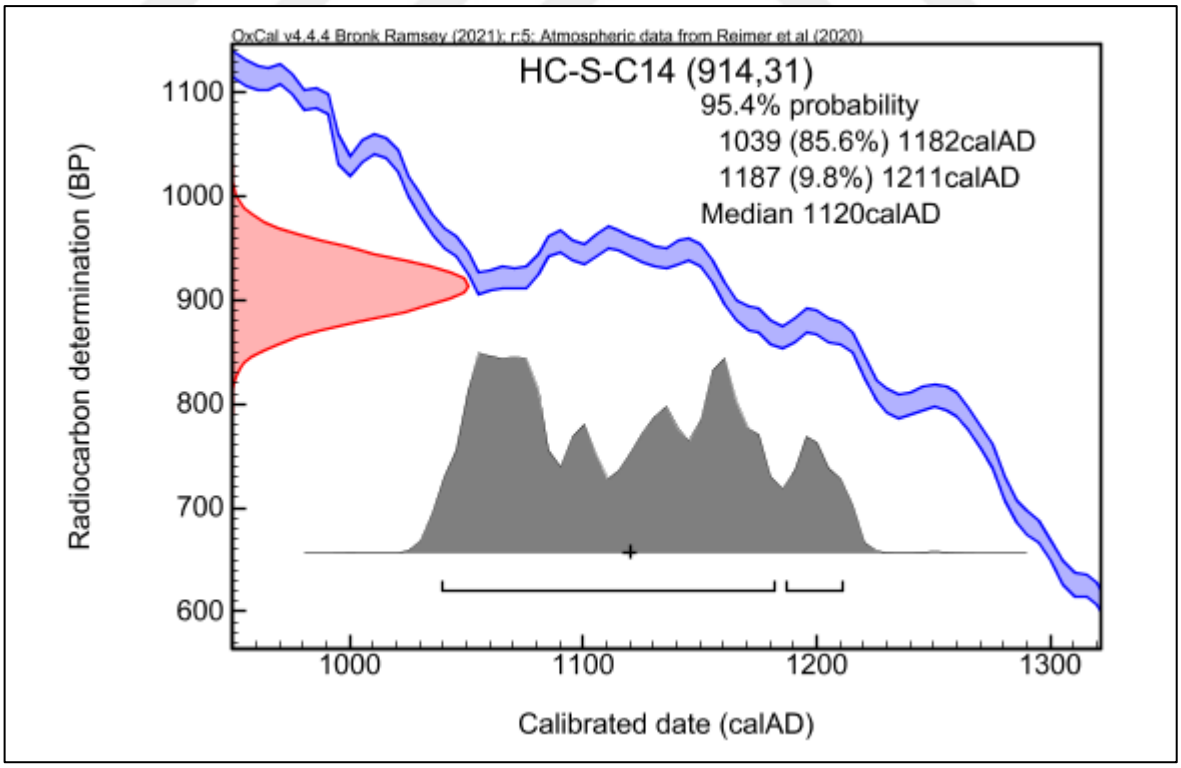
Şekil 4.112: Hacılar Hendeği kuzey duvarından alınan HC-N-C10 numaralı kömür parçasının kalibre edilmiş C-14 yaş tayini sonucu.



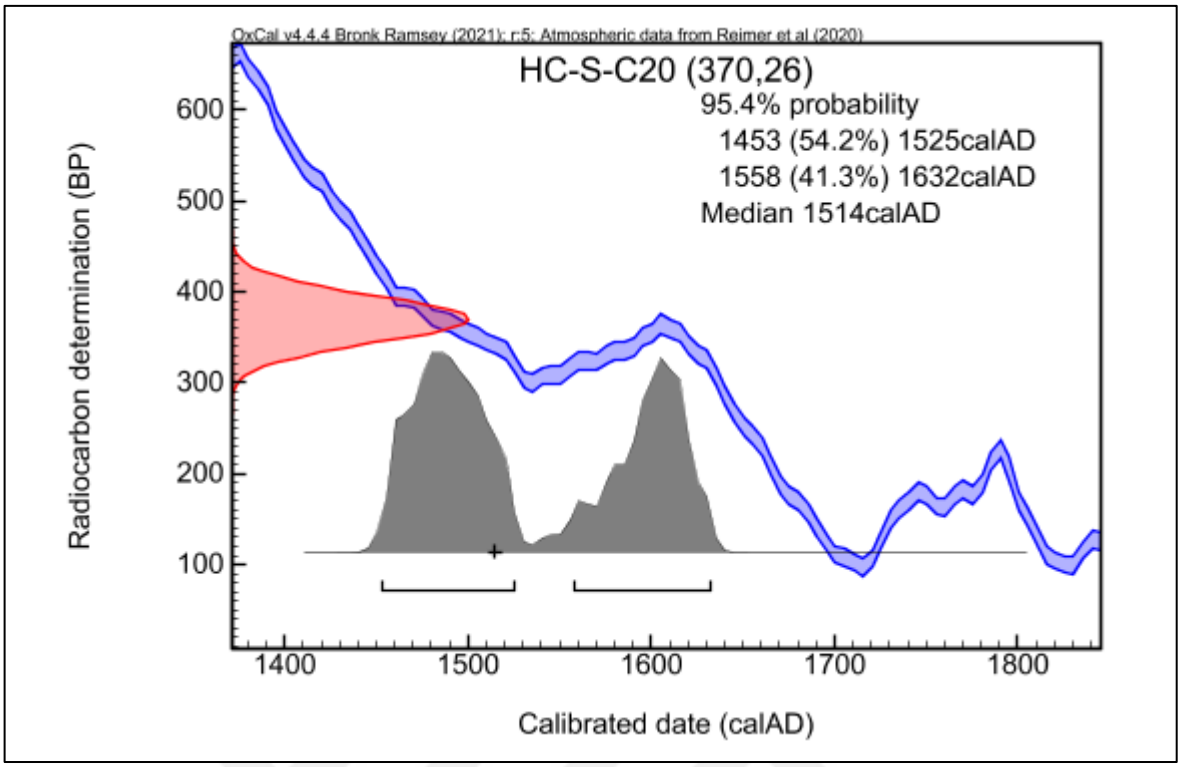
Şekil 4.113: Hacılar Hendeği güney duvarından alınan HC-S-C10 numaralı kömür parçasının kalibre edilmiş C-14 yaş tayini sonucu.



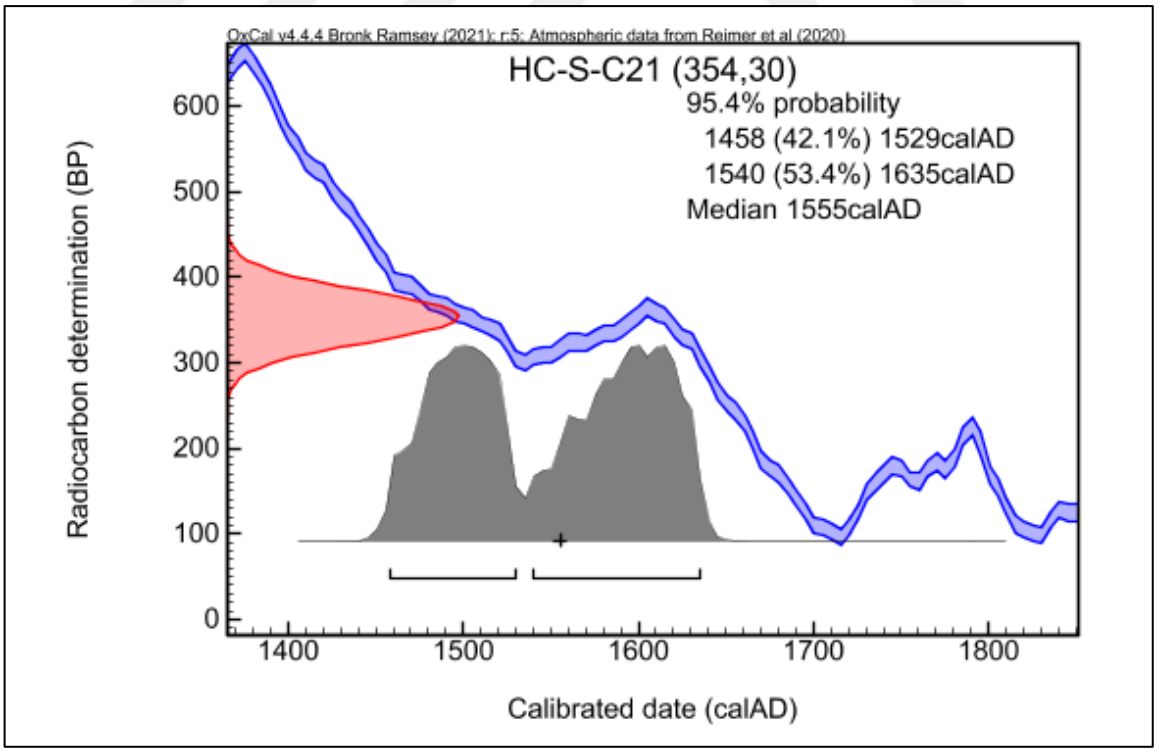
Şekil 4.114: Hacılar Hendeği kuzey duvarından alınan HC-N-C12 numaralı kömür parçasının kalibre edilmiş C-14 yaş tayini sonucu.



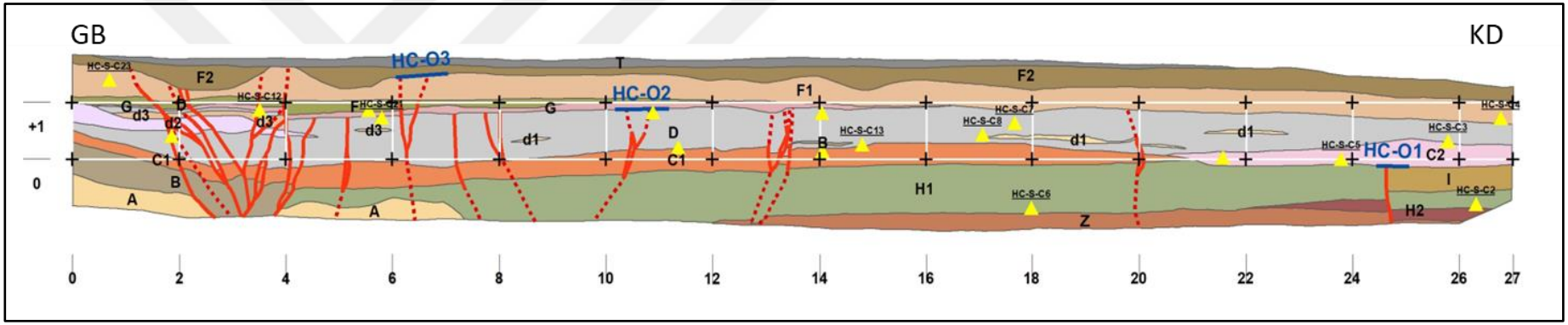
Şekil 4.115: Hacılar Hendeği güney duvarından alınan HC-S-C14 numaralı kömür parçasının kalibre edilmiş C-14 yaş tayini sonucu.



