



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



DOKTORA TEZİ

**VAN GÖLÜ KUZEYDOĞUSUNUN NEOTEKTONİĞİ VE
JEOTERMAL POTANSİYEL İLE İLİŞKİSİ**

M. Alper ŞENGÜL

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Hayrettin KORAL**

**II. DANIŞMAN
Prof. Dr. M. Ali ELMAS**

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2021

Bu çalışma, 18.05.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Jeoloji Mühendisliği Programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Hayrettin KORAL(Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Mehmet KESKİN
İstanbul Teknik Üniversitesi
Maden Fakültesi

Prof. Dr. H.Serdar AKYÜZ
İstanbul Teknik Üniversitesi
Maden Fakültesi

Prof. Dr. Timur USTAÖMER
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Hüseyin ÖZTÜRK
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 19486 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Son 13 yılda en çok duyduğum soru nihayet cevap buldu, en azından kendi adıma: Doktoran ne zaman bitecek? Sanırım sürecin sonuna geldik. Süreç diyorum çünkü bu macera 15 yıl önce başladı. Bu süreçte başta danışmanlarım olmak üzere gerçekten dost bildiğim bir çok kişi yanımda oldu ve destek verdi. Saha çalışmalarında, haritalama yaparken, gecenin bir vakti örnek alırken, düzlem ölçerken ve hatta çekiçle parmağımı parçalarken dahi yanımda mutlaka eşlik eden arkadaşlarım oldu. Bunların başında, bana evini açan, araziye gitmek için arabasını veren, benle araziye gelip kahrımı çeken Bilal ve Meryem AKKÖPRÜ'ye çok teşekkür ederim. Aslında 2009 yılında ilk arazi çalışmalarım sonrasında Van Gölü'nde yüzme fikrini veren sevgili Bilal Akköprü sayesinde falezlerdeki jeolojinin çok katkı sağlayacağını sodalı suyu yutarken farketmemiştim.

Doktora çalışmamın bu kadar uzun sürmesinin sorumlusu tamamen benim. Başlamak bitirmenin yarısıdır derler, doğrudur, ancak çalışmaya başladıktan sonra akademik olarak başka başlıklara da ilgi duyup kendi çalışmamı aksatmam nedeniyle süreç buralara kadar geldi. Yani bilimsel merakımı, ilgi ve hevesimi kendi arazimin sınırları dışına çıkardım. Kötü mü oldu, bence hayır. Merak ettiğimiz, ürettiğimiz sürece mutlu oluyoruz ya ben de öyle yaptım. Daha fazla jeoloji, daha farklı jeolojiyle doldum, yazdım ve yayımladım.

Akademik özgürlüğüm danışmanlarımın desteğiyle birleşti. Başta doktora tez çalışmam olmak üzere akademik hayatımın hemen her aşamasında var olan Prof.Dr. Hayrettin KORAL ve Prof.Dr. M.Ali ELMAS'a sonsuz teşekkür ederim. İyi ki varlar ve iyi ki bu yolda önlerine çıkmışım ve beni kabul etmişler. Ben ne adım attıysam hep destek oldular. Dile kolay, 15 senelik bu süreçte hayatımı kökten etkileyen bir çok olay gerçekleşti ve aldığım her kararda benim yanımda oldular, yol gösterdiler.

Van benim ikinci memleketim. Hayatımın bir bölümü Van'ın parlak güneşi altında, soğuk suyunu içerek, ayranasını yiyerek geçti. Gerek akademik hayatıma yön veren gerekse sırtımı yaslayacağım bir çok dost edindim. Bu dostlarım tez çalışmam süresince de bana destek oldular. Başta Prof.Dr. Sefer ÖRÇEN olmak üzere, Dr. Onur KÖSE'ye, Doç.Dr. Vural OYAN'a, Doç.Dr. Ali ÖZVAN'a, Doç.Dr. İsmail AKKAYA'ya, Dr. Çetin YEŞİLOVA'ya, Doç.Dr. Ebru AKKÖPRÜ'ye ve Prof.Dr. Mücip TAPAN'a çok teşekkür ederim.

Tez çalışmamı, bu süre zarfında, takip eden değerli hocalarım Prof.Dr. Mehmet KESKİN ve Prof.Dr. H.Serdar AKYÜZ'e katkıları ve sabırları için teşekkür ederim.

Doktora sürecimde önüme çıkan her türlü bürokratik engeli aşmamda yardımcı olan, yöntem gösteren ve yardım elini hiç esirgemeyen, en büyük destekçim Duygu İŞBİL'e, sadece tezimi yazma sürecimde değil, her zaman destek olan, Dr. Özge KARSLIOĞLU'na ve Dr. Selda ALTUNCU POYRAZ'a teşekkür ederim. Tez çalışmama başladığımda daha konuşmaya dahi başlamamış olan, şimdi ise "Baba tez ne zaman bitiyor" diye ahkam kesen oğlum Ali Alpin'e, eski eşim Lemis'e ve yazım sürecimin kahramanı anneme sabrı ve desteği için teşekkür ederim.

Son olarak, bu tezi, 23 Ekim ve 9 Kasım 2011 tarihlerinde gerçekleşen Van Depremlerinde hayatını kaybeden insanlarımıza ve geçen yaz kaybettiğim, bu tezi görmesini en çok istediğim canım babama atfediyorum, ruhları şad olsun.

Mayıs 2021

M.Alper ŞENGÜL

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	xxiii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xxiv
ÖZET	xxv
SUMMARY	xxvii
1. GİRİŞ	1
1.1. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI.....	1
1.2. ÇALIŞMA ALANININ TANITIMI.....	3
1.2.1. Topografya ve Akarsular	4
1.2.2. İklim ve Bitki Örtüsü.....	7
1.2.3. Yerleşim Merkezleri ve Ulaşım.....	9
2. GENEL KISIMLAR.....	11
2.1. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	11
2.1.1. VAN DEPREMİ (23 EKİM 2011) İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	28
2.1.2. VAN DEPREMİ SONRASI YAPILAN ÇALIŞMALAR	32
2.2. BÖLGESEL JEOLJİ	35
2.3. NEOTEKTONİK KONUM	38
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	44
3.1. ARAZİ ÇALIŞMALARI	44
3.2. BÜRO ÇALIŞMALARI	45
3.3. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI	46
4. BULGULAR.....	55
4.1. STRATİGRAFİK JEOLJİ.....	56
4.1.1. Saltedağı Formasyonu (Trs)	58
4.1.2. Van Formasyonu (Tv)	59
4.1.3. Adilcevaz Kireçtaşı (Tma)	61
4.1.4. Kurtdeliği Formasyonu (Tmk)	64
4.1.5. Timar Bazaltı (Tplt).....	67
4.1.6. Ermişler Tüfü (Tple).....	69

4.1.7. Etrüsk Volkanitleri (Tple)	70
4.1.8. Pliyosen Kırıntılı Çökeller (Tpl)	72
4.1.9. Pliyo-Kuvaterner Kırıntılı Çökeller (PIQ).....	73
4.1.10. Girekol Bazaltı (Qgb)	74
4.1.11. Çolpan Bazaltı (Qçb)	75
4.1.12. Yüksektepe Bazaltı (Qyb)	76
4.1.13. Geç Kuvaterner Dönemi Çökelleri	77
4.2. YAPISAL JEOLJİ.....	85
4.2.1. TABAKALAR	85
4.2.1.1. Van Formasyonu.....	85
4.2.1.2. Adilcevaz Kireçtaşı	91
4.2.1.3. Kurtdeliği Formasyonu.....	93
4.2.1.4. Eski Göl ve Akarsu Çökelleri.....	95
4.2.2. KIVRIMLAR	98
4.2.3. EKLEMLER.....	102
4.2.3.1. Van Formasyonu.....	102
4.2.3.2. Adilcevaz Kireçtaşı	108
4.2.3.3. Kurtdeliği Formasyonu.....	111
4.2.3.4. Timar Bazaltı – Güney Volkanitler	113
4.2.3.5. Etrüsk Volkanitleri – Erken Pliyosen	115
4.2.3.6. Girekol Volkanitleri-Kuvaterner	117
4.2.3.7. Eski Göl – Akarsu Çökelleri – Kuvaterner	118
4.2.4. FAYLAR	120
4.2.4.1. Erciş Fay Zonu (EFZ).....	123
4.2.4.2. Tali Faylar	139
4.2.4.3. Timar - Çakırbey Fay Zonu	153
4.3. DEPREMSELLİK.....	182
4.3.1. Tabanlı (Van) Depremi, 23 Ekim 2011, Mw=7.1	190
4.3.2. Edremit (Van) Depremi, 9 Kasım 2011, Mw=5.7.....	211
4.4. JEOTERMAL POTANSİYEL.....	218
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	222
KAYNAKLAR.....	249
EKLER	260

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası, kırmızı renkli çerçeve ile gösterilmiştir	3
Şekil 1.2. Tez alanı kapsamındaki 1/25.000 ölçekli topografik harita dizini.....	3
Şekil 1.3. Çalışma alanı ve çevresinin jeomorfoloji haritası ve akarsular, siyah dairenin olduğu alanlar önemli yükselti; 1: Etrüsk Volkanı (2860 m), 2: Pir Reşit Dağı (3085 m), 3: Beşparmak Tepe (2695 m), 4: Sağlamtaş Tepe (2690 m), 5: Aladağ (3145 m), 6: Girekol Volkanı (2145 m), 7: KösedagTepe (2600 m).	5
Şekil 1.4. Bendimahi Çayı ve Muradiye Şelalesi, Muradiye, bakış yönü KD.	6
Şekil 1.5. Zılan Vadisi ve Zılan Çayı, Erciş Kuzeyi, bakış yönü KD.	6
Şekil 1.6. Geniş bozkır (step) ve dere boylarında yetiştirilen endüstriyel kavaklık alanlar, Kocapınar Köyü sırtları, uzaktaki yerleşim Erçiş İlçesi, bakış yönü D.....	9
Şekil 1.7. Çalışma alanı ve çevresinin ulaşım ağı, siyah çizgiler karayolu, kırmızı kesikli çizgi demiryolunu göstermektedir.	10
Şekil 2.1. Van Gölü Havzası Jeoloji Haritası (MTA 2002).	35
Şekil 2.2. Van Gölü Havzası doğu ve kuzeybatı kesimi litolojik birimleri, bakış yönü KB.....	36
Şekil 2.3. Van Gölü Havzası güneybatı kesimi litolojik birimleri, bakış yönü GB.	37
Şekil 2.4. Afrika - Arap ve Avrasya Plakalarının GPS hızlarına bağlı olarak gelişen etkileşimlerini gösterir harita (Reilinger ve diğ. 2006'dan alınmıştır). CAU: Kafkas Bloğu, AN: Anadolu Plakası, AE: Ege Bloğu. Beyaz oklar plakaların kayma yönünü, beyaz renkli rakamlar ise yıllık kayma miktarını göstermektedir. Plaka içi rölatif dönmeler ise dairesel oklar ile gösterilmiştir. İçi beyaz çift çizgili plaka sınırları açılma rejimini, üzerinde ok olan düz siyah çizgiler doğrultu atımlı sınırları, üzerinde siyah kapalı üçgen olan çizgiler bindirme kuşaklarını temsil etmektedir. Parantez içindeki rakamlar eğim atımının yıllık kayma miktarını, parantez içinde olmayan rakamlar ise doğrultu atımının yıllık kayma miktarını temsil etmektedir.	39
Şekil 2.5. Türkiye ve yakın çevresinin basitleştirilmiş tektonik bölgeleri ve yapıları haritası (Şengör ve diğ. 1985, Şengör Yılmaz 1981, Barka 1992, Bozkurt 2001'den alınmıştır). KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, KDAFZ: Kuzeydoğu Anadolu Fay Zonu, ÖDFZ: Ölü Deniz Fay Zonu. K: Karlıova Ekleme. Üzerinde ok olan kalın siyah çizgiler plaka sınırı olan Doğrultu Atımlı Fayları, oklar göreceli olarak hareket yönlerini, üzerinde çentik olan kalın siyah çizgiler Normal Fayları, çentiklerin olduğu blok düşen bloğu temsil etmektedir. İçi	

dolu siyah üçgenlerin olduğu kalın çizgiler ana bindirmeleri, üçgenlerin olduğu blok üzerleyen bloğu, içi dolu siyah üçgen içeren ince çizgiler kenet kuşağını, içi boş üçgen içeren ince çizgiler ise aktif dalma batma zonlarını temsil etmektedir. Büyük içi boş oklar Anadolu Plakasının hareketini, için dolu siyah oklar ise Afrika ve Arap Plakalarının hareket yönlerini göstermektedir. Birbirine paralel çizilmiş kısa çizgiler ise Batı Anadolu Gerilme Bölgesinin başladığı alanın doğu sınırını temsil etmektedir.	40
Şekil 2.6. Doğu Anadolu'daki K-G yönlü sıkışmayı karakterize eden etkin gerilme yönleri ve gelişen yapılar (Şengör ve diğ. 1985'den alınmıştır). 1 Açılma Çatlağı, 2 ve 6 Çek Ayrır Havzalar, 3 ve 4 Rampa Sırt Yapıları, 5 Normal bileşenli Oblik Faylanma. İçi dolu siyah oklar sıkışma yönlerini, içi boş oklar çekme yönlerini temsil etmektedir.	42
Şekil 2.7. Türkiye – İran Platosu ve çevresinin basitleştirilmiş tektonik haritası. Beyaz oklar plaka hareket yönlerini göstermektedir (Koçyiğit 2013'den basitleştirilmiştir).	43
Şekil 3.1. Band modeline göre lüminesans olayının enerji diyagramı (AÜ-NBE Ankara Üniversitesi – Nükleer Bilimler Enstitüsü raporundan alınmıştır).	47
Şekil 3.2. Doğada Lüminesans saatinin sıfırlanması ve tekrar çalışması (AÜ - NBE raporundan alınmıştır).	48
Şekil 3.3. Numunelerin gömü süresince maruz kaldıkları farklı tipteki radyasyonlar (AÜ – NBE raporundan alınmıştır).	50
Şekil 3.4. Azot atomlarının ^{14}C 'e dönüşümü ve bitkilerce soğrulması.	52
Şekil 4.1. İnceleme alanının jeoloji haritası (MTA 2008 ve Oyan 2011'den değiştirilmiştir).	57
Şekil 4.2. Saltedağı Formasyonu'na ait neritik kireçtaşı biriminin sahadaki görünümü, bakış yönü KD.	58
Şekil 4.3. Van Formasyonu'na ait kumtaşı seviyeleri, Sağlamtaş Köyü güneyi, bakış yönü KB.	59
Şekil 4.4. Van Formasyonu içerisinde gözlenen olistolitlerden genel görünüm (a). Paleosen yaşlı neritik kireçtaşı olistoliti (b), pembemsi renkli pelajik kireçtaşı-çamurtaşı olistoliti (c), Jura yaşlı neritik kireçtaşı ve önünde yeşilimsi renkli ultrabazik kayalar olistoliti (d), Ermişler Köyü GD'su, bakış yönü KD.	60
Şekil 4.5. Adilceviz Kireçtaşı biriminin Erciş İlçesi civarındaki görünümü. a) Birimin tabanında gözlenen exfoliasyon ayrışmalı volkanik birimler, b) Fay zonları boyunca kayada oluşan kataklastik görünüm, c) Birimin kalın-çok kalın tabakalı seviyeleri, bakış yönü K.	62