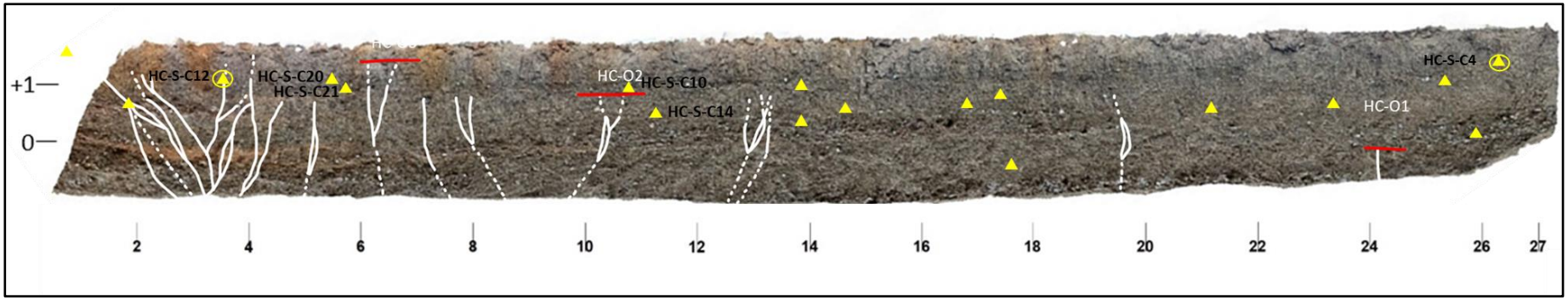
Şekil 4.116: Hacılar Hendeği güney duvarından alınan HC-S-C20 numaralı kömür parçasının kalibre edilmiş C-14 yaş tayini sonucu.



Şekil 4.117: Hacılar Hendeği güney duvarından alınan HC-S-C21 numaralı kömür parçasının kalibre edilmiş C-14 yaş tayini sonucu.



Şekil 4.118: Hacılar hendeği güneybatı duvarı logu. Mavi renkli çizgiler olay seviyelerini göstermektedir.



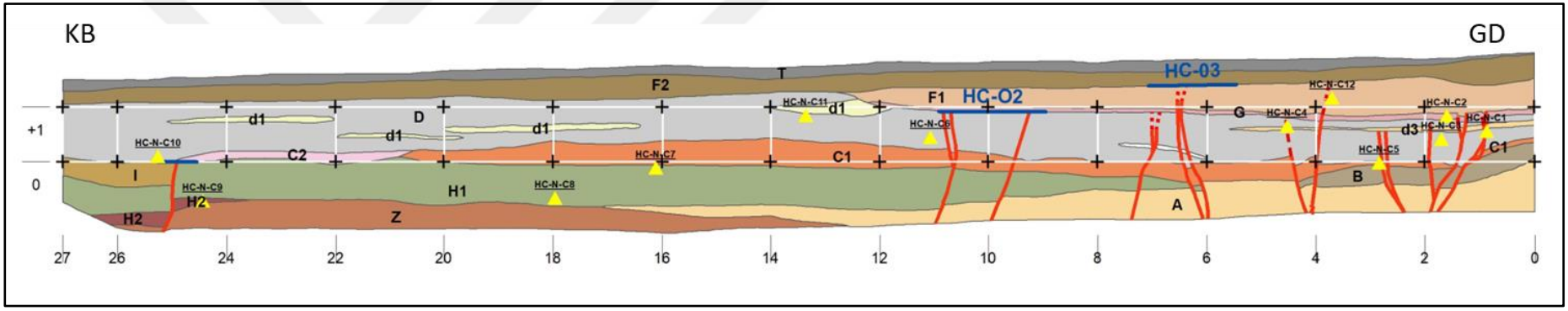
Şekil 4.119: Hacılar hendeği güneybatı duvarının fotomozoik görüntüsü. Sarı üçgen şekiller alınan karbon numunelerini göstermektedir. C-14 yaş tayini için laboratuvara gönderilmiş numunelerin kodları yanlarında yazmaktadır. Yuvarlak içerisindeki üçgenler henüz analiz sonuçları gelmeyen numunelerdir.



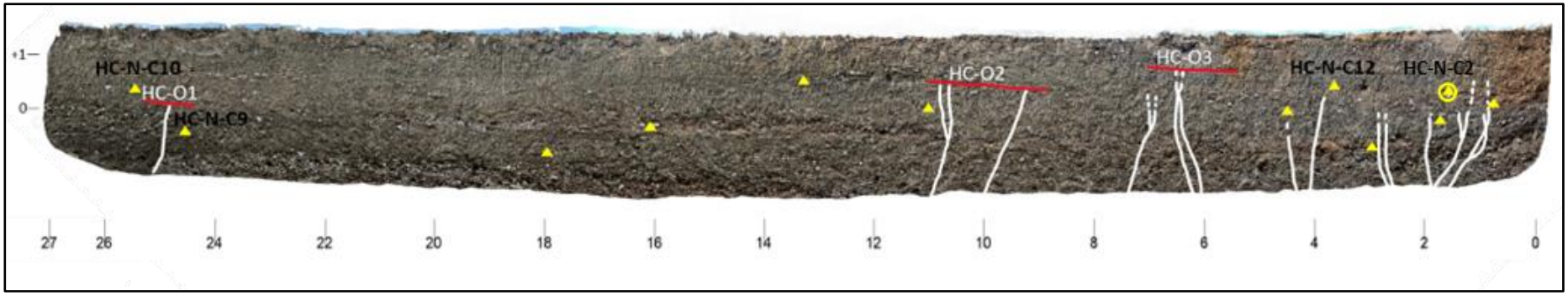
Şekil 4.120: Hacılar hendeği güneybatı duvarının 0-14 m arasında yakından görünümü.



Şekil 4.121: Hacılar hendeği güneybatı duvarının 18-27 m arasının yakından görünümü.



Şekil 4.122: Hacılar hendeği kuzeydoğu duvarı logu. Mavi renkli çizgiler olay seviyelerini göstermektedir.



Şekil 4.123: Hacılar hendeği kuzeydoğu duvarınınfotomozoik görüntüsü. Sarı üçgen şekiller alınan karbon numunelerini göstermektedir. C-14 yaş tayini için laboratuvara gönderilmiş numunelerin kodları yanlarında yazmaktadır. Yuvarlak içerisindeki üçgenler henüz analiz sonuçları gelmeyen numunelerdir.



Şekil 4.124: Hacılar hendeği kuzeydoğu duvarının 0-12 m arasının yakından görünümü.



Şekil 4.125: Hacılar hendeği kuzeydoğu duvarının 20-27 m arasının yakından görünümü.

4.7.2. Ilıca Hendeği

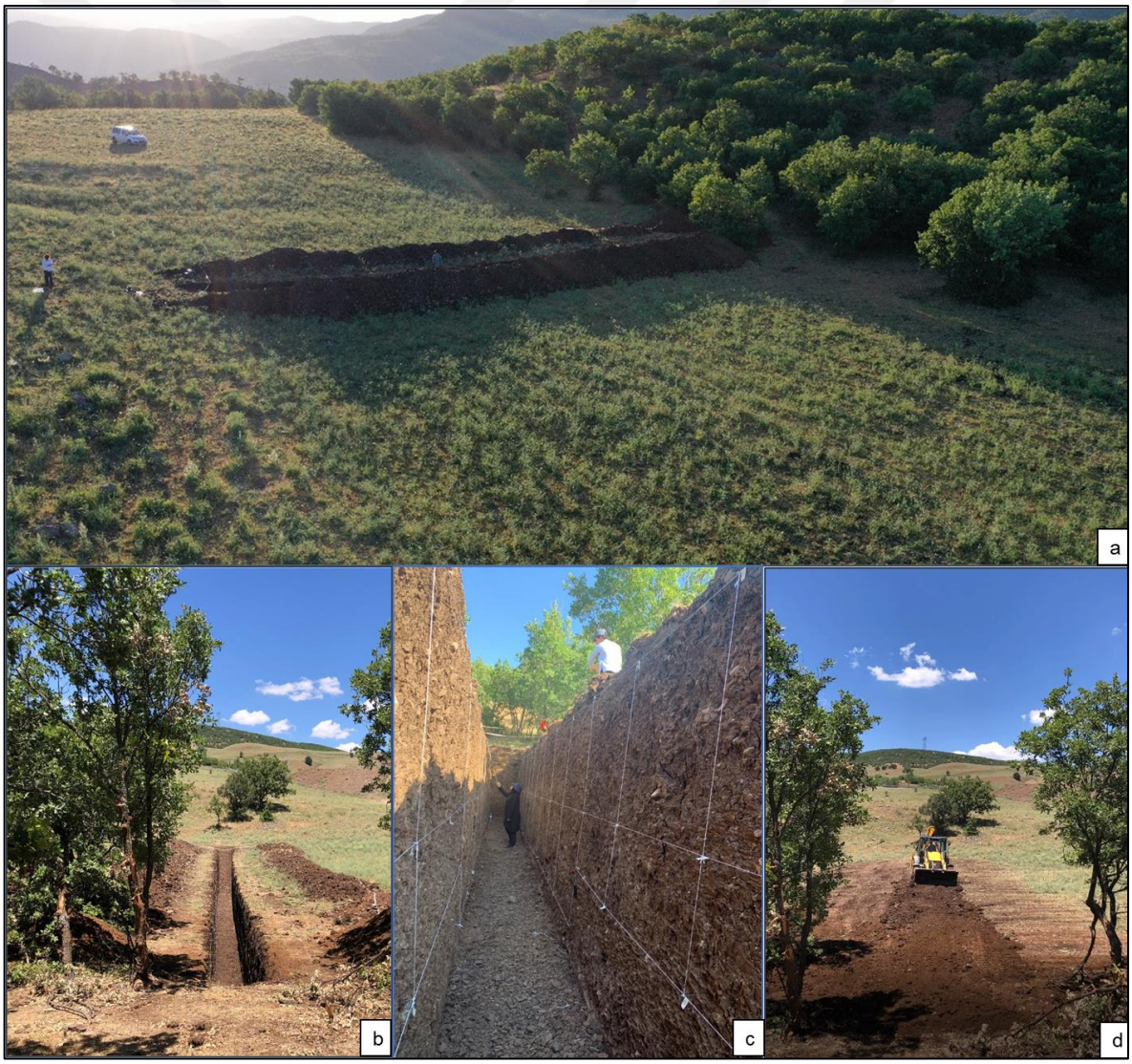
Ilıca Segmenti üzerinde, segmentin göreceli olarak dar bir deformasyon zonu oluşturduğu kesimlerden Ilıcalar köyünün güneyinde, fay zonu üzerinde gelişmiş bir çöküntü alanı içerisinde, uygun kolüvyal çökelimin varlığı ve fiziksel çalışma koşullarının sağlanabilirliği (iş makinesi ulaşımı, tarla sahibinin izni, vb.) göz önünde bulundurularak hendek lokasyonu belirlenmiştir (Şekil 4.126).