Şekil 4.6. Adilcevez Kireçtaşı içerisinde gözlenen makro pelecypod kavkıları ve uflanmış kavkî parçaları, Erciş kuzeyi.....	63
Şekil 4.7. Kurtdeliği Formasyonuna ait kaba kırıntılı birimlerin genel görünümü, Tuzla Tepe doğusu, bakış yönü G.	64
Şekil 4.8. Kurtdeliği Formasyonuna ait bantlı jips-anhidrit seviyeleri. Açık işletme yapılmış ocaktan görünüm, beyaz renkli izler mekanik kazıcıya aittir, Ermişler Köyü batısı, vadi içi.....	65
Şekil 4.9. Kurtdeliği Formasyonu üst seviyelerinde gözlenen volkanik araseviyeler (a), polijenik çakıltaşı seviyeleri (b), Ermişler Köyü batısı.	66
Şekil 4.10. Kurtdeliği Formasyonu'na ait kırıntılılar üzerindeki traverten seviyesi, Ermişler Köyü batısı.....	66
Şekil 4.11. Timar Bazalt biriminin (Tplt) güneyden görünümü ve yamacında çökelmiş bloklulu molozlu birim (Qym) (küçük resim), Tmk: Kurtdeliği Formasyonu, Qal/Qay: Alüvyal birimler, bakış yönü KD.	67
Şekil 4.12. Timar Bazalt biriminin (Tplt) üzerine gelen Ermişler Tüf (Tple) birimi ile olan ilişkisi, Ermişler Köyü kuzeyi. Beyaz yıldız radyometrik yaş tayini için örnek alınan seviye (küçük resim), bakış yönü KB.....	68
Şekil 4.13. Ermişler Köyü yolu üzerinde gözlenen orta- kalın tabakalı Tüf- Tüfit birimleri ve gelişmiş faylar, bakış yönü D.	69
Şekil 4.14. Ermişler Köyü kuzeyi, kalın tabakalı tüfit ve ignimbrit seviyeleri (Tple). İgnimbritler içerisinde radyometrik yaş tayini yaptırılmış seviye (küçük resim), Tplt: Timar Bazaltı, Qhm: Heyelan Mazlemesi, bakış yönü KD.	70
Şekil 4.15. Van Gölü kuzeydoğusunda yükselen Etrüsk Volkanı kütlesi ve kaldera bölgesi, bakış yönü K.	71
Şekil 4.16. Etrüsk Volkanı ve farklı kesimlerdeki yüzlekleri, a) Deliçay Vadisi kuzeyi, trakiandezit seviyeleri, b) Erciş, trakitik lav seviyeleri, c) Haydarbey Köyü sırtları, trakit seviyeleri, d) Erciş kuzeyi, ayrılmış Trakitik seviyeler, e) Erciş doğusu Trakit-Havait seviyeleri.....	71
Şekil 4.17. Erciş kuzeyinde gözlenen Geç Pliyosen dönemi çökelleri (Tpl), Qgb: Girekol Bazalt birimi, sarı renkli kalın çizgi itilme düzlemi, bakış yönü KD.....	73
Şekil 4.18. Pliyo-Kuvaterner yaşlı kırıntılı çökel birimleri, Timar Köyü güneyi, bakış yönü GD.	74
Şekil 4.19. Girekol Bazalt birimine ait genel ve detay görünüm, a) kırmızımsı renkli killeşmiş pışme zonu, b) soğuma ve itilme nedeniyle gerçekleşmiş parçalı, klastik zon, c) birim içerisine gözlenen düşey yönlü soğuma çatlakları, bakış yönü KD.....	75
Şekil 4.20. Çolpan Bazalt biriminin Sağlamtaş Köyü sırtlarından (büyük görsel) ve Çolpan Köyü içinden (küçük görsel) görünümü, bakış yönü KB.	76

Şekil 4.21. Yüksektepe Bazalt biriminin Düzgeyik Krateri civarındaki görünümü, bakış yönü K.	77
Şekil 4.22. Timar Bazaltı eteklerinde çökelmiş moloz birimleri, Timar Köyü ilerisi, kuzeye bakan yamaç, bakış yönü GD.....	79
Şekil 4.23. Yamaç molozu birimi matriksinden alınan OSL örneği lokasyonu ve çökelin yaşı, Timar Köyü ilerisi, kuzeye bakan yamaç, bakış yönü GD.	79
Şekil 4.24. Yatay tabakalı eski göl ve akarsu çökelleri, Qge: Eski Göl çökelleri, Qae: Eski Alüvyon, Erciş doğusu, Deliçay mansabı.	80
Şekil 4.25. Eski göl çökellerini kesen bindirme fayı, Timar Köyü kuzeyi, bakış yönü KD.	81
Şekil 4.26. Eski alüvyal yelpaze ve göl çökelleri ardalanması, Timar Köyü kuzeyi, bakış yönü KD.	82
Şekil 4.27. Timar Köyü güneyi alüvyal çökeller, bakış yönü KB.	83
Şekil 4.28. İnceleme alanı doğusunda Ovacınar ve Kocasaban Köyleri civarında gözlenen büyük boyutlu kütle hareketleri, Qal-Qge:Alüvyon-Eski Göl Çökeli, Qay: Alüvyal Yelpaze Çökeli (altlık Googleearth görüntüsü).	84
Şekil 4.29. İnceleme alanı güneyinde, Çakırbey Köyü doğusunda, göle bakan yamaçlarda gerçekleşen kütle hareketleri, Tv: Van Fm., Qal: Alüvyon, Qay: Alüvyal Yelpaze, Qhm: Heyelan Malzemesi (altlık Googleearth görüntüsü).	84
Şekil 4.30. Van Formasyonuna ait tabakalı birimler, a) düşey eğimli çok ince siltaşı-kumtaşı ve ince orta tabakalı kumtaşı ardalanması (Yukarı Çolpan Köyü güneyi, bakış yönü K) b) kalın tabakalı ince çakıllı çakıltası seviyesi (Sağlamtaş Köyü güneyi) c) Jura yaşlı neritik kireçtaşı olistoliti (Yukarı Çolpan Köyü güneyi).	86
Şekil 4.31. Van Formasyonu'na ait tabaka ölçümlerinin stereografik projeksiyonu, kontür diyagramı ve ana düzlemler.	87
Şekil 4.32. Van Formasyonu'na ait tabaka doğrultu gül diyagramı.....	87
Şekil 4.33. Van Formasyonu kırıntılı çökel kayalarına ait tabaka değerlerinin stereografik projeksiyonu, kontür diyagramı ve ana düzlemler.	88
Şekil 4.34. Van Formasyonu kırıntılı kaya birimlerine ait tabaka doğrultu gül diyagramı.	89
Şekil 4.35. Van Formasyonu içerisindeki olistolitlere ait tabaka değerlerinin stereografik projeksiyonu, kontür diyagramı ve ana düzlemler.	90
Şekil 4.36. Van Formasyonu içerisindeki olistolitlere ait tabaka doğrultu gül diyagramı.	90

Şekil 4.37. Adilceviz Kireçtaşı birimine ait kalın tabakalanma seviyeleri, Yukarı Işıklar Köyü güneyi, bakış yönü D-GD.....	91
Şekil 4.38. Adilceviz Kireçtaşı birimine ait tabaka değerlerinin stereografik projeksiyonu, kontür diyagramı ve ana düzlemler.	92
Şekil 4.39. Adilceviz Kireçtaşı birimine ait tabaka doğrultu gül diyagramı.	92
Şekil 4.40. Kurtdeliği Formasyonu'na ait ince - orta kalınlıktaki tabakalanma seviyeleri, Tutumlu Köyü civarı, bakış yönü GD.	93
Şekil 4.41. Kurtdeliği Formasyonu'na ait tabaka değerlerinin stereografik projeksiyonu, kontür diyagramı ve ana düzlemler.	94
Şekil 4.42. Kurtdeliği Formasyonu'na ait tabaka doğrultu gül diyagramı.	94
Şekil 4.43. Eski akarsu ve göl çökelleri arılanması, a) Erciş Yolu üzeri Karahan Köyü ilerisi, göl ve akarsu çökelleri arılanması, Erciş Fayı (sarı renkli kesikli çizgiler), b) lamine göl çökeli ve volkanik kökenli blok içeren plaj çökeli arılanması, Timar Köyü batısı.	95
Şekil 4.44. Eski göl ve akarsu çökellerine ait tabaka değerlerinin stereografik projeksiyonu, kontür diyagramı ve ana düzlemler.	96
Şekil 4.45. Eski göl akarsu çökellerine ait tabaka doğrultu gül diyagramı.	96
Şekil 4.46. Çok ince tabakalı – lamine eski göl çökelleri içerisinde gözlenen küçük ölçekli normal ve düşey faylar, a) Erciş Şeker Fabrikası karşısı, mikro ölçekli horst-graben yapıları, b) Haydarbey Köyü batısı, Erciş.	97
Şekil 4.47. Ermişler Köyü civarının jeolojisi ve kıvrım yapılarını gösteren enine kesit.	98
Şekil 4.48. Asimetrik senklinal yapısının KB kanadı ve bölgedeki birimler, bakış yönü GB.....	99
Şekil 4.49. Asimetrik kıvrım yapısının stereografik projeksiyonu ve kıvrım eksen.	99
Şekil 4.50. Antiklinal yapısının stereografik projeksiyonu, kıvrım eksen.	100
Şekil 4.51. Ermişler Köyü kuzeyindeki falezde volkanosedimenter birimlerde gözlenen yapı, a) çanağa benzeyen yapının GB kesiminden görünüm.	101
Şekil 4.52. Yapının stereografik projeksiyonu ve eksen.	101
Şekil 4.53. Van Formasyonu'nda gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı ve ana düzlemler.	103
Şekil 4.54. Van Formasyonu'nda gözlenen eklem doğrultularına ait gül diyagramı.	104
Şekil 4.55. Van Formasyonu içerisinde gözlenen olistolit birimi eklemlerine ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı ve ana düzlemler.	105

Şekil 4.56. Van Formasyonu içerisinde gözlenen olistolit birimlere ait eklem düzlemlerinin doğrultu gül diyagramı.	105
Şekil 4.57. Van Formasyonu kırıntılı kaya birimlerinde gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı ve ana düzlemler.	106
Şekil 4.58. Van Formasyonu kırıntılı kaya birimlerinde gözlenen eklemlere ait doğrultu gül diyagramı.	107
Şekil 4.59. Van Formasyonu kırıntılı kaya birimlerinde gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı, ana düzlemler ve etkin sıkışma yönleri (siyah oklar).	108
Şekil 4.60. Adilcevaz Kireçtaşı kaya birimlerinde gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı ve ana düzlemler.	109
Şekil 4.61. Adilcevaz Kireçtaşı kaya birimlerinde gözlenen eklemlere ait doğrultu gül diyagramı.	110
Şekil 4.62. Adilcevaz Kireçtaşı kaya birimlerinde gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı, ana düzlemler ve etkin sıkışma yönleri (siyah oklar).	110
Şekil 4.63. Kurtdeliği Formasyonu kaya birimlerinde gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı ve ana düzlemler.	111
Şekil 4.64. Kurtdeliği Formasyonu kaya birimlerinde gözlenen eklemlere ait doğrultu gül diyagramı.	112
Şekil 4.65. Kurtdeliği Formasyonu kaya birimlerinde gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı, ana düzlemler ve etkin sıkışma yönleri (siyah oklar).	112
Şekil 4.66. Timar Bazaltı kaya birimlerinde gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı ve ana düzlemler.	113
Şekil 4.67. Timar Bazalt biriminde gözlenen eklemlere ait doğrultu gül diyagramı.	114
Şekil 4.68. Timar Bazalt biriminde gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı, ana düzlemler ve etkin sıkışma yönleri (siyah oklar).	114
Şekil 4.69. Etrüsk Volkanitlerinde gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı ve ana düzlemler.	115
Şekil 4.70. Etrüsk Volkanitlerinde gözlenen eklemlere ait doğrultu gül diyagramı.	116
Şekil 4.71. Etrüsk Volkanitlerinde gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı, ana düzlemler ve etkin sıkışma yönleri (siyah oklar).	116
Şekil 4.72. Girekol Bazalt biriminde gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı ve ana düzlemler.	117

Şekil 4.73. Girekol Bazalt biriminde gözlenen eklemlere ait doğrultu gül diyagramı.....	118
Şekil 4.74. Eski göl akarsu çökellerinde gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı ve ana düzlemler.	119
Şekil 4.75. Eski göl akarsu çökellerinde gözlenen eklemlere ait doğrultu gül diyagramı.	119
Şekil 4.76. Van Gölü Havzası doğusunda gözlenen ana fay zonları ve bazı önemli faylar (Emre ve diğ. 2013, Koçyiğit 2013, Özkaymak ve diğ. 2011).....	120
Şekil 4.77. Fay düzlemi ölçüm lokasyonlarının dağılımı (bu çalışma). Kalın siyah çizgiler diri fayları göstermektedir (Emre ve diğ. 2013).....	122
Şekil 4.78. İnceleme alanında gözlenen ana fay zonları, Erciş Fay Zonu (kuzey) ve Timar - Çakırbey Fay Zonu (güney).	123
Şekil 4.79. Erciş Fay Zonu'nun da gözlenen faylar ve bu çalışma kapsamında elde edilen düzlem verilerine ait mekanizma çözümleri.....	124
Şekil 4.80. Erciş Fayı Doğu Segmenti ve fay mekanizma çözümleri, a) L54 nolu düzlem lokasyonu, b) ve c) Fay ile ilişkili Pliyosen yaşlı Volkanik birimler, d) Bendimahî Çayı yanal yerdeğiştirme lokasyonu, (altlık Google Earth görüntüsü).	125
Şekil 4.81. Erciş Fayı Doğu Segmenti'nin eski malzeme ocağı içerisinde gözlemlendiği kesim. Çökel birim Kuvaterner yaşlı eski göl (b, d, f seviyeleri) ve akarsu (a, c, e ve g) kırıntılı birimlerinin ardalanması şeklindedir. Göl çökelleri içerisinde yaş tayini için örnek alınan lokasyon Erciş 01 OSL olarak gösterilmiştir (bakış yönü KB).	125
Şekil 4.82. Erciş Fayı Doğu Segmenti'nin eski malzeme ocağı içerisinde gözlemlendiği kesim. OSL örneği alınan seviye ve elde edilen yaş verileri (bakış yönü KB).	126
Şekil 4.83. Erciş Fayı Doğu Segmenti üzerinde yapılan Elektrik Rezistivite Tomografi (ERT) ölçümü ve iki boyutu görüntüsü.	127
Şekil 4.84. Doğu Segmenti düzlem verileri ile yapılan stereografik projeksiyon ve kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü normal bileşenli sağ yönlü doğrultu atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü NS - Normal –Doğrultu atımlı olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta. SS: Doğrultu atımlı, NS: Normal bileşenli Doğrultu atımlı, TS: Ters bileşenli Doğrultu atımlı, NF: Normal Fay, VF: Düşey Fay, TF: Ters Fay - Bindirme), projeksiyonda fay düzlemleri, kayma vektörleri (mor oklar), düzlem kutupları (siyah noktalar) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.....	128
Şekil 4.85. Erciş Fay Zonu, Haydarbey Köyü civarı jeolojisi, gözlenen normal faylar ve mekanizma çözümleri, Qal: Alüvyon, Qae-Qge: Eski Alüvyon-Eski Göl Çökeli, Tple: Etrüsk Volkanitleri.....	129
Şekil 4.86. Kırıntılı göl çökelleri, gelişen deformasyonlar ve Erciş 2a ve 2b örnek alım yerleri, bakış yönü G.	130

- Şekil 4.87.** Düzlem verileri ile yapılan stereografik projeksiyon ve kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü sol yanal bileşenli Normal fayı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü NS - Normal –Doğrultu atımlı olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemleri, düzlem kutupları (siyah noktalar) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.131
- Şekil 4.88.** Erciş Fay Zonu, Haydarbey Köyü doğusunda gözlenen normal faylar (kırmızı renkli çerçeve) ve mekanizma çözümleri.131
- Şekil 4.89.** Haydarbey Trakiti üzerine çökelmiş kırıntılı gölsel birimler, gelişen normal faylar ve sismik yapıları. Erciş 3 OSL örnek alım yeri (sarı nokta), bakış yönü G.132
- Şekil 4.90.** Düzlem verileri ile yapılan stereografik projeksiyon ve kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü Normal fayı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü NF Normal Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemleri, asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir. ...133
- Şekil 4.91.** Haydarbey Trakiti kuzey yamacını sınırlayan normal fay, bakış yönü D.....134
- Şekil 4.92.** Düzlem verileri ile yapılan stereografik projeksiyon ve kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü normal atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü NF- Normal Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemleri, kayma vektörleri (siyah oklar), düzlem kutupları (siyah noktalar) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.135
- Şekil 4.93.** Erciş Fay Zonu Batı kesiminde gözlenen faylar, a) güney kol, b) kuzey kol, bölgesel jeoloji ve fay düzlemi ölçüm noktaları, Tma: Adilcevaz Kireçtaşı, Tpl: Pliyosen Kırıntılı Çökeller, Tple: Etrüsk Volkanitleri, Qal: Alüvyon (görüntü Googleearth'den alınmıştır).....135
- Şekil 4.94.** Erciş Fay Zonu Batı kesiminde gözlenen faylar ve mekanizma çözümleri, a) Güney Kol, b) Kuzey Kol.....136
- Şekil 4.95.** Erciş Fayı Güney Kolu'nun L46 lokasyonunda görünümü, fay çizgileri ve fay kertikleri, sapma açısı (sağ üst küçük resim), bakış yönü KKB.....137
- Şekil 4.96.** Erciş Fayı Güney Kolu'nun L47 – L48 lokasyonlarındaki görünümü, fay çizgileri ve fay kertikleri (sağ üst küçük resimler), bakış yönü K.....138
- Şekil 4.97.** Düzlem verileri ile yapılan stereografik projeksiyon ve kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü doğrultu atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü SS- Doğrultu Atımlı Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki noktalar), projeksiyonda fay düzlemleri, kayma vektörleri (siyah oklar), düzlem kutupları (siyah noktalar) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.139
- Şekil 4.98.** Erciş Fay Zonu ana kolların arasında gelişen tali faylar, düzlem ölçüm noktaları ve fay mekanizma çözümleri.....140
- Şekil 4.99.** L44 tali fayın lokasyondaki görünümü, fay çizgileri ve fay kertikleri (sağ üst küçük resimler), bakış yönü KB.141

Şekil 4.100. Düzlem verileri ile yapılan stereografik projeksiyon ve kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü doğrultu atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü SS- Doğrultu Atımlı Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemi, kayma vektörü (siyah oklar), düzlem kutubu (siyah nokta) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.	141
Şekil 4.101. L31,L41,L43 tali fayın lokasyondaki görünümü, kataklastik fay zonu ve fay çizgileri (küçük resimler), bakış yönü KD.	142
Şekil 4.102. Düzlem verileri ile yapılan stereografik projeksiyon ve kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü doğrultu atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü SS- Doğrultu Atımlı Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemleri, kayma vektörleri (siyah oklar), düzlem kutupları (siyah noktalar) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.	143
Şekil 4.103. L25 – L30 arası lokasyonlarda belirlenen fayın görünümü, parçalı yapı, ezik zon ve fay çizgileri (küçük resimler), bakış yönü KD.	144
Şekil 4.104. Düzlem verileri ile yapılan stereografik projeksiyon ve kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü doğrultu atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü SS- Doğrultu Atımlı Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki noktalar), projeksiyonda fay düzlemleri, kayma vektörleri (siyah oklar), düzlem kutupları (siyah noktalar) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.	144
Şekil 4.105. L38 – L39 lokasyonlarda belirlenen fayın görünümü, fay çizgileri (küçük resim), bakış yönü GB.	145
Şekil 4.106. Düzlem verileri ile yapılan stereografik projeksiyon ve kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü doğrultu atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü SS- Doğrultu Atımlı Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki noktalar), projeksiyonda fay düzlemleri, kayma vektörleri (siyah oklar), düzlem kutupları (siyah noktalar) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.	146
Şekil 4.107. L34 – L35 lokasyonlarda belirlenen fayın parçalı görünümü, fay çizgileri (küçük resim), bakış yönü KB.	147
Şekil 4.108. Düzlem verileri ile yapılan stereografik projeksiyon ve kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü sağ yön bileşenli normal atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü NS Normal Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki noktalar), projeksiyonda fay düzlemleri, kayma vektörleri (siyah oklar), düzlem kutupları (siyah noktalar) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.	147
Şekil 4.109. Erciş Fay Zonu’nda gelişen tali faylar ve mekanizma çözümleri, L36-L37 Normal Fayı.	148

Şekil 4.110. L36– L37 lokasyonlarda belirlenen normal faylanma ve kataklastik zonu (küçük resim), bakış yönü KB.....	149
Şekil 4.111. Düzlem verileri ile yapılan stereografik projeksiyon ve kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü çok az sol bileşenli normal atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü NF Normal Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemleri ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.....	149
Şekil 4.112. L57 lokasyonunda belirlenen itki düzleminin görünümü, gelişen kataklastik ve pışme zonları ile itki çizgileri (küçük resimler), bakış yönü KB.....	150
Şekil 4.113. Düzlem verisi ile yapılan stereografik projeksiyon ve kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü ters faylanmayı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü TF Ters Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki noktalar), projeksiyonda fay düzlemi, kayma vektörü (siyah ok), düzlem kutubu (siyah nokta) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.....	151
Şekil 4.114. Erciş Fay Zonu’nun da gözlenen faylar ve bu çalışma kapsamında elde edilen düzlem verilerine ait mekanizma çözümleri.....	151
Şekil 4.115. İnceleme alanında gözlenen ana fay zonları, Erciş Fay Zonu (kuzey) ve Timar - Çakırbey Fay Zonu (güney).	153
Şekil 4.116. Fay düzlemi ölçüm lokasyonlarının dağılımı (bu çalışma), kalın siyah çizgiler diri faylar (Emre ve diğ. 2013).	155
Şekil 4.117. Güney kesimde gözlenen faylar ve mekanizma çözümleri.....	156
Şekil 4.118. Çolpan Fayı civarının jeolojisi ve bölgedeki heyelanların konumu (uydu görüntüsü GoogleEarth)	157
Şekil 4.119. Van Gölü kıyısında gözlenen dik tabakalar ve Çolpan Fayı’na ait düzlem (küçük fotoğraf), bakış yönü KD.....	158
Şekil 4.120. Çolpan Fayı boyunca, alüvyal fan oluşumunu sağlayan ana derelerdeki yerdeğiştirmeler.....	159
Şekil 4.121. Çolpan Fayı boyunca, alüvyal fan oluşumunu sağlayan ana derelerdeki yerdeğiştirmeler (altlık GoogleEarth görüntüsü, 2021).....	159
Şekil 4.122. Van Gölü kıyısında gözlenen volkanosedimenter birimler ve Çolpan Fayı düzlemi, bakış yönü KD.	160
Şekil 4.123. Düzlem verileri ile yapılan kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü doğrultu atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü SS - Doğrultu Atımlı Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki noktalar), projeksiyonda fay düzlemleri, kayma vektörleri (siyah oklar), düzlem kutupları (siyah noktalar) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.	161

Şekil 4.124. Çakırbey Fayı civarının jeolojisi, bölgedeki heyelanların konumu ve fay mekanizma çözümleri (uydu görüntüsü GooleEarth).....	162
Şekil 4.125. L2 Düzlem verisi ile yapılan kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü doğrultu atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü SS - Doğrultu Atımlı Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemi, kayma vektörü (siyah ok), düzlem kutubu (siyah nokta) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.....	163
Şekil 4.126. L2 Lokasyonunda Çakırbey Fayı düzleminin sarplığı, breşik zonu ve kayma çizgilerinin görünümü, bakış yönü KD.....	163
Şekil 4.127. L4 Düzlem verisi ile yapılan kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü normal atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü NF – Normal Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemi, kayma vektörü (siyah ok), düzlem kutubu (siyah nokta) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.....	164
Şekil 4.128. L5 Lokasyonunda Çakırbey Fayı düzleminin, kayma çizgilerinin görünümü, bakış yönü K.	165
Şekil 4.129. L5 Düzlem verisi ile yapılan kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü sol yönlü doğrultu atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü TS – Ters bileşenli Sol Yönlü Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemi, kayma vektörü (siyah ok), düzlem kutubu (siyah nokta) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.....	166
Şekil 4.130. L6 Düzlem verisi ile yapılan kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü sol yönlü doğrultu atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü SS – Normal bileşenli Sol Yönlü Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemi, kayma vektörü (siyah ok), düzlem kutubu (siyah nokta) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.	166
Şekil 4.131. Akçift Fayı'nın arazideki uzanımı, mekanizma çözümü. a ve b yanal yerdeğiştirme gözlenen lokasyonlar (altlık GoogleEarth).....	167
Şekil 4.132. Akçift Fayı deformasyonuna bağlı gelişen, dönmüş ve dikleşmiş tabakalar, bakış yönü B.	168
Şekil 4.133. Düzlem verileri ile yapılan kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü sol yönlü doğrultu atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü SS – Ters bileşenli Sol Yönlü Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemleri, kayma vektörleri (siyah oklar), düzlem kutupları (siyah noktalar) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.	169
Şekil 4.134. Ermişler – Timar civarında gözlenen faylar, Ermişler Fayı mekanizma çözümü ve heyelanlar (altlık GoogleEarth).....	170
Şekil 4.135. Ermişler Fayı yükseliminin görünüm ve fay düzlemleri (küçük görseller).	170

Şekil 4.136. Düzlem verileri ile yapılan kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü eğim atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü NF – Normal Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemleri, düzlem kutupları (siyah noktalar) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.	171
Şekil 4.137. Ermişler – Timar civarında gözlenen faylar, Canik Bindirme Fayı mekanizma çözümü ve çevredeki heyelanlar (altlık GoogleEarth).	172
Şekil 4.138. L68 lokasyonunda gözlenen Canik Bidirme Fayı ve elde edilen yaş verileri, bakış yönü KD.	173
Şekil 4.139. Düzlem verileri ile yapılan kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü ters faylanma mekanizmasını temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü TF – Ters / Bindirme Fayı olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemleri ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.	174
Şekil 4.140. Ermişler – Timar civarında gözlenen faylar, Timar Fayı mekanizma çözümü ve çevredeki heyelanlar (altlık GoogleEarth).	175
Şekil 4.141. L11 lokasyonunda, yol yarmasında, Timar Fayı’nın görünümü, bakış yönü D.	175
Şekil 4.142. Timar Fayı’nın dere yatağında yapmış olduğu yanal yerdeğiştirmeler, altlık GoogleEarth.	176
Şekil 4.143. Düzlem verileri ile yapılan kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü sol yönlü doğrultu atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü SS – Doğrultu Atımlı Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemi, düzlem kutubu (siyah nokta) ve asal gerilme eksen yönleri ile yerleri görülmektedir.	177
Şekil 4.144. Ermişler – Timar civarında gözlenen faylar, L13 Fayı mekanizma çözümü ve heyelanlar (altlık GoogleEarth).	177
Şekil 4.145. L13 Normal Fayı’nın akarsu taraçası ve Van Formasyonu birimlerindeki görünümü, bakış yönü KD.	178
Şekil 4.146. Düzlem verileri ile yapılan kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü normal atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü VF – Düşey Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemi, düzlem kutubu (siyah nokta) ve asal gerilme eksen yönleri ile yerleri görülmektedir.	179
Şekil 4.147. Timar – Çakırbey Zonu içerisinde gözlenen faylar ve mekanizma çözümleri.	180
Şekil 4.148. Van Gölü Havzası ve civarında meydana gelmiş tarihsel ve aletsel dönem depremlerin odak noktası dağılımı, diri faylar Emre ve diğ. (2013) ve Çukur ve diğ. (2013b)’den alınmıştır.	182