Bu lokasyonda K40°D doğrultuda uzanan faya dik yönde K50°B doğrultusunda bir hendek açılmıştır. Ilıca hendeği olarak adlandırılan hendek yaklaşık 40 m uzunluğunda ve 2,5 m derinliğindedir (Şekil 4.126). Hendek duvarları iş makinası izlerinden temizlenmiş, duvarlar şerit metre ve ip kullanılarak 1x1 ölçeğinde gridlenmiş, kılavuz seviyeler, stratigrafik ve yapısal ilişkiler belirlenerek renkli çiviler yardımıyla işaretlenmiş, her iki duvarda yapılan gözlemler milimetrik kağıt üzerinde hazırlanan loga aktarılmıştır (Şekil 4.127, Şekil 4.130). Fotomozaik görüntü oluşturulmak üzere her iki duvar da aşmalı olarak fotoğraflanmıştır (Şekil 4.128, Şekil 4.129, Şekil 4.131). C-14 yaş tayininde kullanılmak üzere güneybatı duvardan 5, kuzeydoğu duvardan 8 adet numune toplanmış ve çalışmalar sonrası hendek kapatılmıştır. Alınan numunelerden 7 adedi (ILC-N-K2, ILC-N-K4, ILC-N-K5, ILC-S-K1, ILC-S-K4, ILC-S-K5, ILC-S-K6) Almanya Kiel'de bulunan Leibniz Laboratuvarına analiz edilmek üzere gönderilmiştir.

Hendek Stratigrafisi

Ilıca hendeği içerisinde çoğunlukla ince taneli seviyeler gözlenmiştir. Hendeğin 7-10 metreleri arasında yer alan fay zonunun kuzeybatısı ve güneydoğusunda litolojik olarak birbirinden farklı seviyeler fay zonu boyunca yan yana gelmiştir. Fay zonunun kuzeybatı kesiminde, stratigrafik olarak en altta seyrek çakıllı, açık kahverengi bir kil seviyesi (birim Z) yer alır. Bu seviye üzerinde bir diğer kil seviyesi (birim A) fay zonundan itibaren kuzeybatıya doğru tüm hendek boyunca takip edilir. İçerisinde yaygın kaliş oluşumu izlenen A birimi, seyrek çakıllı kahverengi kil ile temsil edilir. Bu birimin üzerinde seyrek çakıllar içeren, koyu kahve renginde kil seviyesi (birim B) gözlenir. B birimi içerisinde yer yer kumlu çakıl mercekleri yer yer de kanal geometrisi sunan kumlu çakıl seviyeleri yer alır. Fay zonunun güneydoğusunda, stratigrafik olarak en altta bordo renkli bloklu ve çakıllı bir kil seviyesi (birim H) yer alır. Kuzeybatıya doğru bu seviye seyrek çakıllı bordo kil seviyesi (Birim K) ile örtülür. K birimi fay zonunda kesilerek sonlanır. H ve K birimleri 60-65 cm kalınlıkta izlenen çakıllı kahverengi bir kil paketi (birim G) ile örtülür. Bu birim içerisinde yer yer alacalı (pembemsi yeşilimsi)

kahverengi, içerisinde köşeli-yarı köşeli çakıllar bulunan siltli kil seviyeleri (birim g1 ve g2) mercekler oluşturur. Fay zonunda bu mercekler fay tarafından kesilmiştir. G birimi sarı renkte siltli kil seviyesi (birim I) ile örtülür. Bu seviye içerisinde yaygın kaliş oluşumu gözlenmiştir. Fay zonunun her iki tarafında yer alan bu seviyeler, tüm hendek boyunca D birimi ile örtülür. D birimi açık kahve renkte, seyrek çakıllı, kumlu kil ile temsil edilir. Bu birim, hendeğin kuzeybatısına doğru yer yer mercekler halinde yer yer de kanal geometrisinde kumlu çakıl seviyeleri içerir. D birimi üzerinde seyrek çakıllı kahverengi kil seviyesi (birim E) tüm hendek boyunca düzenli olarak izlenir. Hendek içerisinde gözlenen en genç stratigrafik seviye güncel toprak seviyesidir ve tüm hendek boyunca süreklilik gösterir (Şekil 4.127, Şekil 4.130, Tablo 4.8).



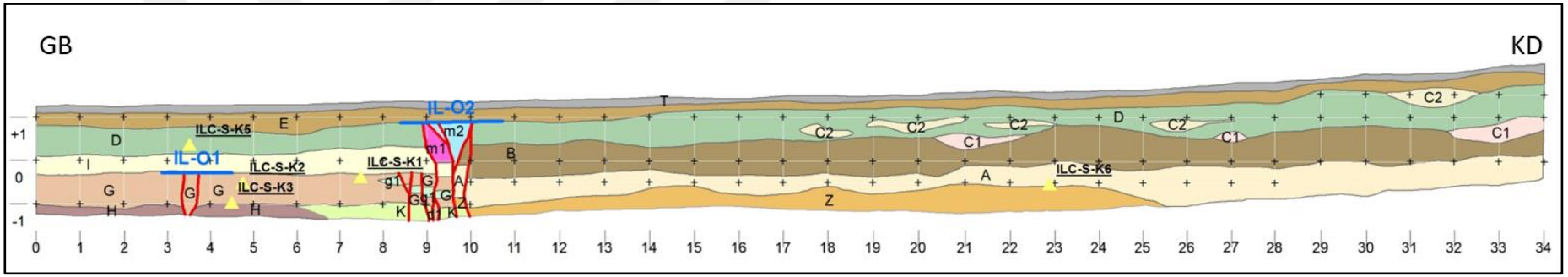
Şekil 4.126: a. Seçilen hendek yeri. b. Faya dik açılan hendek. c. Hendeğin genel görüntüsü. d. Hendeğin kapatılırken çekilen görüntüsü.

Tablo 4.8: Ilıca Hendeği içerisindeki litolojik seviyeler.

BİRİM	LİTOLOJİ
m1	Makaslanmış kil
m2	Makaslanmış siltli kil
m3	Makaslanmış kil
d1	Dolgu: bordo renkli kil
T	Güncel toprak
E	Seyrek çakıllı kahverengi kil
D	Seyrek çakıllı, kumlu açık kahverengi kil c2: Gevşek tutturulmuş kumlu çakıl
I	Sarı renkli siltli kil, yaygın kaliş oluşumu
G	Kahverengi, çakıllı siltli kil g1; g2: Alacalı (pembemsi yeşilimsi) kahverengi, içerisinde köşeli-yarı köşeli çakıllar bulunan siltli kil
K	Seyrek çakıllı bordo kil
H	Çakıllı bloklu bordo kil
B	Koyu kahverengi seyrek çakıllı kil. c1: kumlu çakıl
A	Açık kahverengi kil, seyrek çakıllı, yaygın kaliş oluşumu
Z	Seyrek çakıllı, açık kahverengi kil

Yapısal Unsurlar ve Olay seviyeleri

Ilıca hendeğinin 2-4 metreleri ve 7-10 metreleri arasında stratigrafik seviyelerin faylanma ile kesildiği ya da makaslandığı gözlenmiştir. Hendeğin kuzeydoğu duvarında H ve G birimleri farklı fay kolları tarafından kesilmiş ve bu kesimde faylanma nedeniyle gelişmiş, dolgu şeklinde bordo-kahverengi kil (d1) ayırt edilmiştir. Benzer bir dolgu (d1) güneybatı duvarda 9. metrede fay zonu içerisinde gelişmiştir. Bu faylanma izleri I birimi tarafından örtülmektedir. Kuzeydoğu duvarda fay zonu içerisinde makaslanmış bir kil oluşumu (m3) ve her iki duvarda da g1 ve g2 seviyelerini kesip öteleyen süreksizlikler I seviyesi altında kalmaktadır. Bu gözlemlere dayanarak I seviyesinin altı olay seviyesi olarak belirlenmiş ve IL-O1 olarak etiketlenmiştir. Hendeğin 7-10 metreleri arasında gözlenen faylar E birimi altında kalan tüm birimleri kesmiş ve bunun neticesinde ya birimlerin yanal devamı sona ermiş ya da düşey yönde ötelenme (ayrılma) gelişmiştir. Her iki duvarda da fay zonu içerisinde makaslanmış kil (m1 ve m2) gözlenmiştir. Bu gözlemlere dayanarak E biriminin altı olay seviyesi olarak belirlenmiş ve IL-O2 olarak etiketlenmiştir (Şekil 4.127, Şekil 4.128, Şekil 4.130, Şekil 4.131).



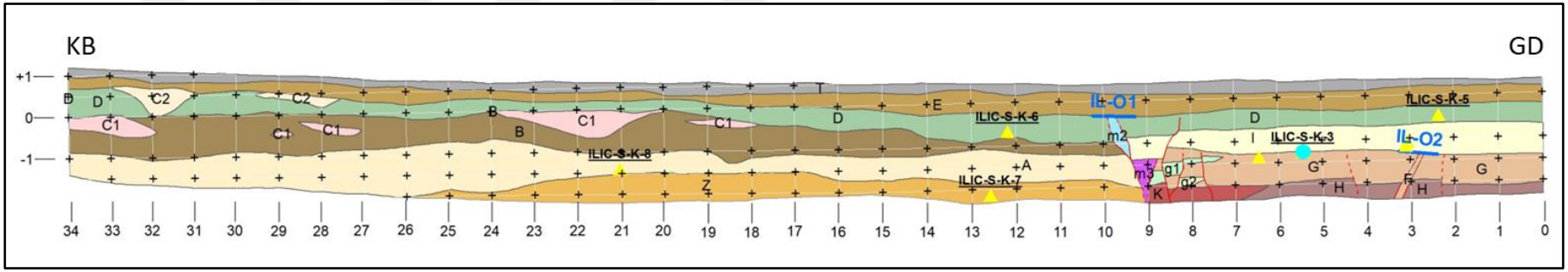
Şekil 4.127: Ilıca hendeği güneybatı duvarının logu. Mavi renkli çizgiler olay seviyelerini, sarı üçgenler ise C-14 yaş tayini analizi için alınına örnek lokasyonlarını göstermektedir.