Şekil 4.149. Van Gölü Havzası ve civarında meydana gelmiş tarihsel dönem depremlerin odak noktası dağılımı, diri faylar Emre ve diğ. (2013) ve Çukur ve diğ. (2013b)’den alınmıştır.	184
Şekil 4.150. Van Gölü Havzası ve civarında meydana gelmiş M=4 den büyük depremlerin odak noktası dağılımı, diri faylar Emre ve diğ. (2013) ve Çukur ve diğ. (2013b)’den alınmıştır.	185
Şekil 4.151. İnceleme alanında, 2011 yılından bu yana meydana gelen M=4’den büyük depremlerin odak yerleri ve mekanizma çözümleri (AFAD DDB 2021, KRDAE 2021).	188
Şekil 4.152. İnceleme alanı dâhilinde 1930 yılından günümüze meydana gelmiş M=4’den büyük depremlerin odak yerleri (KRDAE 2021).	188
Şekil 4.153. Tabanlı (Van) depreminin farklı merkezler tarafından belirlenmiş odak noktası ve mekanizma çözümleri, USGS: US Geological Survey, KRDAE: Kandilli Rasathanesi ve DAE, INGV: Bologna-İtalya, HARV: Harvard Üni. ABD, GFZ: Geoforschung Zentrum, Almanya.	190
Şekil 4.154. Tektonik taşınma yönünde gelişen bindirme faylarının oluşumu, 4 nolu fay yüzeye ulaşmadığından “kör bindirme” olarak tanımlanmaktadır (JMO, 2011).	192
Şekil 4.155. Van Gölü doğusunda gözlenen ana faylar (1: Gevaş Bindirme Fayı, 2: Gürpınar Bindirme Fayı, 3: Dilkayası Fayı, 4: Edremit Fayı, 5: Kavurma Fayı, 6: Kurubaş Fayı, 7: Kevenli Fayı, 8: Everek Fayı, 9: Topaktaş-Arısı Fayı, 10: Alaköy Fayı, 11: Kozluca Fayı, 12: Çakırbey-Ermişler Fayı, 13: Erciş Fayı, 14: Uluşar Fayı, 15: Kocapınar Fayı, 16: Zılan Fayı, 17: Çaldıran Fayı, 18: Tendürek Fayı) ve Tabanlı depreminin odak mekanizma çözümleri (HARV: Harvard Üni., GFZ: Geoforschung Zentrum Almanya, KRDAE: Kandilli Rasathanesi ve DAE, USGS: US Geological Survey, INGV: Bologna,İtalya), ana şok 8 ve 9 nolu faylardan kaynaklanmıştır (Poyraz ve diğ. 2011, Koçyiğit 2013, Emre ve diğ. 2011’den değiştirilmiştir).	193
Şekil 4.156. Tabanlı Depreminin kaynak-zaman fonksiyonu ve odak mekanizması çözümü (Poyraz ve diğ. 2011).	195
Şekil 4.157. Artçı depremlerin zamansal dağılımı, A: 23-25 Ekim arası, B: 30 Ekim - 01 Kasım tarihleri arası, (Poyraz ve diğ. 2011).	196
Şekil 4.158. Fay düzlemi üzerinde gelişen kayma dağılımı, kırmızı renk maksimum kaymayı temsil eder, (Poyraz ve diğ. 2011).	197
Şekil 4.159. Hastane temeli alanında gözlenen, Everek Fayının kuzeyindeki segment, bakış yönü KD.	198
Şekil 4.160. Yüzeye doğru dikleşen fay kollarını gösteren blok diyagram.	198
Şekil 4.161. Edremit yakınlarındaki temel kazısında belirlenen bindirme, atım yaklaşık 80 cm, bakış yönü GD.	199

Şekil 4.162. Su kanallarında depremle birlikte gelişen deformasyon, Bardakçı Köyü yakını, bakış yönü KB.	200
Şekil 4.163. Deprem sonrası gelişen yatay yerdeğiştirmeler (Altınar ve diğ. 2013).	201
Şekil 4.164. Deprem sonrası gelişen düşey yerdeğiştirmeler (Altınar ve diğ. 2013).	202
Şekil 4.165. Tabanlı depremi sonrası gelişen düşey hareket dağılımı, kırmızı alan yükselme, mavi alan alçalmayı göstermektedir (Elliott ve diğ. 2013).	203
Şekil 4.166. Telesismik ve Jeodezik veriler doğrultusunda depremin kayma miktarları (Altınar ve diğ. 2013).	204
Şekil 4.167. Everek fayı çevresinde ölçüm yapılan DGPS istasyonları, mavi yıldızlı noktalar Kuzucuoğlu ve diğ. (2010), kırmızı yıldızlı noktalar VanGaz altyapı ölçüm istasyonlarıdır. Siyah kesikli çizgi depreme kaynaklık eden Everek Fayı (Koçyiğit, 2013).	205
Şekil 4.168. DGPS ölçümü, Yumrutepe YA1 ölçüm noktası.	206
Şekil 4.169. Depreme bağlı gelişen yükselme miktarları (elips içindeki değerler) ve tektonik model. Ölçüm yapılan noktalar; M: Mollakasım, A: Alaköy, Y: Yumrutepe, T: TOKİ, Z: Zeve, B: Bardakçı, YYU: Sosyal Tesisler, MTA: MTA, İ: İskele, V: Van.	208
Şekil 4.170. Çelebibağı yerleşiminde gözlenen yanal yayılmalar, bakış yönü KB.	209
Şekil 4.171. Karasu Deltası düzlüklerinde gözlenen zemin sıvılaşmaları.	209
Şekil 4.172. Arısu Köyü civarında gözlenen yamaç diplerinde oturmaya bağlı gelişen kırılmalar.	210
Şekil 4.173. Timar (Gedikbulak) Köyü yakınında aktif hale gelen heyelan.	211
Şekil 4.174. Farklı merkezlerin depreme ait mekanizma çözümleri (HARV: Harvard Uni., USGS: US Geological Survey, INGV: Bologna-İtalya, KAN: Kandilli Rasathanesi ve DAE, ERD: AFAD-Ankara, AZUR: GeoAzur-Fransa, GFZ: Geoforschung Zentrum,Almanya) (EMSC-Avrupa-Akdeniz Sismoloji Merkezi).	212
Şekil 4.175. Artçı depremlerin dağılımı (Şengül ve diğ. 2012).	212
Şekil 4.176. Edremit depremi olası kaynak fayı, f ve g noktaları odak noktalarıdır, (Koçyiğit ve diğ. 2011'den alınmıştır).	213
Şekil 4. 177. Edremit Depremi sonrası artçı deprem dizilimi, KRDAE.	214
Şekil 4.178. DSİ binalarında D-B salınım sonucunda gerçekleşen mafsallaşma.	216
Şekil 4.179. Betonarme yapılarda D-B salınım sonucunda gerçekleşmiş makaslama çatlakları.	217

Şekil 4.180. İnceleme alanı ve çeresindeki volkanik merkezler, olası ısı kaynakları, sıcak su kaynakları ve traverten oluşum noktaları.	218
Şekil 4.181. Zilan Vadisi, Hasanabdal Köyü kuzeyinde yeralan kaplıca alanı ve bölgedeki traverten oluşumları (küçük görseller).....	219
Şekil 4.182. Zilan Vadisi, Taşkapı Köyü’nde bulunan artezyen noktaları (küçük görseller) ve kapatılmış kuyu yeri, bakış yönü K.	220
Şekil 4.183. Ovapınar Köyü güneyinde volkanitlerin çatlaklarını dolduran kalın traverten oluşumları, Tple – Etrüsk Volkanitleri.....	221
Şekil 4.184. Kurtdeliği Formasyonu içerisinde gözlenen traverten oluşumları, açık işletme yapılmış kesim, Tmk: Kurtdeliği Fm., Tplt: Timar Bazaltları, Qym: Yamaç Molozu, bakış yönü GD.	221
Şekil 5.1. Van Gölü doğu ve kuzeydoğusunun morfoloji haritası.	224
Şekil 5.2. Saat yönü tersine gerçekleşen dönme hareketinin yönleri (mor renkli oklar) ve bölgedeki ana yapısal unsurlar (sarı renkli kalın çizgiler fayları, sarı oklar fayın hareket yönünü, içi dolu sarı üçgenler ters fay/bindirmenin tavan bloğunu, kırmızı renkli çizgiler sırt hatlarını göstermektedir).	225
Şekil 5.3. Van Gölü doğu ve kuzeydoğusuna gözlenen ana faylar dönme hareketi yönleri (beyaz oklar).	226
Şekil 5.4. Eklem setleri ana düzlemleri, kontür diyagramı, projeksiyonu ve asal eksenler.	228
Şekil 5.5. Erciş civarının jeolojisi ve bölgede gözlenen ana yapısal unsurlar. Alt Miyosen yaşlı Adilcevaz Kireçtaşı birimi (Tma) ve civarını temsil eden gerilme elipsoidi (sağ üstte gösterilmiştir).	229
Şekil 5.6. İnceleme alanı güneyinin jeolojisi ve bölgede gözlenen ana yapısal unsurlar. Erken Pliyosen ve Geç Pleyistosen dönemlerini temsil eden gerilme elipsoidleri (sağ altta gösterilmiştir).	230
Şekil 5.7. Türk İran Platosu’nda gözlenen ana faylar ve dönen blok mekanizması (a). KDAFZ: Kuzeydoğu Anadolu Fay Zonu, K: Karlıova Eklemi, GSCK: Gailatu-Siah-Keşmeh-Hoy Fayı, S: Salmas Fayı, SNF: Serov Normal Fayı. A ve B noktaları Serov Fayı düzlemi ölçüm noktaları (makale içinde verilmiştir). Kesikli siyah çizgiler suture zonlarını göstermektedir (Copley ve Jackson (2006)’dan alınmıştır).	232
Şekil 5.8. Çaldıran ve Erciş Fayları arasında kalan bloğun dönme hareketi (sarı renkli ok) (Copley ve Jackson 2006), Erciş Fay Zonu güneyinde aynı yönde gerçekleşen blok hareketi (mor renkli ok) ve Erciş Fayı’na ait segmentler.	233
Şekil 5.9. Erciş Fayı Doğu Segmenti kolları ve toplam yerdeğiştirme miktarları.	234

Şekil 5.10. Erciş Fayı'nın Girekol Volkanı'nı kateden segmenti (Emre ve diğ. 2013), a) Girekol Volkanı ana krateri ve Erciş Fayı'nın konumu, b) ağırlıklı olarak kuzey kesimde gözlenen fissürler ve parazit koniler ile fayın konumu.	236
Şekil 5.11. Erciş Fayı'nın Yüksektepe Kuvaterner Volkanizması içerisindeki konumu (Emre ve diğ. 2013), yaş verileri (beyaz noktalar) Lebedev ve diğ. (2010)'dan alınmıştır.	237
Şekil 5.12. Erciş Fay Zonu'nun genel görünümü. Yüksektepe Volkanitlerini kesen fayın konumu ve açılma çatlaklarıyla olan ilişkisi (faylar Emre ve diğ. 2013 ve bu çalışma).	238
Şekil 5.13. İnceleme alanı güney kesimlerinde gözlenen aktif kütle hareketleri (Qhm) ve yapılar etkisi. Beyaz yıldız Sağlam ve diğ. (2020) çalışmasında fay düzlemi ölçümü yapılan yeri göstermektedir.	239
Şekil 5.14. Ermişler Köyü civarında gözlenen birimlerin stratigrafik ilişkisi, Tmk: Kurtdeliği Fm. Üst Miyosen, Tplt: Timar Bazaltı, Alt Pliyosen, Tple: Ermişler Tüfü, Alt Pliyosen, Qal: Alüvyon, Kuvaterner, bakış yönü GB.	240
Şekil 5.15. Ermişler Köyü civarında gözlenen birimlerin stratigrafik ilişkisi, Tplt: Timar Bazaltı, Alt Pliyosen, Tple: Ermişler Tüfü, Alt Pliyosen, Qhm: Heyelan malzemesi, Kuvaterner. Ermişler Tüf – İğnimbrit seviyesinden elde edilen radyometrik yaş verileri (küçük görsel), bakış yönü GD.	241
Şekil 5.16. Van Gölü teraslarından kavkı kırıntısı örnekleri alınan GDK22 ve ERM22 lokasyonları (Sağlam ve diğ. 2020) ve tez çalışması kapsamında OSL ve C ¹⁴ yöntemi ile yaş tayini yaptırılan göl akarsu çökellerinin yerleri ve sonuçları (küçük görseller).	243
Şekil 5.17. Erçek Gölü ve civarında görülen ana süreksizlikler, bağlantılı akarsular ve boğaz yapıları (Emre ve diğ. 2013, Özkaymak 2003, Duman ve Çiçek 2011).	244
Şekil 5.18. Erçek Gölü'nün Van Gölü ile olan olası ikinci bağlantı boğazının konumu ve bölge morfolojisini şekillendiren ana ve tali faylar (Emre ve diğ. 2013, Özkaymak 2003).	245
Şekil 5.19. Doğu Anadolu Bölgesi geneli için belirlenen paleomanyetizma yönelimleri. Oklar farklı yaş dönemlerini ve rotasyonu temsil etmektedir. LM: Geç Miyosen, LMPL: Geç Miyosen – Pliyosen, PL: Pliyosen, Q: Kuvaterner (Hisarlı ve diğ. 2016'dan alınmıştır).	246
Şekil 5.20. Pliyosen yaşlı noktalar ve ortalama mıknatıslanma doğrultuları (soldaki şekil) ve Pleyistosen yaşlı noktalar ve ortalama mıknatıslanma doğrultuları (sağdaki şekil), Kayın 2019'dan alınmıştır.	247
Şekil 5.21. Doğu Anadolu Bölgesi kabuk yapısı modeli, 6 My'dan günümüze gelişen astenosferik manto hareketleri ve oluşan yapılar, SC: Dalan kabuk içerikli astenosferik manto (Keskin 2007).	248

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Van ve civarında ölçülen sıcaklık ve yağış değerleri (1939 – 2019 arası, MGM).....	8
Tablo 4.1. Fay düzlemi bilgileri ve kinematik analiz sonuçları özet tablosu (Lok: Lokasyon, Fay Mek: Fay Mekanizması).....	152
Tablo 4.2. Fay düzlemi bilgileri ve kinematik analiz sonuçları özet tablosu (Lok: Lokasyon, Fay Mek: Fay Mekanizması).....	180
Tablo 4.3. Radyometrik yaş tayini analiz sonuçları (OSL ve ¹⁴ C yöntemi).	181
Tablo 4.4. Radyometrik yaş tayini sonuçları (K/Ar yöntemi).	181
Tablo 4.5. Van Gölü Havzası ve yakın civarında tarihsel dönemde meydana gelen depremler, Kaynaklar: 1) Ergin ve diğ. 1967, 2) Soysal ve diğ. 1981, 3) Eyidoğan ve diğ. 1991, 4) Ambraseys ve Finkel, 1995, 5) Erdem ve Lahn, 2001, 6) Ambraseys ve Finkel 2006, 7) Tan ve diğ. 2008, 8) Utkucu ve diğ. 2013, 9) Kalafat ve diğ. 2011, 10) KRDAE, 2021.....	183
Tablo 4.6. Van Gölü Havzası'nda aletsel dönemde meydana gelen M=5 ve üzeri depremler, Kaynaklar: 1) Ergin ve diğ.,1967, 2) Soysal ve diğ. 1981, 3) Eyidoğan ve diğ. 1991, 4) Ambraseys ve Finkel, 1995, 5) Erdem ve Lahn, 2001, 6) Ambraseys ve Finkel 2006, 7) Tan ve diğ. 2008, 8) Utkucu ve diğ. 2013, 9) Kalafat ve diğ. 2011, 10) KRDAE, 2021, 11) AFAD DDB, 2021.	186
Tablo 4.7. İnceleme alanında, 2011 yılından bu yana meydana gelen M=4'den büyük depremlerin odak bilgileri ve mekanizma çözümleri (AFAD DDB 2021, KRDAE 2021).....	189
Tablo 4.8. DGPS noktaları ve ölçüm değerleri (Kuzucuoğlu ve diğ. 2010, Akköprü ve diğ. 2013).....	207
Tablo 4.9. Edremit depreminde gerçekleşen ivme değerleri (AFAD, 2011).....	215
Tablo 4.10. Hız bileşen genliği ve yerdeğiştirme miktarları (AFAD, 2011).....	215