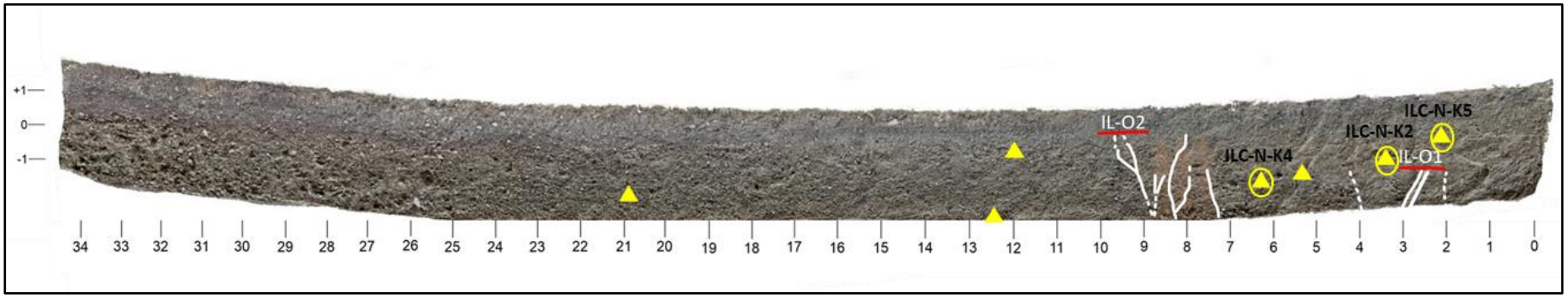
Şekil 4.128: Ilıca hendeği güneybatı duvarının fotomozaik görüntüsü. Sarı üçgen şekiller alınan karbon numunelerini göstermektedir. Yuvarlak içerisindeki üçgenler C-14 yaş tayini için gönderilmiş ancak henüz analiz sonuçları gelmeyen numunelerdir.



Şekil 4.129: Ilıca hendeği güneybatı duvarının 0-14 m arasının yakından görünümü.



Şekil 4.130: Ilıca hendeği kuzeydoğu duvarının logu. Mavi renkli çizgiler olay seviyelerini, sarı üçgenler ise C-14 yaş tayini analizi için alınına örnek lokasyonlarını göstermektedir.



Şekil 4.131: Ilıca hendeği kuzeydoğu duvarından hazırlanan fotomozaik görüntüsü. Sarı üçgen şekiller C-14 yaş tayini analizi için alınan numunelerin konumunu göstermektedir. Yuvarlak içerisindeki üçgenler C-14 yaş tayini için gönderilmiş ancak henüz analiz sonuçları gelmeyen numunelerdir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Anadolu Levhası'nın Arap Levhası ile Bitlis Zagros Kenet Kuşağı boyunca çarpışması ve kuzeyinde yer alan Avrasya Levhası ile güneyinde yer alan Arap Levhası arasında sıkıştırılmasıyla başlayan sıkışmalı tektonik rejim, Anadolu Levhasının, DAFZ ve KAFZ boyunca kırılarak batıya hareketi ve Afrika Levhası'nın Helen Yayının altına dalmasından kaynaklanan güneybatıya olan geri çekme (slab-pull) hareketinin de etkisiyle sıkışmalı tektonik rejim yerini kaçma tektonik rejimine bırakmıştır (Şengör ve diğ., 1980).

DAFZ sol yanal doğrultu atımlı transform bir faydır. Kuzey ucu Karlıova'dan başlayan DAFZ'nun güneye uzanımı hakkında iki farklı görüş vardır. Araştırmacıların bir kısmı DAFZ'nu Kahramanmaraş güneyinde sonlandırıp daha güneyde yer alan Ölü Deniz Fayı'ndan ayırırken (McKenzie 1976; Gülen ve diğ., 1987; Karig ve Kozlu, 1990; Perinçek ve Çemen, 1990; Westaway ve Arger, 1996; Westaway, 2003; Khalifa ve diğ., 2018), bir kısmı ise DAFZ'nun Kahramanmaraş güneyinde ilerlediği ve Ölü Deniz Fayı ile birleşerek Kıbrıs yayı boyunca geniş bir zon halinde devam ettiğini savunmaktadır (Arpat ve Şaroğlu, 1972, 1975; Şaroğlu ve diğ., 1992, Duman ve Emre, 2013). Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca bir çok farklı segment tanımlanmıştır (Arpat ve Şaroğlu, 1972; Şaroğlu ve diğ., 1992a; 1992b; Herece, 2008, Duman ve Emre, 2013; Emre ve diğ. 2013). Bu segmentler üzerinde tarihsel ve aletsel dönem içerisinde önemli depremler (Arpat, 1971; Seymen ve Aydın, 1972; Güçlü ve diğ., 1986; Ambraseys, 1988; Taymaz ve diğ., 1992; Tan ve diğ., 2011, AFAD, KOERI) meydana gelmiştir. Daha önce, Karlıova Segmenti ile birlikte değerlendirilen Ilıca Segmenti, 22 Mayıs 1971'de meydana gelen M_s=6.7 büyüklüğündeki deprem nedeniyle kendi sınırları içerisinde yüzey kırığı oluşturduğu ileri sürülerek Karlıova Segmenti'nden ayrılmıştır (Seymen ve Aydın, 1972; Arpat, 1971; Nalbant, 2005; Herece, 2008; Duman ve Emre, 2013).

Bu çalışmada DAFZ, Karlıova'dan Kahramanmaraş'ın güneyine kadar yaklaşık 450 km olarak KD'dan GB'ya doğru Karlıova, Ilıca, Palu, Pütürge, Erkenek ve Pazarcık olmak üzere 6 segment olarak ele alınmıştır.

Ilıca segmenti Bingöl havzası kuzeydoğu kesiminden Göynük köyü batısına kadar, çoğunlukla Göynük vadisi yakın kesimlerinde, yaklaşık 35 km boyunca K45°-50°D doğrultusunda izlenir.

Ilıca Segmenti boyunca, Permiyen'den Kuvaterner'e kadar değişen yaşlarda kayaç toplulukları yüzeyler. Şist ve mermer ardalanmasından oluşan Permo-Triyas yaşlı Bitlis Metamorfikleri temel kayaları oluşturur. Bitlis Metamorfikleri, Geç Miyosen-Pliyosen karasal çökeller ve volkanikler içeren Solhan Volkanitleri tarafından uyumsuzluk ile örtülür. Solhan Volkanitlerinin içerdiği zayıf derecede alkali volkanikler Doğu Anadolu Bölgesi'nde neotektonik dönemin ilk volkanizma ürünleri olarak yorumlanırlar (Şaroğlu ve Yılmaz, 1984; Yılmaz ve diğ., 1987). Solhan Volkanitleri üzerinde tabakalı, teras tipi ve sırt tipi travertenler yüzeylemektedir. Hacılar Köyü güneybatısında görülen sırt tipi travertenlerde ÇolakErol ve diğ. (2015) tarafından yapılan U-Th yaş tayini sonuçlarına göre traverten sırtının kuzeydoğu ucundan elde edilen Holosen yaşı güneybatı ucuna doğru gençleşerek günümüze kadar gelmektedir. Alüvyon, yamaç molozu, alüvyal yelpaze ve taraçalardan oluşan Kuvaterner çökelleri bölgede yüzeyleyen en genç çökelleridir.

Ilıca segmenti üzerinde yapılan gözlemler, iyi gelişmiş bir doğrultu atımlı fay sisteminde gelişen sintetik ve antitetik kırıkların (Riedel kırıkları) çalışma alanı içerisinde izlendiğini göstermektedir. DAFZ'na konjugat gelişen fayların baskın doğrultusu K20°B'dır ve DAFZ'nun antitetik kırıklarını temsil etmektedir. Hacılar köyü güneybatısında DAFZ ile yaklaşık 10 derecelik açıya sahip sintetik faylar da gözlenmiştir. Bu fay düzlemlerinden çıkan sular 5 bin yıldır ÇolakErol ve diğ. (2015) oluşumu devam eden sırt tipi travertenlerdir (Şekil 4.43).

Segmentin orta kesimlerinde, Alatepe'nin doğusunda gözlenen travertenler DAFZ tarafından kesilmiş ve sonrasında traverten çökelimi devam etmiştir. Aynı alanda konjugat faylar tarafından kesilen travertenlerde faylanma sonrası traverten çökelimi gözlenmemiştir. Hacılar köyü güneydoğusunda ve Sudurağı köyü civarında kesen kesilen ilişkisi göz önünde bulundurulduğunda DAFZ'na konjugat gelişmiş fayların göreceli olarak DAFZ'nun ilişkili kollarından genç olduğu söylenebilir.

Bingöl Havzası'ndan Karlıova'ya kadar 35 km boyunca devam eden Ilıca Segmenti, GB ve GD kesimlerinde farklı kollar halinde, yer yer 1,5 km genişliğe varan bir deformasyon zonu halinde, Göynük Vadisi boyunca ise dar bir deformasyon zonu olarak izlenir. Segment boyunca doğrultu atımlı fay morfolojisinin en iyi örneklerinden olan uzamış sırtlar, çöküntü alanları, fay gölcükleri, oluk yapıları ve çizgisel vadiler net bir şekilde görülmüştür. Göynük Çayı boyunca farklı seviyelerde taraça basamakları oluşmuş ve segmentin özellikle KD'sunda olmak üzere

segment boyunca Solhan Volkanitleri içerisinde oldukça yoğun bir şekilde heyelan oluşumları gözlenmiştir.

Yapılan saha gözlemleri, oluşturulan jeoloji haritaları ve sayısal yükseklik modellerinde yapılan çalışmalar doğrultusunda segment içerisinde sol yönlü 3 farklı ötelenme değeri ölçülmüştür.

Oluşturulan jeoloji haritasındaki birim sınırlarına göre Bitlis Metamorfitleri'nde ~14,5 km sol yanal ötelenme ölçülmüştür (Şekil 4.69). Bu ötelenme daha önceki çalışmalarda Herece ve Akay (1992) tarafından 13 km, Seymen ve Aydın (1972) ve Herece (2008) tarafından 15 km, Duman ve Emre tarafından 17 km, Arpat ve Şaroğlu (1972) ve Dewey ve diğ. (1986) tarafından 22 km olarak ölçülmüştür.

Sayısal yükseklik modelleri üzerinde yapılan çalışmalar ve sonrasında gerçekleştirilen arazi kontrolleri sonucu. Yenibaşlar Köyü doğusunda, hem Yenibaşlar Dere'de hem de bu bölgede haritalanmış yamaç molozunda 225 m sol-yanal ötelenme ölçülmüştür. Yenibaşlar Dere'nin yatağında 82 m sol-yanal ötelenme ve bu ötelenmeden dolayı dere ağzında bir kapan sırtı gelişmiştir. (Şekil 4.70).