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
σ_1	: Sigma 1 Asal Gerilme
σ_2	: Sigma 2 Asal Gerilme
σ_3	: Sigma 3 Asal Gerilme
μm	: Mikrometre

Kısaltmalar	Açıklama
MTA	: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü
GPS	: Global Positioning System
InSAR	: Interferometric Synthetic Aperture Radar
XRF	: X-ray Fluorescence
OSL	: Optically Stimulated Luminescence
ERT	: Elektrik Rezistivite Tomografi
MOHO	: Mohorovicic Süreksizliği (Kabuk-Manto sınırı)
M	: Magnitüd – Büyüklük
M _w	: Moment Magnitüd
M _s	: Yüzey Dalgası Büyüklüğü
ka	: Binyıl (kilo age)
My	: Milyon Yıl
L	: Lokasyon

ÖZET

DOKTORA TEZİ

VAN GÖLÜ KUZEYDOĞUSUNUN NEOTEKTONİĞİ VE OLASI JEOTERMAL POTANSİYEL İLE İLİŞKİSİ

M.Alper ŞENGÜL

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Hayrettin KORAL

II. Danışman : Prof. Dr. M.Ali ELMAS

Doğu Anadolu Bölgesi ve özelinde Van Gölü Havzası Neotektonik dönemin aktif paydaşlarından biri olarak kabul edilmektedir. Van Depremi (23 Ekim 2011, Mw=7.1), aletsel dönem içerisinde gerçekleşmiş, ters faylanma karakterli en büyük deprem olma özelliğine sahiptir. Van Depremi ve hemen sonrası gelişen bölgesel aktif tektonizma Doğu Anadolu için öngörülen faylanma modellerinin ötesinde yeni yaklaşımlara neden olmuştur. Bu kapsamda, Van Gölü kuzeydoğusu ve civarının Kuvaterner dönemi aktif tektonizmasının ana ve tali süreksizlikleri üzerinden anlaşılması ve bölgenin jeodinamik evriminin içerisindeki konumunun belirlenmesi amaçlanmıştır.

İnceleme alanı dahilinde, temel kayaları olan Üst Triyas yaşlı kireçtaşı birimlerinin ötesinde, Oligo-Miyosen döneminden Holosen'e kadar, farklı fasiyeslerde oluşmuş bir çok kaya birimi yüzeylenmektedir. Bu kaya birimlerinin büyük bölümü neotektonik dönemin izlerini barındırmaktadır. Özellikle Kuvaterner dönemi volkanitleri ve karasal kırıntılı çökeller içerisinde bu izleri görmek mümkündür. İnceleme alanı kuzey kesimlerinde açılma tektoniği izleri belirgindir. Güney kesimlerde ise sıkışmalı tektonizma hakimdir. Geç Kuvaterner dönemi eski göl ve akarsu çökellerini kesen ana ve tali fayların oluşum yaşlarına yaklaşım yapmak amacıyla kırıntılı çökel örnekleri alınmış ve optik uyarmalı lüminesans yöntemi (OSL) ile yaşlandırma yapılmıştır. Elde edilen veriler inceleme alanının kuzey kesimlerinde 10-34ka, güney kesimlerde ise 26-83ka arasındadır. Bu veriler, Geç Pleyistosen ve Holosen dönemi aktivitesinin kuzey kesimlerde daha güncel olduğunu işaret etmektedir.

İnceleme alanı içerisinde gözlenen fay düzlemlerinin mekanizma çözümleri ve kinematik analizleri yapılmış, fayların karakterleri ve asal gerilme eksenleri ortaya konmuştur. Bu düzlem verileriyle birlikte, kuzey kesimlerde gözlenen fayların bütünü Erciş Fay Zonu kapsamında değerlendirilmiştir. Zonun, doğu kesiminde kalan faylar ile batıda Erciş civarında gözlenen ana ve tali faylar ayrı birer segment olarak tanımlanmıştır. İnceleme alanının güney kesimlerinde ise önceki çalışmalarda belirtilen ana faylar ile birlikte yeni tali faylar tanımlanmış ve bölge Çakırbey-Timar Fay Zonu olarak adlandırılmıştır. Bu fayların bazıları bölgenin jeodinamik modelinin yeniden tanımlamasında önemli rol oynamıştır.

Bölgede gelişmiş jeodinamik süreçlerin kayaçlar üzerinde bıraktığı izlerden biri olan eklemeler üzerinden stres yönlerinin dağılımı ve değişimi üzerine analizler yapılmış ve genel olarak kaya birimlerine en az üç yönde eklem takımının geliştiği gözlenmiştir. Eklem düzlemlerinin oluşumunda etken asal sıkışma yönlerinin tayininde ise genellikle iki ayrı yön tespit edilmiştir. Bu durum farklı yaş aralıklarını temsil eden kaya birimleri üzerinden denetlenmiş ve bölgedeki stres rejiminin döndüğü saptanmıştır. Özellikle inceleme alanının güney kesimlerinde Erken Pliyosen dönemi için K20D, Geç Pleyistosen dönemi için ise K50B yönü asal sıkışma yönü olarak belirlenmiştir. Bölgede son on yılda gerçekleşmiş ve düzlem çözümleri yapılmış depremlerin mekanizmaları da bölgesel olarak dönmeye işaret etmekte ve de sahada morfolojik ve tektonik verileri kesinleştirilmiş düzlemler ile benzerlikler sunmaktadır.

Stres dağılımındaki bu değişimin, bölgedeki ana fayların, Erciş Fayı doğu segmentinin ve de özellikle ters faylanma karakterli olanların, Van Gölü kuzeydoğusunda yer alan bölgenin saat yönünün tersine doğru gelişen döngüsel (rotasyonel) bir deformasyonun etkisi ile oluştuğu düşünülmektedir. Doğu Anadolu'da litosferik mantonun bulunmadığı veya çok ince olduğundan yola çıkarak, astenosferin daha sığ derinliklere Pliyosen öncesi yerleşmesi, bölgedeki ısı akısının boyutunu ve özellikle yönünü değiştirmesi nedeniyle, daha sığ kalınlıklardaki, üzerinde volkanik örtü bulunmayan yığılma kompleksi içerisinde rotasyonel deformasyonun gözlenmesine neden olduğu düşünülmektedir.

Diğer morfolojik ve tektonik veriler ile birlikte değerlendirildiğinde; Erken Pliyosen dönemi başlayan ve Kuvaternere kadar devam eden volkanizmanın kabuk altındaki ısı değişimleriyle sığ derinlikteki kabuk deformasyonlarını hızlandırdığı ve bölgedeki bu rotasyonel deformasyonun Geç Pliyosen - Geç Pleyistosen aralığında başlamış olmasında ve günümüzde devam etmesinde etken olduğu düşünülmektedir.

Mayıs 2021, 294 sayfa.

Anahtar kelimeler: Van Gölü Havzası, neotektonik, aktif fay, kinematik analiz, rotasyon

SUMMARY

Ph.D. THESIS

NEOTECTONICS OF NORTHEAST LAKE VAN AND ITS RELATIONSHIP WITH THE GEOTHERMAL POTENTIAL

M.Alper SENGUL

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Geological Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Hayrettin KORAL

Co-Supervisor : Prof. Dr. M.Ali ELMAS

The Eastern Anatolia Region and specifically the Lake Van Basin are considered as one of active parts of the neotectonic framework. The Van Earthquake (23 October 2011, Mw=7.1) was the largest earthquake with reverse faulting character and occurred in the instrumental period. The regional active tectonism that developed in the aftermath of the Van Earthquake led to new approaches beyond the projected faulting models for Eastern Anatolia. In this context, this thesis is aimed to study the Quaternary active tectonism of the northeast Lake Van and its vicinity via the main and secondary discontinuities and to determine its place in the geodynamic evolution.

Within the study area, aside from the Upper Triassic limestone bedrock unit, many rock units in different facies ranging in ages from the Oligo-Miocene to the Holocene are exposed. Most of these rock units contain features of the Neotectonic period. It is possible to see these especially in the Quaternary period volcanics and terrestrial clastic sediments. Traces of extensional tectonics are evident in the northern parts of the study area. Compressive tectonism is dominant in the southern parts. In order to approximate ages of the main and secondary faults cross-cutting the old lake and stream sediments of the Late Quaternary period, clastic sediment samples were taken and geochronological dating was performed with the Optically Stimulated Luminescence method (OSL). The data obtained are between 10ka - 34ka in the northern parts

of the study area and 26ka - 83ka in the southern parts. These data may suggest the Late Pleistocene and Holocene period activity is much more recent in the northern parts.

The mechanism solutions and kinematic analyzes of the fault planes observed in the study area were made and the characteristics of the faults and the principal stress axes were revealed. Together with these plane data, all of the faults observed in the northern part of the study area were evaluated within the scope of the Erciş Fault Zone. The faults in the eastern part of this zone and the main and secondary faults observed around Erciş town in the west have been defined and evaluated as separate segments. In the southern part of the study area, new secondary faults were identified together with the main faults mentioned in the earlier studies and it was named as Çakırbey-Timar Fault Zone. Some of these faults have played an important role in redefining the geodynamic model of the region.

Analyzes have been made on the distribution and variation of the stress directions on the joints, which are one of the structural features developed during the geodynamic processes in the region, and it has been observed that the joint sets have developed in at least three directions in the rock units. Generally, two different orientations have been observed in the determination of the principal compression directions that are effective in the formation of joint planes. This situation was evaluated over the rock units representing different age ranges and it was determined that the stress regime in the region oriented in different directions. Especially in the southern parts of the study area, the N20E direction for the Early Pliocene period and the N50W direction for the Late Pleistocene was determined as the principal compression direction. The mechanisms of the earthquakes that have occurred in the region in the last decade and whose plane solutions have been made point to regional rotation, and they present similarities with the planes with morphological and tectonic data in the field.

With this change in the stress distribution, it is thought that the main faults in the region, the eastern segment of the Erciş Fault, and especially those with reverse faulting character, were formed by the influence of a rotational deformation that develops in the counterclockwise direction east of Lake Van area. Considering that there is no lithospheric mantle in Eastern Anatolia or it is very thin, the emplacement of the asthenosphere to shallower depths before Pliocene changes the size and especially the direction of the heat flux in the region, causing rotational deformation in the accretion complex with no volcanic cover to be suggested.

It is thought that the volcanism that started in the Early Pliocene period and continued until the Quaternary, accelerated the surface deformations with the temperature changes under the crust, and this rotational deformation in the region, when evaluated together with other morphological and tectonic data, started and continued in the Late Pliocene - Late Pleistocene.

May 2021, 294 pages.

Keywords: Lake Van Basin, neotectonics, active fault, kinematic analysis, rotation

1. GİRİŞ

1.1.ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Türkiye’de Neotektonik evre, Bitlis Kenet Kuşağı boyunca Anadolu ile Arap levhalarının çarpışması ile başlamıştır (Şengör ve Yılmaz 1981). Anadolu (Avrasya) ile Arap (Afrika) levhası arasında yer alan Neotetis okyanusal litosferinin, levhalar arasındaki yaklaşma nedeniyle kaybolması ve levhaların Orta Miyosen döneminde çarpışması ile Türk-İran platosu sınırları (Doğu Anadolu Bölgesi) içerisindeki kıta kabuğunda kalınlaşma ve yamulma meydana gelmiştir. Bitlis-Zagros çarpışma cephesinin kuzeyindeki kıta kabuğu yaklaşmayı kısalarak karşılamış, Doğu Anadolu Bölgesinin melanj kamasından ibaret olan kıta kabuğu kıvrım ve bindirme tektoniği vasıtasıyla kalınlaşmıştır (Şaroğlu ve Yılmaz 1986). Ancak artan kabuk kalınlığı nedeniyle deformasyon giderek artmış ve sonuçta, Anadolu levhası, Doğu Anadolu’daki sıkışma bölgesinden, batıya doğru, daha kolay dalabilen Doğu Akdeniz litosferinin üzerine hareket etmeye başlamıştır.

Kuzey ve Doğu Anadolu Transform Fay Zonları’nın kesiştikleri noktayı oluşturan Karlıova eklemine doğusundaki Üst Miyosen ve Pliyosen tortulları genel olarak D-B doğrultulu eksenler boyunca kıvrımlanmışlardır (Şaroğlu 1985). Doğu Anadolu’daki birçok tektonik yapı, bölgedeki deformasyonun K-G yönlü sıkışma ve D-B genişlemeyi gösteren yanal atımlı faylar, ters faylar, açılma çatlakları ve kıvrımlar vasıtasıyla karşılandığını göstermektedir.

Doğu Anadolu bölgesi bu özelliğiyle, Türkiye’nin Neotektonik evriminde önemli bir öge olarak karşımızdadır. Neotektonik dönemin başlangıcından itibaren bölgede birçok yapısal unsur gelişmiş, bu yapısal usurlar bölgenin doğal kaynaklarının yanısıra depremselliğinin kaynağını da oluşturmuştur. Bu nedenlerle Doğu Anadolu’nun neotektonik evriminin anlaşılması akademik olduğu kadar ekonomik ve toplumsal değer de taşımaktadır.

Van Gölünün kuzeydoğu bölgesini kapsayan çalışma sahası genelinde Triyas yaşlı neritik karbonatlar, Oligo-Miyosen yaşlı kırıntılılar ve karbonatlar, Pliyosen-Pliyokuvaterner yaşlı volkanitler ve Kuvaterner yaşlı karasal kırıntılılardan oluşan istifler bulunmaktadır. Bu birimler içerisinde Doğu Anadolu Bölgesinin genelinde gözlenen KD-GB ve KB-GD uzanımlı doğrultu atımlı faylar, D-B uzanımlı ters faylar, kıvrımlar ve K-G uzanımlı açılma çatlakları gözlenmektedir (Bozkurt 2001, Koçyiğit ve diğ. 2001, Dhont-Chorowicz 2006). Çaldıran

Depremi ($M_s=7.3$; 1976) aletsel dönem içerisinde meydana gelmiş bölgedeki en büyük etkideki deprem olarak kayıtlara geçmiştir. Ancak tez çalışması sürecinde 23 Ekim 2011 tarihinde gerçekleşen $M_w=7.1$ büyüklüğündeki Van Tabanlı Depremi, bölgenin tektonik evriminin, neotektonik özelliklerinin ve depremselliğinin değerlendirilmesi üzerine çok büyük katkı sağlamıştır. Bu kapsamda depremin ve onu geliştiren fayın etkileri tez çalışmasına dâhil edilmiştir. Van Depremi, ülkemizde aletsel dönem içerisinde kaydedilen en büyük magnitüdü ters faylanma kökenli depremdir. Depreme kaynaklık eden Everek Fayı (Koçyiğit, 2013) (Emre ve diğ. 2013) Doğu Anadolu Bölgesinde aktif stres rejiminin etkilerinin anlaşılmasında önemlidir.

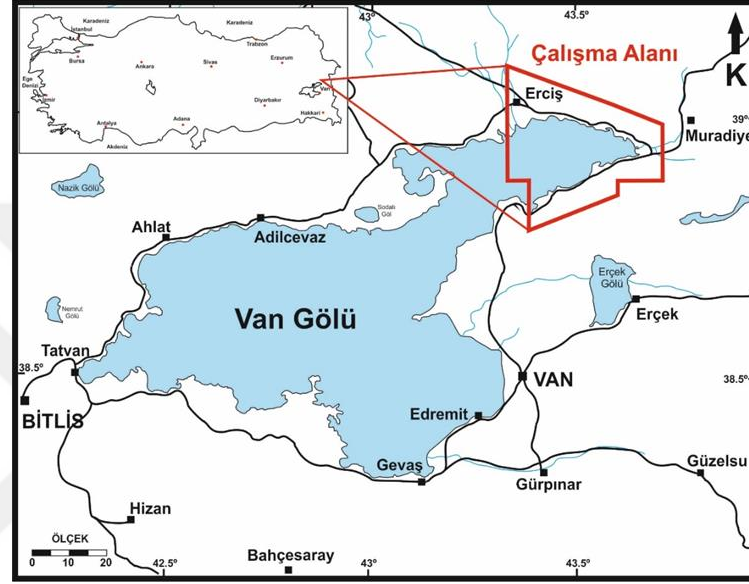
Bu yapısal unsurlara ilave olarak çalışma alanı içerisinde/yakınında Girekol, Etrüsk ve Tendürek gibi Pliyosenden daha genç hatta Kuvaterner yaşlı Girekol, Çolpan gibi volkanik merkezler bulunmaktadır. Önceki yıllarda yapılan çalışmalar ile bu volkanik birimlerin istifsel, stratigrafik konumu, jeokimyası ve jeokronolojisi hakkında önemli bir bilimsel veri tabanı oluşmuştur (Keskin 2003, Oyan ve diğ. 2016). Buna karşılık bu volkanik istifin bir bölümünün neotektonik evrelerle ilişkisi hakkında sadece genel yorumlar vardır. Bu durum bölgenin Neojendeki özellikle Pliyosen dönemi ve sonrasındaki jeolojik evrimi açısından eksiklik oluşturmaktadır.

Bölgede bazı jeotermal kaynaklar bulunmaktadır. Bölgedeki aktif tektonik yapılar ve genç volkanik faaliyetler buradaki jeotermal potansiyelin ana unsurlarını oluşturmaktadır. Bu kaynakların varlığına rağmen bölge genelinde jeotermal potansiyelden hemen hemen hiç yararlanılamamaktadır. Tez kapsamında bölgedeki mevcut jeotermal potansiyel ile yakından ilişkisi olan neotektonik yapıların ilişkilerine de değinilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında, Van Gölü Havzası kuzeydoğusunun ve Erciş İlçesi civarının neotektonik özellikleri, aktif yapısal unsurları detaylı olarak araştırılmış; bu yapısal unsurların Doğu Anadolu için şimdiye değin önerilen genel tektonik model ile olan ilişkisi ortaya konmuştur. Neotektonik dönem içerisinde bölgeyi etkileyen genel stres rejimlerinin değişimi ve buna bağlı gelişen yapılar ile depremselliğin ileriye dönük öngörülleri tartışılmıştır.

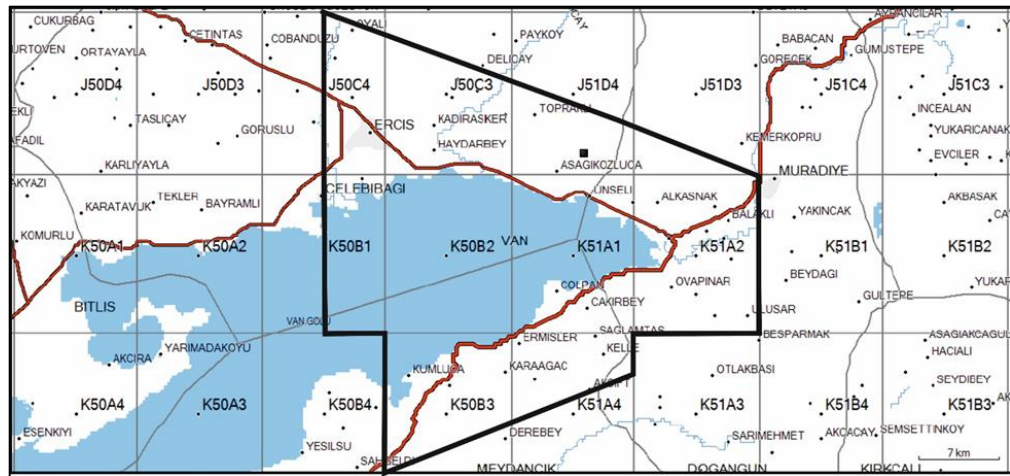
1.2. ÇALIŞMA ALANININ TANITIMI

Teze konu olan çalışma alanı Van Gölü Havzasının kuzeydoğusunu kapsamaktadır. Doğu Anadolu Bölgesi'nin en büyük yerleşim yeri olan Van İlinin kuzeyi ve onun en büyük ilçesi olan kuzeydeki Erciş İlçesi civarı ve doğusu çalışma alanı sınırlarını oluşturmaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası, kırmızı renkli çerçeve ile gösterilmiştir

Araştırma alanı dâhilindeki 1/25.000 ölçekli topografik haritaların dizini ise; J50c4, J50c3, J51d4, J51d3, K50b1, K50b2, K51a1, K51a2, K50b3, K51a4 şeklindedir (Şekil 1.2).

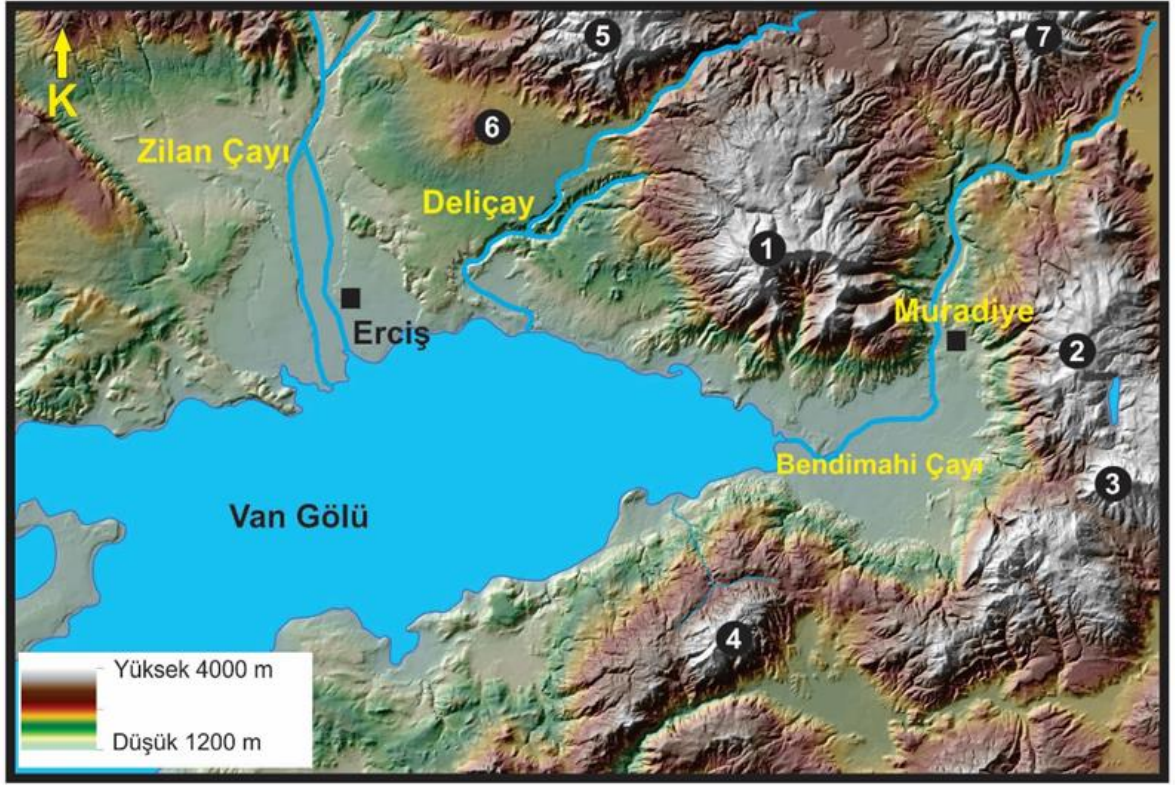


Şekil 1.2. Tez alanı kapsamındaki 1/25.000 ölçekli topografik harita dizini.

Van Gölü Havzası ve yakın çevresi, Doğu Anadolu'nun genelinde gözlenen ve Orta Miyosen'den sonra başlayan şekil değiştirmelerin tüm morfolojik etkilerini barındırmaktadır. Çarpışma sonrasında güneyden kuzeye doğru gerçekleşen yığışım, kuzey güney yönlü kısalma ve buna bağlı olarak eski okyanusal litosfer yerleşimleri, özellikle Van Gölü doğusundaki yükseltileri, dağlık alanları oluşturmaktadır. Güneydeki Bitlis Zagros Sütur Zonu (BZSZ) ise yığışımın ana ögesi ve en yüksek kesimi olarak Van Gölü Havzası'nın güneyini sıradağlar şeklinde sınırlamaktadır. Neotektonik dönem içerisinde gerçekleşen kabuktaki kısalma-kalınlaşma ve bunun sonucunda gerçekleşen derin delaminasyon süreci (Keskin, 2003) özellikle Doğu Anadolu Bölgesinin kuzey kesimlerinin deniz seviyesinden ortalama 2000 metreye ulaşmasına neden olmuştur. Bununla birlikte kabukta gerçekleşen bu olaylar neticesinde genç volkanizma oluşmuş ve volkanik birimler hem platonun ortalama yüksekliğini artırmış hem de tekil volkanik dağların 5000 m yüksekliğine kadar ulaşmasına neden olmuştur. Bu haliyle Doğu Anadolu Bölgesi yüksek bir yayla özelliğindedir. Gerek sıkışma gerekse volkanik etkiler nedeniyle gerçekleşen bu yükselti sıralarının aralarında kalan çukur kesimler ise geniş yüksek ovaları ve dağ arası havzaları oluşturmuştur (Şaroğlu 1985).

1.2.1. Topografya ve Akarsular

İnceleme alanı yukarıda bahsi geçen morfolojik yapıların bir bölümünü içermektedir. Sahanın kuzey bölümlerinde daha çok volkanik yükseltiler, doğu kesimlerinde ise melanj ürünleri gözlenmektedir (Şekil 1.3). Bu dağlık kesimlerin haricindeki alanlar ana akarsu vadileri ve bunların geniş alüvyal çökellerinin oluşturduğu düzlüklerdir. Bunlarla birlikte Van Gölü'nün eski kıvrımlı çökelleri ve alüvyal yelpazeler mevcut göl şeridinin yakınındaki düzlükleri ve nispeten daha düşük kotlardaki alanları oluşturmaktadır.



Şekil 1.3. Çalışma alanı ve çevresinin jeomorfoloji haritası ve akarsular, siyah dairenin olduğu alanlar önemli yükseltiler; 1: Etrüsk Volkanı (2860 m), 2: Pir Reşit Dağı (3085 m), 3: Beşparmak Tepe (2695 m), 4: Sağlamtaş Tepe (2690 m), 5: Aladağ (3145 m), 6: Girekol Volkanı (2145 m), 7: Köseadağ Tepe (2600 m).

Van Gölü'nün kuzeydoğu kesiminde gözlenen en önemli akarsular, gölün en kuzeydoğu noktasına dökülen ve kuzeyden Çaldıran- Muradiye bölgesinden gelen Bendimahi Çayı ile Erciş yerleşiminin üzerine kurulduğu geniş alüvyal birikintileri oluşturan kuzeydeki Zilan Çayı ile kısmen doğusundaki Deliçay'dır. Bendimahi Çayı'nın toplanma havzası olan Çaldıran bölgesine kadar olan yaklaşık uzunluğu 45 km civarındadır (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Bendimahi Çayı ve Muradiye Şelalesi, Muradiye, bakış yönü KD.

Zılan Çayı ise kuzey güney doğrultusunda olup yaklaşık uzunluğu 40 km dir (Şekil 1.5). Zılan Çayı, Erciş alüvyal düzlüğünde iki ana kolda hareket ederek Van Gölü'ne dökülmektedir. Deliçay ise yaklaşık 30 km uzunluğundadır.



Şekil 1.5. Zılan Vadisi ve Zılan Çayı, Erciş Kuzeyi, bakış yönü KD.

1.2.2. İklim ve Bitki Örtüsü

Doğu Anadolu Bölgesinin iklimi, şiddetli karasal olmasıyla dikkati çekmektedir. Bu karakter, bölgenin merkezi boyunca, doğuya doğru gidildikçe, yani çevre denizlerin etki alanlarından uzaklaşıldıkça daha da belirginleşir. Bölgede kışlar özellikle çok uzun, şiddetli ve karlıdır. Buna karşılık yaz mevsimi çok kısa olmakla birlikte, bölgenin kuzey kesimlerindeki yüksek yaylalarda bile yaz ayları oldukça sıcak geçer. Van ili ve çevresi de tipik karasal iklim hüküm süren bir kesimde yer almaktadır. Kışlar uzun, soğuk ve kar yağışlı, yazlar ise sıcaktır. Aylık ve yıllık oranda sıcaklık farkları oldukça yüksektir (Tablo 1.1). Karasal iklimin özelliğinden dolayı ilkbahar ayları da kısa sürmektedir. Yağışlar da buna bağlı olarak ilkbahar ve sonbahar aylarına kaymıştır. Bütün bu genel özelliklerin ötesinde Van yerleşimi ve Van Gölü Havzası'nda gölün etkisinden kaynaklı bariz farklılıklar da bulunmaktadır.