Ilıca segmenti ve yakın civarının jeomorfolojik özellikleri ve morfolojik evrimini araştırma amacıyla morfometrik analizler yapılmıştır. Bu amaçla, Hipsometrik Eğri ve İntegral (HI), Asimetri Faktörü (AF) ve Dere Boy-Gradyan (SL) indisleri hesaplanmıştır (Tablo 5.1).

Havza genelinden elde edilen hipsometrik eğriler S şekillidir ve hipsometrik integral değeri 0,46. Bu değerler havzanın aşınım evresinin olgunluk döneminde olduğunu göstermektedir. Ancak alt havzalarda yapılan hipsometrik analizlerde, 4, 5, 6, 7 ve 16 numaralı havzalarda hesaplanan yüksek hipsometrik integral değerleri bu havzaların daha genç evrede olduğunu işaret eder.

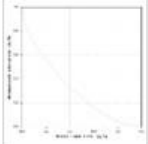
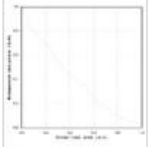
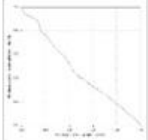
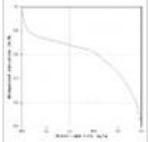
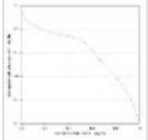
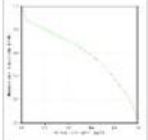
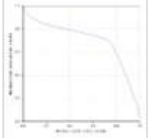
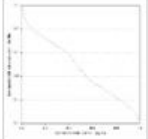
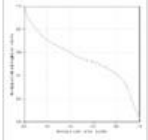
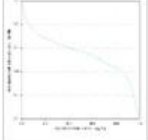
Havza asimetri indisi hesaplamalarının sonuçlarına göre, DAFZ'nun dar deformasyon zonu izlediği kesimlerde (3,4,5,7 ve 8 numaralı havzalar) havzalar simetriktir. Segmentin KD kesimlerinde ise havza asimetrisinin arttığı dikkat çeker.

Gerçekleştirilen SL indis hesaplamalarına göre, segmentin GB kesiminde 1, 2, 3, 17, 18, 19 ve 20 numaralı havzalarda SL indis değerleri 91,2 ile 994,67 arasındadır. Dayanımı düşük bu litolojide SL değerlerinin göreceli düşük ve birbiriyle uyumlu olması olasıdır. Bu havzalarda görülen anomali değerleri çoğunlukla heyelan alanlarını temsil etmektedir . 4 numaralı havza

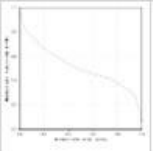
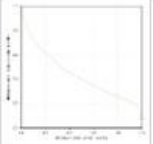
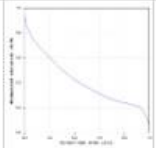
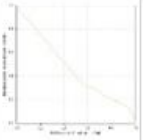
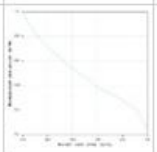
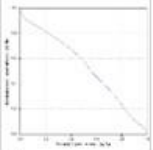
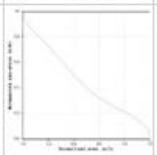
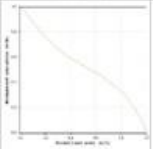
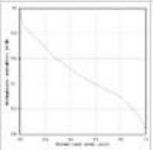
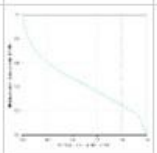
dayanımlı ve dayanımsız iki farklı litolojiyi barındırmasının yanı sıra egemen litoloji Solhan Volkanitleridir. 5 ve 6 numaralı havzalarda hakim litolojiyi dayanımı yüksek kayaçlar oluşturur. Yüksek SL değerleri bu litolojiye uygundur ancak her iki havzada da SL değerlerinde ani azalma izlenmektedir. 7 numaralı havzada da diğer havzalarla benzer SL değerinde ani düşüş gerçekleşmiştir. Bu 4 havzada gelişen anomolilerin doğrusal oluşu doğrudan Ilıca segmentinin varlığı ile ilişkilendirilebilir. Segmentin KD kesiminde 8, 9, 10, 11 ve 12 numaralı havzalarda litolojiye bağlı olarak düşük SL değerleri gözlenir. Ancak bu havzaların havza çıkış noktasına yakın alanlarında, gelişen havza asimetrisine pararel anomali değerleri tektonik süreksizlikleri işaret etmektedir. 13 numaralı havzada düşük seyreden SL değerleri KAFZ ve DAFZ'nun kesiştiği alanda artış göstermektedir. 14 ve 15 numaralı havzalarda SL değerlerindeki değişimin nedeni mevcut heyelanlardır. 16 numaralı havzada 1600-2000 m kotları arasında yükselen SL değerleri o alanda izlenen litolojik değişimden kaynaklanmaktadır.

Morfometrik indis çalışmalarının geneline baktığımızda DAFZ'nun batısında kalan havzalarda tektonik etkinin, erozyonal etkiden daha fazla olduğu ve havzada yükselme ve gençleşmenin görüldüğü söylenebilir. Hipsometrik integral ve SL indis değerlerine göre tektonik etkilerle görülen gençleşmenin havza asimetrisine yansımaması o havzalarda gerçekleşen sol yönlü makaslama ile ya da havza eksenlerinin Ilıca segmentine paralel olması ile açıklanabilir.

Tablo 5.1: Morfometrik analiz sonuçlarının birarada gösterimi.

	HİPSOMETRİK İNTEGRAL VE EĞRİ			ASİMETRİ FAKTÖRÜ			DERE BOY-GRADYAN İNDİSİ
HAVZA NO	HI	HC	Grafik	Ar (km2)	At (km2)	AF	SL
1	0,307	KONKAV		21	28	75	409,12
2	0,391	KONKAV		6	16	37,5	511,24
3	0,459	S ŞEKİLLİ		5	10	50	450,15
4	0,598	KONVEKS		63	110	57,27	489,28
5	0,612	KONVEKS		13	27	48,14	849,54
6	0,599	KONVEKS		15	34	44,11	849,85
7	0,707	KONVEKS		5	10	50	501,21
8	0,471	S ŞEKİLLİ		3	6	50	237,07
9	0,552	S ŞEKİLLİ		2	7	28,57	273,94
10	0,554	S ŞEKİLLİ		3	9	33,33	544,38

Tablo 5.1 (devam)

11	0,519	S ŞEKİLLİ		6	29	20,69	485,4
12	0,439	KONKAV		55	123	44,71	521,08
13	0,415	KONKAV		338	488	69,26	446,25
14	0,465	KONKAV		32	40	80	499,33
15	0,49	S ŞEKİLLİ		7	9	77,77	376,14
16	0,534	KONVEKS		4	11	36,36	641,18
17	0,453	KONKAV		2	7	28,57	313,69
18	0,539	S ŞEKİLLİ		3	5	60	309,85
19	0,477	S ŞEKİLLİ		3	10	30	298,19
20	0,432	S ŞEKİLLİ		115	158	72,78	224,19

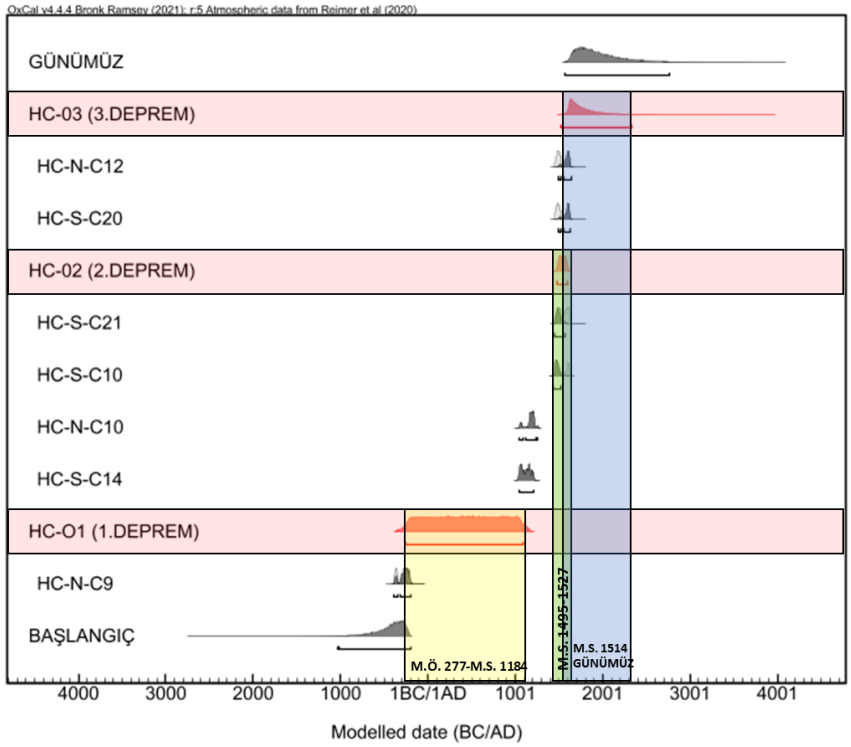
Hacılar Köyü'nde faylanmış yamaç molozu çökelleri içerisinden alınan OSL örneklerinin analiz sonuçları çökelin yaşının Holosen dönemine ait olduğunu göstermektedir. Numunelerden elde edilen sonuçlara göre fayın yaşı 7-10 bin yıl arasındadır.

Doğu Anadolu Fay Zonunun GB ve KB kesimlerinde aktif tektonik yöntemlerle (ör: paleosismoloji, morfometri, sismoloji, blok modelleme) gerçekleştirilmiş araştırmalar (Taymaz ve diğ., 1991; Çetin, 2003; Yönlü ve diğ., 2013; 2017; Duman ve Emre, 2013; Khalifa, 2018; Şentürk ve diğ., 2019, Hubert-Ferrari ve diğ., 2020) bulunmaktadır. Ancak DAFZ'nun KD kesimlerinde, özellikle Bingöl civarında, segmentlerin deprem tarihçesi ve morfolojik analizi ile ilgili bir çalışma literatürde yer almamaktadır. Bu tez çalışması kapsamında Ilıca segmenti üzerinde yapılmış olan paleosismolojik çalışmalar, Bingöl KD'sunda DAFZ üzerinde gerçekleştirilen ilk paleosismolojik çalışmalardır.