Marmara Denizi'nin 1/3'ü büyüklüğündeki yüzölçüme sahip Van Gölü'nün, havza çevresinin iklimine olan etkilerini görebilmek için, herhangi bir büyük boyutlu su kütlesine sahip olmayan Muş ve Ağrı illerinde ölçülen sıcaklık değerleri ile karşılaştırmak yeterli olacaktır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) verilerine göre sıcaklık koşulları yönünden aşağı yukarı aynı etkilere sahip olan Van Gölü kıyılarının tüm istasyonlarında yıllık sıcaklık ortalaması 9.4° , yılın en soğuk ayı olan Ocak ayı ortalaması -3.1° , Temmuz ayı ortalaması ise 22.2° civarındadır (Tablo 1.1). Oysa hemen hemen aynı enlemde ve daha batıda yer alan, üstelik Van Gölü çevresindeki istasyonlardan 400-500 m. daha alçakta bulunan Muş'ta Ocak ayı ortalama sıcaklığı -7.1° dir. Bu durumda Ocak ayının Muş'ta, Van Gölü çevresine göre bir kat daha soğuk geçtiği anlaşılmaktadır. Bu ayın ortalama sıcaklığı, Van'a göre 100 m. daha alçakta, ancak daha kuzeyde bulunan Ağrı'da ise -10.6° dir. Mutlak sıcaklıklara bakıldığında bu durum daha da belirginleşmektedir. Van Gölü'nün yerinde bir ovanın bulunduğu varsayıldığında, şu anda -25° ile -28° civarında olan şimdiye kadar ölçülmüş en düşük sıcaklığın -40° lere kadar düşeceği rahatlıkla söylenebilir. Zira aynı değer Muş'ta -34° , Ağrı'da ise -45.6° olarak ölçülmüştür. Böylece, geç ısınıp geç soğuduğu ve bünyesinde daha fazla ısı depo edebileceği için kışın, çevresine göre ılık kalan Van Gölü, bu mevsimde kıyısındaki sahaların sıcaklıklarının fazla düşmesini önlediği gibi, yazın da fazla yükselmesine engel olarak karasallığı bir dereceye kadar azaltmış olur.

Tablo 1.1. Van ve civarında ölçülen sıcaklık ve yağış değerleri (1939 – 2019 arası, MGM).

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	-3.1	-2.5	1.5	7.6	13.1	18.2	22.2	22.1	17.8	11.2	4.8	-0.4	9.4
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	1.9	2.6	6.5	12.8	18.5	23.9	28.2	28.4	24.3	17.3	10.2	4.4	14.9
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-7.5	-7.1	-2.8	2.5	7.0	10.8	14.6	14.6	10.7	5.6	0.3	-4.6	3.7
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	4.5	5.3	5.9	7.2	9.2	11.6	12.0	11.3	9.7	7.0	5.5	4.2	93.4
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	10.1	9.9	12.2	12.3	11.1	5.2	2.0	1.3	2.4	8.4	8.9	9.8	93.6
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	35.6	33.4	46.4	55.6	45.9	18.6	6.2	5.8	15.8	47.0	47.7	38.0	396.0
En Yüksek Sıcaklık (°C)	12.6	14.3	22.7	27.2	28.3	33.5	37.5	36.7	35.0	28.8	20.1	15.5	37.5
En Düşük Sıcaklık (°C)	-28.7	-28.2	-22.7	-13.1	-3.5	-2.6	3.6	5.0	-0.1	-14.0	-18.6	-21.3	-28.7

Van Gölü ve çevresinde yukarıda bahsi geçen mikroklima özelliklerinden dolayı Akdeniz ve karasal yağış rejimleri arasında geçiş tipi bir yağış rejimi görülmektedir. Yağışın en fazla olduğu mevsim ilkbahardır (%37.3). Bunu kış (%30.6) ve sonbahar (%27.9) izler. Yağışın en az olduğu mevsim ise yazdır. (%7.7) Yağışın büyük bir kısmının kışa yığıldığı, fakat yaz mevsiminin yok denecek kadar az yağış aldığı Akdeniz yağış rejiminden, en yağışlı mevsimin kıştan ilkbahara kaymasıyla ayrılır (karasal tesir). En az yağış alan mevsimin kışa rastladığı, en fazla yağışın ise yazın düştüğü karasal rejimden ise, kışın en yağışlı ikinci mevsim olması ve yaz kuraklığıyla farklılaşır. Yağışlı geçen 94 günün 42'sinde kar yağar. Kar yağışlarının görüldüğü devre Kasım başından Nisan sonuna kadar devam eder ve yağan kar 3 aya yakın yerde kalır. Van, yılın 120 günü açık, 200 günü bulutlu ve 45 günü ise kapalı gün özelliği ile Türkiye'nin en fazla güneş alan illerinden biridir. Tarihte Urartular'a başkentlik yapmış Van'ın, "Tuşba" adını alması, Tuşba'nın "Güneşi bol olan" anlamına gelmesindendir.

İklimsel şartlar göz önüne alındığında Van'ın güney kesimleri dışında kalan bölgelerde geçmişteki doğal bitki örtüsünün ağaçlı bozkır olduğu söylenebilir. Başlıca türler, çeşitli meşe türleri ve bodur ardıçlardır. Çam türleri, Van Gölü çevresinde kendilerine uygun, ekolojik ortamı bulamamışlardır. Bugün orman kalıntılarına ilin güney kesimlerinde rastlanmaktadır. Bu kesimlerde bitki örtüsü genellikle meşelerden oluşur. Meşeler, bozulmuş, birçok yerde çalılık halini almıştır. Ağaçlık sahalara Gevaş İlçesinin güneyinde de rastlanır. Meşeler yanında, seyrek de olsa, sakız menengiç, bodur ardıç, kızılçık, doğu çınarı, ceviz, titrek kavak ve yabani meyve ağaçları da görülmektedir. Van'ın güneyinde de bozkırlar görülür ve en önemli elemanı geven otudur. İlin güneyi dışında ormanlara rastlanmaz. Sadece Erciş'in kuzeyinde, Zilan

vadisinde seyrek meşe toplulukları bulunur. Van'ın doğu ve kuzeyi bugün çok geniş bozkır görünümündedir. Seyrek olarak vadi boylarında ağaçlara rastlanır.

Çalışma alanı dâhilinde ana yerleşim yeri olan Erçiş haricinde tüm kırsal alan bozkır olup genel bitki örtüsü çalılık ve gevenlerdir (Şekil 1.6). Bununla birlikte bitki örtüsü bakımından daha zengin olan Erçiş yerleşimi alüvyal düzlüklerinde ise endüstriyel olarak yetiştirilen kavaklık alanlar ön plana çıkmaktadır. Bunların haricinde tarımsal alan kullanılan bahçeler ve meralar da farklı türde ağaçları barındırmaktadır.



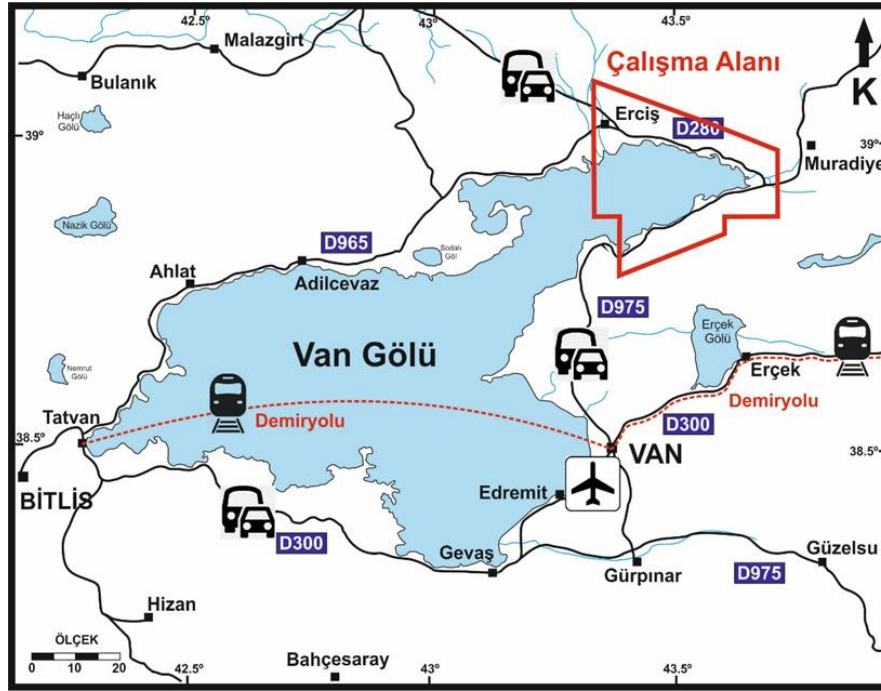
Şekil 1.6. Geniş bozkır (step) ve dere boylarında yetiştirilen endüstriyel kavaklık alanlar, Kocapınar Köyü sırtları, uzaktaki yerleşim Erçiş İlçesi, bakış yönü D.

1.2.3. Yerleşim Merkezleri ve Ulaşım

Çalışma alanı ve civarındaki en büyük yerleşim yeri Van İli'dir. Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) verilerine göre il nüfusu 2019 yılında toplam 1.136.757 kişi olarak sayılmıştır. Yine, çalışma alanı içerisinde kalan en büyük ilçe özelliğine sahip Erçiş İlçesi ise aynı dönem verisine göre toplam 175.108'lik bir nüfusa sahiptir. Çalışma alanı içerisindeki son büyük yerleşim ise Muradiye ilçesi olup nüfusu 50.206'dır (TÜİK 2020).

Teze konu olan çalışma alanına ulaşım kara, hava ve demiryolu aracılığıyla yapılabilmektedir. Van ilinde bulunan havalimanına İstanbul ve Ankara'dan her gün ulaşım sağlamak mümkündür. Havayolu aracılığıyla gelindiğinde çalışma alanına ulaşmak için kuzeye Erçiş İlçesine doğru karayoluyla ulaşım sağlanması gerekmektedir (Şekil 1.7). Bölgedeki karayolu ağı ağırlıklı olarak Van İl merkezine ulaşımı sağlamakla birlikte, doğu kesimde İran sınırı olması sebebiyle de önem taşımaktadır. Bu haliyle gerek Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinden gerekse Bitlis, Muş, Erzurum ve Ağrı illerinden Van'a doğru karayolu ulaşımı yaygınca kullanılmaktadır. Van merkez ile Erçiş ilçesi arası yaklaşık 100 km'dir. Çalışma alanına, kuzeye doğru yönelen D975 karayolunu takip ederek ulaşılabilirdiği gibi, Erzurum üzerinden gelindiğinden kuzeyden güneye Erçiş'e yönelerek D280 karayolundan da ulaşılabilir (Şekil 1.7).

Bölgedeki demiryolu ağı, Malatya-Elazığ-Muş'u katederek Van Gölü batısında Tatvan'a ulaşır ve buradan feribot ile Van İskeleyne geçer. Ardından Van merkezinden doğuya yönelerek İran sınır kapısı olan Kapıköy'e ulaşmaktadır. Van yerleşimine ve dolayısı ile çalışma sahasına demiryolu ile ulaşım zahmetli ve uzun sürmektedir. İnceleme alanı dâhilindeki kırsal kesimlere ise bölgedeki stabilize köy yolları ve yaya olarak bazı patikalardan ulaşılabilir.



Şekil 1.7. Çalışma alanı ve çevresinin ulaşım ağı, siyah çizgiler karayolu, kırmızı kesikli çizgi demiryolunu göstermektedir.

2. GENEL KISIMLAR

Bu bölüm kapsamında gerek tez konusu gerekse çalışılan bölge için daha önceki dönemde yapılmış çalışmalar özetler halinde sunulacak, ardından Van Gölü Havzası olarak nitelendirilen bölgenin 1/500.000 ölçekli bölgesel jeolojisi hakkında bilgilendirme yapılacaktır. Son kısımda ise bölgesel neotektonik konum ve neotektonik dönemin ana yapıları tanıtılacaktır. Kısım 2.1 “Önceki Çalışmalar” iki temel bölüme ayrılmıştır. Bunun nedeni, 23 Ekim 2011 tarihinde gerçekleşen $M=7.1$ büyüklüğündeki Van Depremi’nin gerek Doğu Anadolu neotektoniği gerekse yerel olarak Van Bölgesi için milat niteliğinde olmasıdır. Ters faylanma mekanizmalı $M=7$ büyüklüğünün üzerindeki ilk büyük deprem olma özelliği ile bu deprem sonrasında halen günümüzde de devam eden birçok çalışma yapılmış ve araştırmacıların yoğun ilgisini çekmiştir. Bu kapsamda önceki çalışmalar bölümü Van Depremi öncesi ve sonrası olmak üzere iki temel kısımda ele alınmıştır.

2.1. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

LAHN, E., (1946) çalışması Van yerleşimi civarı ile ilgili depremsellik çalışmalarının en eskilerinden biri olma özelliğindedir. Bu çalışmada 1945 senesi Haziran ayından itibaren başlayan ve Aralık ayına kadar aralıklarla devam eden depremlerin bölgedeki hangi faylardan kaynaklandığı ve yerleşim yerlerine verdiği hasarın boyutu çalışılmıştır. Çalışmaya göre gerçekleşen depremlerin etkisi bölgesel olarak kalmış ve şiddeti Mercalli ölçeğine göre VI’yı geçmemiştir. Bu haliyle gözlenen hasarın boyutu ve bölgedeki o döneme ait yapı stoğu gözönünde bulundurulunca depremin büyüklüğünün $M=5-5.5$ arasında olabileceği düşünülmektedir. Depremler köylerde binalarda hasar vermiş ancak Van merkez ve ana ilçelerde az hasara yolaçmıştır. Çalışma sonunda Van çevresinin gelecek için deprem bölgesi olarak alınması ve tehlike içerdiği belirtilmiştir.