Uzaktan algılama ve arazi gözlemleri ile yapılan haritalama temel alınarak, DAFZ'nun göreceli olarak en genç fay kolları üzerinde, iki farklı lokasyonda (Hacılar ve Ilıca lokasyonları) paleosismolojik hendek çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Hacılar köyü gümeyinde bir oluk yapısı içerisinde açılan Hacılar Hendeği'nde 3 farklı olay seviyesi tespit edilmiş ve gençten yaşlıya doğru HC-01, HC-O2 ve HC-O3 olarak etiketlenmiştir. Ilıcalar köyü güneybatısında bir depresyon alanında açılan Ilıcalar hendeğinde ise iki farklı olay seviyesi belirlenmiş ve IL-O1 ve IL-O2 olarak etiketlenmiştir. Belirlenen olay seviyelerinin yaşlandırılabilmesi için her iki hendekten de Karbon-14 yaş tayini analizine uygun örnekler alınıp TÜBİTAK MAM AMS ve Kiel- Christian Albrechts AMS laboratuvarlarına analiz edilmek üzere gönderilmiştir.

TÜBİTAK-MAM-AMS laboratuvarlarında analiz ettirilen, Hacılar hendeğine ait 7 örneğin sonuçları tez çalışması esnasında alınmıştır. Daha fazla sayıda yaş tayini analizi devam etmekte olup, henüz sonuçları alınmadığından, Hacılar hendeğine ait 7 adet numunenin sonuçlanan yaş analizine göre hendek çalışmaları değerlendirilmiştir. Elde edilen yaş verileri Oxcal v.4.0.5 (Ramsey ve Lee, 2013) yazılımı kullanılarak Bayesian olasılık hesaplarına göre analiz edilmiştir. Buna göre , HC-O1 için olay seviyesi (2σ) M.Ö. 227 – M.S. 1184 tarih aralığında, HC-O2 için olay seviyesi M.S. 1495-1527 tarih aralığında ve HC-O3 için olay seviyesi M.S. 1514-günümüzdür (Şekil 5.1).

İncelenen tarihsel deprem kataloglarında HC-O1 olay seviyesi ile aynı tarih aralığında 10 farklı deprem yer almaktadır. HC-O2 ve HC-O3 için elde edilen tarih aralığı içerisinde, oluşturulan deprem kataloğunda eşleşen herhangi bir deprem kaydına rastlanmamıştır.



Şekil 5.1: Hacılar hendeğinden elde edilen C-14 yaş tayini sonuçlarının Bayesian analizi ile elde edilen olay seviyelerinin iki sigma (2σ) tarih aralıkları.

Hem Ilıca Hendeği hem de Hacılar Hendeği için elde edilecek yeni yaş verileri bir arada değerlendirildiğinde, Ilıca segmentinin deprem geçmişi daha iyi anlaşılabilecektir. Bölgedeki deprem tarihçesinin daha net ortaya konulabilmesi için, komşu segmentlerde, özellikle Ilıca segmentinin kuzeydoğu devamında yer alan Karlıova segmentinde gerçekleştirilecek gelecek paleosismoljik hendek çalışmaları önemli bir yer tutacaktır. Son yıllarda sıklıkla yıkıcı depremlerin meydana geldiği DAFZ üzerinde güncel aktif tektonik yöntemler kullanılarak veri toplanması, bilgiye dayalı kentsel planların yapılabilmesi açısından ciddi bir gereksinimdir.

KAYNAKLAR

[1]AFAD, TC Başbakanlık Afet ve Acil Durun Yönetimi Başkanlığın Deprem Dairesi Başkanlığı, http://www.deprem.gov.tr

[2]Aitken, M.J, 1998., An Introduction to Optical Dating. The Dating of Quaternary Sediments by the Use of Photon-Stimulated Luminescence. Oxford University Press.Oxford, New York, Tokyo ISBN 19, 854092, 2

[3]Akay, E., Erkan, E., Ünay, E., 1989, Muş Tersiyer Havzasının Stratigrafisi, MTA Dergisi, Ankara, Türkiye, 109, 9-76.

[4]Aktuğ, B., Özener, H., Doğru, A., Sabuncu, A., Turgut, B., Halıcıoğlu, K., Yılmaz, O., Havazlı, E., 2016, Slip rates and seismic potential on the East Anatolian Fault System using an improved GPS velocity field, Journal of Geodynamics, 94-95, 1-12.

[5]Akyüz, H.S., Altunel, E., Karabacak, V., Yalçıner, C.C., Historical earthquake activity of the northern part of the Dead Sea Fault Zone, southern Turkey, Tectonophysics, 426, 281-293.

[6]Alçiçek, M.C., Kazancı, N., Özkul, M., 2005, Multiple Rifting Pulses ve Sedimentation Pattern in the Çameli Basin, Southwestern Anatolia, Turkey, Sedimentary Geology, 173, 409-431.

[7]Allen, C.R., 1969, Active faulting in northern Turkey, Division of Geological Sciences, California Institute of Technology, 1577, 32.

[8]Alpar, B. ve Çizmeci, S., 1999, İzmit Körfezi'ndeki 17 Ağustos Kocaeli Depremi ardından Gemlik Körfezi Deprem Çekincesinin Değerlendirmesi, Turkish J. Marine Sciences, 5, 149-166.

[9]Alpar, B. ve Yaltırak, C., 2002, Characteristic features of the North Anatolian Fault in the eastern Marmara region and its tectonic evolution, Marine Geology,190, 329-350.

[10]Altunel, E. ve Karabacak, V., 2005, Determination of Horizontal Extension from Fissure-Ridge Travertines a Case Study from the Denizli Basin, Southwestern Turkey, Geodinamica Acta, 18, 333–342.

[11]Altunel, E., Hancock, P. ve Smart, P., 1994, Morphological Attributes of Pamukkale Travertines and Their Relationship to Active Tectonic Stretching, 47. Türkiye Jeoloji Kurultayı Özeti, Ankara, Türkiye.

[12]Ambraseys, N.N., 1970, Some characteristic features of the Anatolian fault zone, Tectonophysics, 9, 143-165.

[13]Ambraseys, N. N. ve Jackson, J. A., 1998, Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region, Geophysical Journal International, 133, 390-406.

[14]Ambraseys, N.N. ve Finkel, C.F., 1987, Türkiye'de ve Komşu Bölgelerde Sismik Etkinlikler, Tübitak Yayınları, Ankara.

[15]Ambraseys, N.N., 1988, Engineering seismology, Earthquake Engineering & Structural Dynamics 17, 51-105.

[16]Ambraseys, N.N., 2009, Earthquakes in the Mediterranean and Middle East: a multidisciplinary study of seismicity up to 1900, Cambridge University Press, London. and kinematics. Comment. Geology 28:187– 89

[17]Apuhan, F., 2020, Son Yüzyılda Bingöl'de Yaşanan Depremler ve Etkileri, Bingöl Üniversitesi Bingöl Araştırma Dergisi, Bingöl, 6, 2, 79-102.

[18]Arnold, J.R. ve Libby W.F., 1949, Age determination by radiocarbon content, Scienc, 110, 678-680.

[19]Arpat, E. ve Şaroğlu, F., 1972, Doğu Anadolu Fayı ile İlgili Bazı Gözlem ve Düşünceler, MTA Dergisi, 78, 44-50.

[20]Arpat, E. ve Şaroğlu, F., 1975. Türkiye'de Bazı Genç Tektonik Olaylar. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara.

[21]Arpat, E., 1971, 22 mayıs 1971 Bingöl Depremi, Ölü Deniz Fay Sistemi'nin Karlıova İlçesi ile Hazar Gölü Arasındaki Bölümü, MTA Enstitüsü Ön Raporu, Ankara.

[22]Ayhan, E. E., Alsan, N., Sancaklı, S.B., Üçer, B., 1981. 1881-1990 arası Türkiye ve Dolayları Deprem Kataloğu, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, 126.

[23]Bandel, K.and Khoury, H., 1981, Lithostratigraphy of the Triassic in Bandel, K. ve Khoury, H., 1981, Lithostratigraphy of the Triassic in Jordan Facies, New Mexico Doğa Tarihi ve Bilim Müzesi 61. Bülteni, 4, 1-26.

[24]Barka, A. ve Kuşçu, A., 1996, İzmit Gemlik ve Bandırma Körfezlerinde Kuzey Anadolu Fayının Uzanımları, Turkish.J. Mar. Sci., 2, 93-106.

[25]Barka, A., Kadinsky-Cade, K., 1988, Strike Slip Fault Geometry in Turkey and its İnfluence on Earthquake Activity, Tectonics, 7, 663-684

[26]Barka, A., 1992, The North Anatolian Fault Zone, Annales Tectonicae, 6, 164-195.

[27]Barnes, I., Irwin, W.P. ve White D.E., 1978, Global Distribution of Carbon Dioxide Discharges, and Major Zones of Seismicity, U.S. Geological Survey, Water-Resources investigations, California

[28]Bartlett, W.L., Friedman, M. ve Logan, J.M., Experimental Folding and Faulting of Rocks Under Confining Pressure Part IX. Wrench Faults in Limestone Layers, Tectonophysics, 79, 3-4, 255-277.

[29]Boray, A., 1975, Bitlis Dolayının Yapısı ve Metamorfizması, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara.

[30]Bozkurt, E., 2001, Neotectonics of Turkey a Synthesis, Geodinamica Acta, 14, 3-30.

[31]Bozkurt, E., ve Koçyiğit, A., 1996, The Kozova Basin an Active Negative Flower Structure on the Almuş Fault Zone, a Splay Fault System of the North Anatolian Fault Zone, Turkey, Tectonophysics, 265, 239-254.

[32]Bull, W. ve McFadden, L., 1977, Tectonic geomorphology north and south of the Garlock Fault, California, Geomorphology in Arid Regions, D.O., Doehring, ed., Publications in Geomorphology, State University of New York at Bingamton, 115-138.

[33]Burbank, D.W. ve Anderson, R.S., 2012, Tectonic Geomorphology, 153.

[34]Canıtez, N. 1960, Gravitenin İkinci Şakuli Türevi Hakkında, Maden Mecmuası, 7, 25-26.

[35]Çetin, H., Güneyli, H., Mayer, L., 2003, Paleoseismology of the Palu–Lake Hazar segment of the East Anatolian Fault Zone, Turkey, Tectonophysics, 374, 3-4, 163-197.

[36]Canıtez N, Üçer SB. 1967. A Catalogue of Focal Mechanism Diagrams for Turkey and Adjoining Areas. İTÜ Maden Fak., Arz Fiziği Enst. 25, 111.

[37]ÇolakErol, S., Özkul, M., Aksoy, E., Kele, S. ve Ghaleb, B., 2015, Travertine occurrences along major strike-slip fault zones, structural, depositional and geochemical constraints from the Eastern Anatolian Fault System (EAFS), Turkey.

[38]Davis, M.W., 2012, The Geometry and Topology of Coxeter Groups, London Mathematical Society Monographs, 32.

[39]DeMets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F. ve Stein, S., 1990. Effects of Recent Revisions to the Geomagnetic Reversal Time Scale on Estimates of Current Plate Motions. Geophysical Journal International, 101, 425-478.

[40]Demirtaşlı, E., Pisoni, C., 1965, Ahlat-Adilcevaz Bölgesi'nin Jeolojisi (Van Gölü Kuzeyi), Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 64, 22-43.

[42]Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Şaroglu, F., Şengör, A.M.C., 1986, Shortening of Continental Lithosphere the Neotectonics of Eastern Anatolia - a Young Collision Zone, Coward MP, Ries AC, Editors, Collision Tectonics, London, Geological Society of London Special Publications, 3-36.

[43]Dikbaş, A., 2009, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun İzmit-Gölyaka (Düzce) Arasındaki Segmentlerinin Paleosismolojik ve Morfolojik Özellikleri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü.

[44]Dubertet, L., 1966, Liban, Syrie et bordure des pays voisins: Tableau stratigraphique, avec carte géologique au millionième. Première partie, Muséum National d'Histoire Naturelle.

[45]Duman, T.Y. ve Emre, Ö., 2013, The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics, MTA Enstitüsü, Ankara.

[46]Egeran N, Lahn E. 1944. Note sur la carte sismique de la Turquie au 1:2.400.000. Maden Tetk. Arama Enst. Mecmuası, 2-32, 279–289

[47]Emre Ö., Duman T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., 2010, 8 Mart 2010 Başyurt-Karakoçan (Elazığ) Depremi Değerlendirme Raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

[48]Erdoğan, B. ve Dora, O.Ö., 1983, Bitlis Masifi Apatitfi Demir Yataklarının Jeolojisi ve Oluşumu, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 26, 133 -144

[49]Ergin, K., Güçlü, U. ve Uz, Z., 1967, A catalog of Earthquake for Turkey and Surrounding Area (11 A.D. to 1964 A.D.). ITU Faculty of Mining Engineering, Istanbul, Turkey.

[50]Eyal, M., Eyal, Y., Bartov, Y. ve Steinitz, G., 1981, The tectonic development of the western margin of the Gulf of Elat (Aqaba) rift, Tectonophysics 80, 39-66.

[51]Fossen, H., 2010, Structural Geology, Cambridge University Press, Tokyo.

[52]Freund, R., Garfunkel, Z., Zak, I., Goldberg, M., Weissbrod, T. ve Derin, B., 1970, The Shear Along the Dead Sea Rift, Philos. Trans. R. Soc. London A., 267, 107-130.

[53]Garfunkel, Z. ve Ben-Avrahan, Z., 1996, The Structure of the Dead Sea basin, Tectonophysics, 266, 155-176.

[54]Garfunkel, Z., 1981, Internal Structure of the Dead Sea Leaky Transform in Relation to Plate Kinematics, Tectonohypsics, 80, 81-108.

[55]Guideboni, E. ve Comastri, A., 2005, Catalogue of Earthquakes and Tsunamis in the Mediterranean area from. the 11th to the 15th century, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, ISBN:88-85213-10-3, 1037.

[56]Guidoboni, E., Comastri, A., Triana, G., 1994, Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean Area up to the10th Century. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, ISBN:88-85213-06-5, 504 s.

[57]Güçlü, U.U., Altınbaş, G. ve Eyidoğan, H., 1986, Türkiye ve Çevresi Deprem Kataloğu. İTÜ yayınları, 191, 227 (yayınlanmamış).

[58]Gülen, L., Barka, A. ve Toksöz, M.N. 1987, Continental Collision and Related Complex Deformation; Maraş Triple Junction and Surrounding Structures in SE Turkey. Hacettepe University Earth Sciences 14, 319-336.

[59]Hack, J.T., 1973. Stream-Profiles Analysis and Stream-Gradient İndex, Journal of Research of the U.S. Geological Survey, 1, 421-429.

[12]Hampton, M. R., Dewey, J. F., Şaroğlu, F. 1981. The East Anatolian transform fault: along strike variations in geometry and behavior. Trans Am Geophys Union, 62, 393.

[60]Hampton, M.A., 1985, Quaternary sedimentation in Shelikof Strait, Alaska, Marine Geology, 62, 213-253.

[61]Hancock P.L, Chalmers R.M.L., Altunel E., Çakır Z., 1999, Travitonics: using travertines in active fault studies, Journal of Structural Geology, 21, 903-916.

[62]Harch, W., Kupher, T., Rust, B. ve Sagesser, R., 1981, Seismotectonic Consideration on The Nature of the Turkish-African Plate Boundary, Geol. Rundsch., 70, 368-384.

[63]Hare, P.H. ve Gardner, T.W., 1985, Geomorphic Indicators of Vertical Neotectonism along Converging Plate Margins, Nicoya Peninsula Costa Rica. In: Morisawa, M. and Hack, J.T., Eds., Tectonic Geomorphology. Proceedings of the 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium, Allen and Unwin, Boston, 123-134.

[64]Hayden, F.V., 1872, United States Geological Survey of Montana and portions of adjacent territories, Fifth Annual Report of Progress.

[65]Herece, E. 2008. Doğu Anadolu Fayı (DAF) Atlası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi, No: 13.

[66]Herece, E., Akay, E. 1992. Karlıova-Çelikhan arasında Doğu Anadolu fayı (East Anatolian Fault between Karlıova and Çelikhan). Abstracts, 9th Petroleum Congress of Turkey, 361-372.

[67]Hubert-Ferrari, A., Lamair, L., Hage, S., Schmidt, S., Çağatay, M.N., Avşar, U., 2020. A 3800 yr paleoseismic record (Lake Hazar sediments, eastern Turkey): Implications for the East Anatolian Fault seismic cycle. Earth and Planetary Science Letters, 538, 116-152.

[68]Hunter, R.H., Halliday, A.N., Stephens, W.E., Menzies, M.A., Dickin, A.P. ve Hamilton P.J., 1985, Isotopic and chemical constraints on the building of the deep Scottish lithosphere, Scottish Journal of Geology, 21, 465-491.

[69]İnan, U. S., Carpenter, D.L, Helliwell, R.A. and Katsufrakis J.P., 1985, Subionospheric VLF/LF phase perturbations produced by lightning-whistler induced particle precipitation, J. Geophys. Res., 90,7457-7469.

[70]İnnocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Radicati, F. ve Villari, L., 1982, Tertiary and Quaternary Volcanism of the Erzurum-Kars Area (Eastern Turkey), Geochronological Data and Geodynamic Evolution, Journal of Volcanology and Geoth.Res., 13, 223-240.
J.C. Jones, 1925, Travertine Company Report. University of Nevada, Reno. UNR Special Collection, 29, 88.

[71]Jones, O. T., 1925, The Geology of the Llandovery District: Part 1. The Southern Area, Quarterly Journal of the Geological Society, 81, 344.

[72]Karig, D.E. ve Kozlu, H., 1990, Late Palaeogene-Neogene evolution of the triple junction region near Maraş, south-central Turkey, Journal of the Geological Society, 147, 1023-1034.

[73]Keller, E.A. ve Pinter, N., 2002, Active Tectonics, Earthquakes, Uplift and Landscape. Prentice Hall, Upper Saddle River.

[74]Ketin, İ., 1968. Relations between general tectonic features and the main earthquakes regions of Turkey, Bull. Min. Res. Expl. Inst., 71, 63-67.

[75]Ketin İ. ve Rösli, F. 1953. Makroseismische Untersuchungen über das nordwest-anatolische, Eclogae Geol. 46, 187–208.

[76]Khalifa, A., Çakir, Z., Owen, L. ve Kaya, Ş. ,2018, Morphotectonic analysis of the East Anatolian Fault, Turkey, Turkish J Earth Sci, 27, 110-126.

[77]Koçyiğit, A., 1988, Tectonic setting of the Geyve Basin: Age and total displacement of the Geyve Fault Zone. METU Journal of Pure and Applied Sciences, 21, 81-104.

[78]KOERI, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, http://www.koeri.boun.edu.tr.
Koşun E., Sarıgül A., Varol B., 2005, Antalya tufalarının litofasiyes özellikleri, Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 130, 57-70.

[79]Kurtuluş, C. ve Canbay, M.M., 2007, Tracing the middle strand of the North Anatolian Fault Zne through the southern Sea of Marmara based on seismic reflection studies, Geo-Marine Letters, 27, 27-40.

[80]Kuşçu, 2009, Cross-basin Faulting and Extinction of Pull-apart Basins in the Sea of Marmara, NW Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences, 18, 331-349.

[81]LePichon, X. ve Gaulier, J.M., 1988.The rotation of Arabia and the Levant fault system, Tectonohypsics, 153, 271-294.

[82]Libby, W.F., 1961, Radiocarbon Dating, Science, 133.

[83]Lyberis, N., 1988, Tectonic evolution of the Gulf of Suez and the Gulf of Aqaba, Tectonophysics, 153, 209-220.

[84]Lyberis, N., Yürür, T., Chorowicz, J., Kasapoğlu, E. ve Gündoğdu, N., 1992. The East Anatolian fault: An oblique collisional belt, Tectonohypsics, 204, 1-15.

[85]Mayer, L., 1990, Introduction to quantitative geomorphology: an exercise manual, Prentice-Hall International, Inc., USA.

[86]McCalpin, 2009, Paleoseismology, British Library, ISBN 978-0-12-373576-8.

[87]McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Geoergiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M.N. and Veis, G., 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus, J. Geophys. R., 105, 5695-5719.

[88]McKenzie, D.P., 1970. The plate tectonics of the Mediterranean region, Nature, 226, 239-241.

[89]McKenzie, D.P., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region, Geophys. J. Astr. Soc., 30, 109-185.

[90]McKenzie, D.P., 1976. The East Anatolian fault: A major structure in Eastern Turkey, Earth and Planetary Sci. Lett., 29, 189-193.

[91]Muehlberger, R.W. ve Gordon, M.B., 1987. Observations on the complexity of the East Anatolian Fault, Turkey. Journal of Structural Geology, 9, 899-903.

[92]Nalbant, S.S, McCloskey, J. Ve Steacy, S., 2005, Lessons on the calculation of static stress loading from the 2003 Bingol, Turkey earthquake, Earth and Planetary Science Letters.

[93]Nocquet, J.M., 2012, Present-day kinematics of the Mediterranean: A comprehensive overview of GPS results, Tectonophysics, 579, 220-242.

[94]Oral, M. B., King, R. W., Barka, A. A., Kınık, L, Leng, O., 1995, Global Positioning system offers evidence of plate motions in Eastern Mediterranean, EOS, AGU, 76, 2, 9-11.

[95]Özdemir, M. A. (2008). Drenaja Göre Doğu Anadolu Fayı'nın Morfotektoniği. Ulusal jeomorfoloji Sempozyumu (22-24 Ekim) Bildiriler Kitabı, 253.

[96]Pearce, J.A, Bender, J.F., DeLong, S.E., Kidd, W.S.F., Low, P.J., Gürer, Y., Şaroğlu, F, Yılmaz, Y., Moorbath, S., Mitchell, J.G., 1990, Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia, Turkey, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 44, 189-229.

[97]Perincek, D., 1980., Bitlis Metamorfitlerinde Volkanitli Triyas, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 23, 201-211.

[98]Perinçek, D. ve Çemen, İ., 1990. The structural relationship between the East Anatolian and Dead Sea fault zones in southeastern Turkey, Tectonophysics, 172, 231-240.

[99]Pınar, N. ve Lahn, E. (1952) : Türkiye depremleri izahlı kataloğu. Bayındırlık Bak. Yapı ve İmar İşleri Reisliği Yayını, 6, 36.

[100]Quennel, A.M., 1958. The structural and geomorphic evolution of the Dead Sea rift, Q. J. Geol. Soc. London, 114, 1-24.

[101]Ramsey, C. ve Lee, S. (2013). Recent and Planned Developments of the Program OxCal. Radiocarbon, 55, 720-730.

[102]Ramsey, C. (2021). OxCal program ver. 4.4.

[103]Reilinger, R. E., McClusky, S.C., Oral, M. B., King, R. W. ve Toksoz M. N.1997. Global Positioning System measurements of present-day crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone Journal Of Geophysical Research,, 102, 9983-9999.

[104]Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrotsa, A., Filikov, S. V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., Karam, G., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia, Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. Journ. Geophys. Res., 111.

[105]Reimer PJ, Austin WE, Bard E et al (2020) The IntCal20 northern hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). Radiocarbon 62, 725–757

[106]Rotstein, Y. ve Kafka, A.L., 1982. Seismotectonics of the Southern boundary of the Anatolia. Eastern Mediterranean region, subduction, collision and arc jumping, J. Geophys. Res., 87, 7694-7706.

[107]Sengör, A.M.C., Yılmaz Y. ve Ketin İ. 1980. Remnants of a pre-late Jurassic ocean in northern Turkey: fragments of Permo-Triassic Paleo- Tethys Geol. Soc. Am. Bull. 91, 599–609.

[108]Seymen, İ. ve Aydın, A., 1972. Bingöl deprem fayı ve bunun Kuzey Anadolu Fayı ile ilişkisi. MTA Dergisi, 79, 1-8.

[109]Soysal H, Sipahioğlu S, Kolçak D, Altınok Y. 1981. Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu (M. Ö. 2100-M.S. 1900). Türk. Bilim. Tek. Araştırma Kurumu, Mat.- Fiz. Biyol. Bilim. Araştırma Grubu, İstanbul. 87.

[110]Stein R.S., Barka A.A. ve Dieterich J.H. 1997. Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering. Geophys. J. Int. 128, 594–604.

[111]Steinitz, G. ve Bartov, Y., 1991, The Miocene – Pliocene History of the Dead Sea Segment of the Rift in light of K-Ar ages of basalts, Israel Journal of Earth Sciences, 40, 199-208.

[112]Strahler, A.N., 1952, Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of Erosional Topography, GSA Bulletin 63, 1117–1142.

[113]Şaroğlu, F. 1985, Doğu Anadolu'nun Neotektonik Dönemde Jeolojik ve Yapısal Evrimi. PhD Thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, 240.

[114]Şaroğlu, F. ve Yılmaz, Y., 1987, An example of a triple junction of faults in Turkey: the Karlıova area (abstr.)., 11.Annu. Geol. Congr, Ankara.

[115]Şaroğlu, F., & Yılmaz, Y., 1991, Geology of the Karlıova region: intersection of the North Anatolian and East Anatolian transform faults, Bulletin Technical University Istanbul, 44, 475-493.

[116]Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Kuşçu, İ., 1992, The East Anatolian fault zone of Turkey, Anales Tectonicae, 6, 99-125.

[117]Şaroğlu, F., ve Güner, Y. 1981. Doğu Anadolu'nun jeomorfolojik gelişimine etki eden öğeler: Jeomorfoloji, tektonik, volkanizma ilişkileri, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni 24, 39-50.

[118]Şaroğlu, F., ve Yılmaz, Y. 1986. Doğu Anadolu'da neotektonik dönemdeki jeolojik evrim ve havza modelleri. MTA dergisi, 107, 73-94.

[119]Şengör, A.M.C, Tüysüz, O., İmren, C., Sakınç, M., Eyidoğan, H., Görür, N. LePichon, X. ve Rangin, C., 2005, The North Anatolian Fault: A New Look, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 33, 37-112.

[120]Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach,, Tectonophysics, 55, 361-376.

[121]Şengör, A.M.C., 1979. The North Anatolian transform fault: Its age, offset and tectonic significance, J. Geol. Soc. London., 136, 269-282.

[122]Şengör, A.M.C., Görür, N. ve Şaroğlu, F., 1985, Strike slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, in strike-slip faulting and basin formation, Soc. Ecan. Paleont. Min. Sec., 37, 227-264.

[123]Şentürk, S., Çakir, Z. Ergintav, S., Karabulut, H., 2019. Reactivation of the Adıyaman Fault (Turkey) through the Mw 5.7 2007 Sivrice earthquake: an oblique listric normal faulting within the Arabian-Anatolian plate boundary observed by InSAR, Journal of Geodynamics, ISSN 0264-3707.

[124]Tan, O., Tapırdamaz, M. C., ve Yörük, A., 2008, The Earthquake Catalogues for Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences, 17, 2, 8.

[125]Tan, O., Pabuccu, Z., Tapırdamaz, M.C., İnan, S., Ergintav, S., Eyidogan, H., Aksoy, E. ve Kuluöztürk, F., 2011. Aftershock study and seismotectonic implications of the 8 March 2010 Kovancilar (Elazig, Turkey) earthquake (Mw=6.1). Geophysical Research Letters, 38, 11304.

[126]Tan, O., 2021, A homogeneous earthquake catalogue for Turkey, Nat. Hazards Earth Syst, Sci., 21, 2059–2073.

[127]Taymaz, T., Eyidoğan, H. ve Jackson, J.A., 1991. Source parameters of large earthquakes in the East Anatolian fault zone, Geophys. J. Int., 106, 537-550.

[128]Türkecan A, Dinçel A, Hepsen N, Papak İ, Akbaş B,. 1991. Bolu-Çankırı (Köroğlu Dağları) arasındaki Neojen yaşlı volkanitlerin stratigrafisi ve petrolojisi. Türk. Jeol. Kurultayı Bül. 6, 85–103.

[129]Türkecan, A., 1991, Muş Tersiyer Havzası'nın Stratigrafisi, Yapısal Jeolojisi, Bazı Jeomorfolojik Özellikleri ve Volkanolojisi, MTA Dergisi, Ankara, Türkiye, 112, 85-101.

[130]Twiss, R.J. ve Moores, E.M. (1992) Structural Geology. W.H. Freeman and Company, New York, 532.

[131]Wesson, R. L., Helley, E. J., Lajoie, K. R. And Wentworth, C. M., 1975, Faults and future earthquakes. InStudies for Seismic Regionalization of the San Francisco Bay Region R. D. Borcherdt, ed., U.S. Geol. Surv. Prof. Paper, 941, 5–30.

[132]Westaway , R. ve Arger, J., 1996. The Gölbaşı Basin, southeastern Turkey: a complex discontinuity in a major strike-slip fault zone, J. Geol. Soc. London, 153, 729-744.

[133]Westaway, R. 1998. Dependence of active normal fault dips on lowercrustal flow regimes. Journal of the Geological Society, London 155, 233–253.

[134]Westeway, R. 2001. Flow in the lower continental crust as a mechanism for the Quaternary uplift of the Rhenish Massif, north-west Europe. In: MADDY, D., MACKLIN, M.G. & WOODWARD, J.C. (eds), River Basin Sediment Systems: Archives of Environmental Change. Balkema, Abingdon, England, 87–167.

[135]Westaway, R., 1994. Present day kinematics of the Middle East and eastern Mediterranean, J. Geophys. Res., 99, 12071-12090.

[136]Westaway, R., 2003, Kinematics of the Middle East and Eastern Mediterranean Updated, Turkish Journal of Earth Sciences, 12, 1.

[137]Wilcox, R.E.; Harding, T.P. ve Seely, D.R., 1973, Basic wrench tectonics, Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., 57, 74-96.

[138]Yaltırak, C., Sakınç, C. ve Oktay, F.Y., 2000. Kuzey Anadolu Fayı'nın Kuzey Kolunun (Ganos Fayı) Marmara ve Saroz Körfezi Arasındaki Kinematiği ve Evrimi. ATAG-III Workshop Kitabı, 77-89.

[139]Yaltırak C. 1996. Ganos Fay Sistemi'nin tektonik tarihi. T¨urk. Petrol Jeol. Dern. B¨ul. 8:137–56

[140]Yaltırak C. ve Alpar B., 2002, Kinematics and evolution of the northern branch of the North Anatolian Fault (Ganos Fault) between the Sea of Marmara and the Gulf of Saros. Mar. Geol. 190, 351–66

[141]Yazgan, E., 1984, Geodynamics Evolution of the Eastern Taurus Region: In: O. Tekeli and M.C. Göncüoğlu (eds.), Geology of the Taurus Belt; International Symposıum Proceedings, 199-208, MTA, Ankara.

[142]Yönlü Ö, Altunel E, Karabacak V, Akyüz H.S., 2013, Evolution of the Gölbaşı basin and its implications for the long-term offset on the East Anatolian Fault Zone, Turkey. Journal of Geodynamics, 65, 272-281.

[143]Yönlü Ö, Altunel E, Karabacak V., 2017, Geological and geomorphological evidence for the southwestern extension of the East Anatolian Fault Zone, Turkey, Earth Planet Sc Lett, 469, 1-14.

[144]Yürür, M.T., Chorowicz, J., 1998, Recent Volcanism, Tectonics and Plate Kinematics Near The Junction of the African, Arabian and Anatolian Plates in the Eastern Mediterranean, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 85:1-15.

DOĞU ANADOLU FAY ZONU ILICA SEGMENTİ'NİN AKTİF TEKTONİK ÖZELLİKLERİNİN PALEOSİSMOLOJİK ve MORFOMETRİK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

ORİJİNALLİK RAPORU

%6	%5	%2	%1
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%2
2	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	<%1
3	avesis.iuc.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
4	doczz.biz.tr İnternet Kaynağı	<%1
5	hdl.handle.net İnternet Kaynağı	<%1
6	sp.lyellcollection.org İnternet Kaynağı	<%1
7	www.jmo.org.tr İnternet Kaynağı	<%1
8	acikerisim.deu.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1

Submitted to Fırat Üniversitesi

EKLER

EK-1: Ekinyolu-Göynük (Bingöl) Arasının 1/25.000 ölçekli Jeoloji Haritası.