DEMİRTAŞLI, E., PISONI, C., (1965) çalışmasında Van Gölü kuzeyinde kalan Ahlat ve Adilcevaz ilçelerini kapsayan alanın genel jeolojisi ve stratigrafisini ayırtlamış ve birimlerin tanımlanması yaparak isimlendirilmiştir. Bu çalışmaya göre, bölgedeki istif Van Gölü kuzeyinde Ahlat ve Adilcevaz kompleksi isimli Üst Kretase yaşlı ofiyolit, çakıldaşı, kumtaşı, marn, şeylli kireçtaşı, piroklastikler ve resiflerden meydana gelen birimdir. Bu birim üzerinde uyumsuz olarak karasal Ahlat konglomerası gelmektedir. Yazarlar bu birimin yaşını olasılı olarak Eosen-Oligosen olarak vermişlerdir. Bu birimin üzerine Burdigaliyen yaşlı daha çok

resifal karakterli olan yer yer 500 m kalınlığa kadar ulaşan Adilcevaz kireçtaşı birimi gelmektedir. Daha üstte ise uyumsuz olarak Aktaş konglomerası ve kumlu, marnlı, şeylli seviyelerden oluşan Develik formasyonu bulunmaktadır. Develik formasyonu üzerinde ise uyumlu olarak Çukurtarla kireçtaşı gelmektedir. En üstte ise Kuvaterner taraçalar, travertenler ve güncel alüvyon birimleri ile istif son bulmaktadır. Yazarlar, birimlerin çökel ortamlarına göre bölgenin tarihsel evrimi ile ilgili olarak Geç Kretase döneminde sahanın geniş bir jeosenklinal ortam şartlarının hâkim olduğunu, Eosen ve Oligosen’de ortamın karasal, Miyosen başından itibaren transgresyon ile denizel ortama geçildiğini ve bu durumun Geç Miyosen’e kadar devam ettiğini ve bu andan itibaren Erken Pliyosen’e kadar gölsel şartların hüküm sürdüğü belirtilmiştir.

KETİN, İ., (1977) çalışmasında Van Gölü ve İran sınırı arasında kalan bölgede gözlenen olası fay zonlarını haritalamış ve saha gözlemlerini açıklamıştır. Çalışmaya göre bölgede 4 temel fay zonu bulunmaktadır. Bunlar Doğu-Batı uzanımlı zonlar halinde gözlenmekle birlikte en kuzeydeki fayların Kuzey Anadolu Fayı’nın devamı niteliğinde olabileceği de belirtilmiştir. Diğer güneye doğru olan fay zonları ise Van il yerleşimini etkileyebilecek nitelikte olarak belirlenmiştir. Ancak çalışmada üzerinde durulan önemli bir nokta bu fayların eldeki veriler doğrultusunda, her ne kadar hava fotoğrafları ve kısmen saha verileri olmasına karşın, olası fay olarak nitelendirilmesi gerektiğidir.

ŞENGÖR, A.M.C., KIDD, W.S.F., (1979) çalışmasında yazarlar Türk-İran Platosu ve Tibet Platosunun gelişimlerinin farklı evrelerle olmasına karşın büyük benzerlikler sergilediğini belirtmişlerdir. Buna göre; iki bölgede sismik zon üzerinde yer almakta ve tektonik etkilerle kısalmaktadır. Bunun belirteci olarak da Türk İran Platosundaki Miyosen sonrası gelişen volkanizma ve deprensellik ile Tsaidam-Tibet havzasındaki genç kıvrımlanmayı ve Tibet Platosunun genç volkanizması örnek gösterilmiştir. Yazarlar platoların morfolojilerinin, jeolojilerinin ve volkanizma ürünlerinin benzer oluşunu, litosferin alt seviyelerinin kısmi ergimesi sonucu kalkalkalen volkanizma ürünü oluşturan kıtasal kabuğun kısılması ve kalınlaşması olarak açıklamışlardır.

ŞAROĞLU, F., GÜNER, Y., (1981) çalışmasında, Doğu Anadolu’da Orta Miyosen’de kıta kıta çarpışmasıyla başlayan neotektonik dönemde yeni bir morfoloji oluştuğu ve buna göre peneplen veya peneplene yakın bir paleocoğrafyanın tektonik ve volkanik birimler ile yeniden şekillendiği belirtilmiştir. Bu etkenler, yani K-G yönlü sıkışma ve yoğun volkanik faaliyetin

olduğu alanlar ile yeni gelişen yapılar arasında ilişkiler belirlenmiştir. Çalışmada genel olarak, D-B yönünde gelişmiş antiklinallerin sırtlara, senklinallerin ise sırt arası havzalara denk geldiği, bu durumun Geç Miyosen'den günümüze kadar olan birimlerde geçerli olduğu belirtilmiştir. Doğrultu atımlı fayların etkin olduğu alanlarda havza geometrilerinin yine bu faylar boyunca uzadığı, tektonik rejimin havzayı daraltması gerekirken havzalar ile sırtlar arasında büyük yükselti farkının olmayabileceği belirtilmiştir. Çalışmada Doğu Anadoludaki havzaların genişlemeye bağlı değilse sıkışma rejimine bağlı olarak geliştiği ve hiçbirinin graben olmadığı vurgulanmıştır. Bununla beraber bu havzaların dağ arası havza adı ile tanımlanmasını daha doğru olacağı belirtilmiştir. Genel olarak gelişen havzaların birden fazla yapının kontrolünde olduğu vurgulanmış ve havzaların genç birimlerle örtülü olması nedeniyle jeofizik çalışmalarla desteklenerek yeniden araştırılması önerilmiştir.

DEGENS, E.T., ve diğ. (1984) çalışmasında Van Gölü'nün, şelf, şelf yamacı ve basen olmak üzere üç ayrı bölgeye ayrılabilceğini belirtmişlerdir. Şelf düzlüğünün çoğunlukla akarsu çökelleri, delta çökelleri ve alüvyal düzlüklerden oluştuğunu, çökellerin yer yer kaotik bir yapıda olup karmaşık seviyeler içerdiğini belirtmişlerdir. Çalışma kapsamında göl seviyesinin değişimlerinin özellikle Holosen döneminde iklimsel değişimler ile ilgili olduğu vurgulanmıştır. Çalışma kapsamında, mevsimsel olarak suyun kimyasının değişim etkisinin güncel çökellerde çok belirgin olup beyaz renkli karbonat çökellerin kış mevsiminde, koyu renkli seviyelerin ise yaz mevsiminde oluştuğu belirtilmiştir. Buna bağlı olarak çökeltme hızı saptanmış ve yaklaşık 40 - 90 cm lik bir tabakanın 1000 yılda oluştuğu belirtilmiştir. Çalışmada ayrıca Van Gölü'nün 18.000 yıl önce günümüzdeki seviyesinden yaklaşık 72 m daha yüksekte olduğu, günümüzden 9500 yıl öncesinde dramatik bir şekilde 300 m nin üzerinde bir düşüş gösterdiği ve akabinde yine günümüzden 6500 yıl öncesinde ise tekrar yükselmeye başladığını belirtmişler ve bu büyük değişimlerin izlerinin çökellerde, jeokimyasal değişimlerde ve polenlerde görüldüğünü saptamışlardır.

KARAMANDERESİ İ. ve diğ. (1984) bölgenin jeotermal potansiyeli ile ilgili olarak yapılan çalışmaların büyük bir bölümü Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü bünyesinde 1974 yılından bu yana yapılan çalışmalardır. Bu çalışmaların önemli bir bölümü teze konu olan alanın daha kuzeyinde yer alan Diyadin ve çevresinde yoğunlaşmış olup inceleme sahası içerisinde yüzeydeki sıcak su noktaları baz alınarak da çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların başında Zilan Deresi (Van Erciş) civarında yapılan çalışma gelmektedir. Bu çalışmalardan biri olan

Karamenderesi ve diğ. (1984) tarafından Zilan vadisi ve çevresinde gözlenen birimlerin 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası ve kesitleri hazırlanmış ve bölgedeki sıcak ve soğuk su noktalarından alınan su örneklerinin yerinde ve laboratuvarında kimyasal analizleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında istif detaylı olarak ayırtlanmış ve birimlerin alt-üst dokanakları belirlenmiştir. İstif ilişkileri, paleontolojik ve palinolojik veriler doğrultusunda birimlerin yaşları da ortaya konmuştur. Ayrıca alınan kaya örneklerinden birimlerin mineralojik ve petrografik incelemeleri yapılmıştır. Çalışma içerisinde aynı zamanda jeotermal sistemi kontrol ettiği düşünülen yapısal unsurlar, ana fay hatları belirlenmiş ve haritalanmıştır.

Jeotermal kaynakların belirlenmesine dönük yapılan çalışmalar kapsamında ise istif içerisinde hangi kaya topluluğunun ısıtıcı, hangi kaya grubunun hazne ve örtü kaya olduğu belirlenmiş buna göre potansiyel alanlarda detaylı çalışma özellikle jeofizik elektrik çalışmalarının yapılması konusunda önerilerde bulunulmuştur. Çalışma sonucunda bölgede iki temel alan belirlenmiştir, bunlardan biri vadi kuzeyinde bulunan Taşkapı (Şorköy) ve civarı, diğeri ise Hasanabdal kaynakları ve civarıdır. Çalışma içerisinde bu alanlarda detaylı jeofizik etüt ve elde edilen verilere göre ilerleyen süreçte sondaj kuyularının açılması da önerilmiştir. Çalışmada aynı zamanda Zilan vadisinin morfolotektonik olarak halen aktif bir vadi olduğu belirtilmiş ve bu bölgedeki jeotermal sistem için hazne kaya sıcaklığı yaklaşık olarak 200-250 °C olarak verilmiştir.

ŞAROĞLU, F., (1985) Doğu Anadolu'nun Neotektonik Dönemde Jeolojik ve Yapısal Evrimi isimli doktora tezi ile batıda Karlıovanın doğusu, kuzeyde Pontidler, güneyde Güneydoğu Anadolu kıvrım kuşağı ve doğuda İran ve Ermenistan ile sınırlı alanın neotektoniğini araştırmıştır. Bu çalışmada Neotektonik dönemin, Orta Miyosen'de Neotetis'in kapanmasını takiben gelişen kıta kıta çarpışması ile başladığı belirtilmiş, bu çarpışmanın kıta içinde deformasyona neden olduğu, bu nedenle bölgede birçok yapının geliştiğı belirtilmiştir. Doğu Anadolu'da Neotektonik dönem boyunca D-B doğrultulu yüksek açılı bindirmeler, kıvrımlar, K-G doğrultulu açılma çatlakları, KKD-GGB veya KD-GB doğrultulu sol yönlü doğrultu atımlı faylar, BKB-DGD ve KB-GD doğrultulu sağ yönlü doğrultu atımlı faylar gelişmiştir. Tüm bu yapılar ve genel olarak bölgenin deformasyon süreciyle K-G yönlü kısalma, D-B yönlü genişlemeyi beraberinde getirmiş, yüksek bir plato olma özelliğini kazandırmıştır. Bu yapılar denetiminde D-B uzanımlı sırtlar antiklinallere, havzalar senklinallere denk gelmektedir. Buna bağılı olarak K-G yönlü yarma vadiler ve D-B yönlü menderesli akarsu yatakları gelişmiştir.

Çalışmada aynı zamanda iki tarafı dağlarla kapalı olan ve senklinallere denk gelen D-B uzanımlı havzalara “Dağarası Havza”, doğrultu atımlı faylarla kontrol edilen havzalara ise “Çek-Ayır” havza olarak tanımlanmıştır.

Çalışmada aynı zamanda Neotektonik dönem başından itibaren gelişen volkanizmanın karakteri, hangi türde yapısal unsur tarafından denetlendiği belirlenmiş ve bu volkanlardan bazılarının havzaları böldüğü belirtilmiştir. Çalışmanın önemli bir bölümünde ise bölgenin depremselliği ve yüzey kırığı üretme potansiyeline sahip fayları çalışılmış, buna göre Karlıova ekleminde Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayının kesişme yaşının Geç Pliyosen olduğu belirlenmiştir. Bununla beraber birleşme noktasında kuzeye doğru Doğu Anadolu Fayının, Varto’dan doğuda ise Kuzey Anadolu Fayının devam ettiğine dair veri saptanamamıştır.

ŞAROĞLU, F., YILMAZ, Y., (1986) çalışmasında, Doğu Anadolu’da Orta Miyosen’de başlayan neotektonik rejimin etkisiyle gelişen havzaları bölge bölge tanımlamış ve detaylı stratigrafisini tanıtmışlardır. Genel olarak elde edilen sonuçlarda, sıkışma ile karakterize olan Doğu Anadolu bölgesinde temel olarak iki tür havzanın geliştiği, bunlardan birinin 1981 yılındaki çalışmalarında da adlandırdıkları “Dağarası Havza”, diğerinin ise doğrultu atımlı fay sistemlerine uygun olarak gelişen “Çek Ayır” tipi havza olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada Doğu Anadolu Bölgesi’nde paleotektonik döneme ait en genç çökellerin Alt Miyosen yaşlı sığ denizel karbonatlar olduğu ve neredeyse tüm bölgenin bu ortama sahip olduğu belirtilmiştir. Aynı zamanda neotektonik dönemin çökellerinin Geç Miyosen’den günümüze kadar devam eden, etkin volkanik materyal ile içiçe gelişen bir istif şeklinde devam ettiği ve bu istif içerisinde yanal yönde çökel süreksizliğinin olmasının olağan olduğu belirtilmiştir. Doğu Anadolu Bölgesi’nde gözlenen havzaların türleri ise, Muş, Ahlat-Adilcevaz, Karayazı-Tekman havzalarının “Dağarası Havza”, Kağızman-Tuzluca, Doğubayazıt-Gürbulak ve Iğdır Havzalarının ise “Çek Ayır” havza türünde olduğu, Erzurum-Pasinler-Horasan, Hınıs-Zırnak, Karlıova-Bingöl Havzaları’nın ise bir kaç sistemin özellikle doğrultu atımlı fayların kontrolünde açılan havzalar olduğu belirtilmiştir.

DEWEY ve diğ. (1986) Doğu Anadolu’da Orta Miyosen’den itibaren başlayan kıta kıta çarpışması ve sonucunda gelişen kabuktaki kısılma-kalınlaşma üzerine yaptıkları çalışmada, çarpışma sonrasında gelişen volkanizmanın kökeni ve oluşum modelleri ile ilgili değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Çalışmada oluşan volkanizmanın daha çok doğrultu atımlı

fay sistemlerinde gelişen çek-ayır havzalar boyunca veya K-G yönlü derin açılma çatlakları kırıklar nedeniyle geliştiğini belirtmişlerdir. Bununla beraber bölgede iki farklı volkanizma türünün gerçekleştiğini, bunlardan birinin manto kökenli alkali bazaltların hâkim olduğu volkanizma, diğerinin ise silisikten mafığe kalkalkalen seride gelişen volkanizma olduğunu belirtmişlerdir.

AKSOY, E., (1991) Van İli Doğu-Kuzeydoğu Yöresinin Stratigrafisi ve Tektoniği başlıklı doktora tezinin bir bölümü olan bu çalışmada bölgede yüzlek veren temel kayaları ve bunların üzerindeki ana litostratigrafi birimler ayırtlanmıştır. Çalışma kapsamında temeldeki allokton Yüksekova Karmaşığı üzerinde denizel fliş karakterli kırıntılı birimlerden oluşan Kırkgeçit Formasyonunun uyumsuzlukla bulunduğu, ancak çalışma alanı güneyinde ise ilişkinin tam tersine yani Yüksekova Karmaşığı'nın Kırkgeçit Formasyonu üzerine bindirdiği belirtilmiştir. Tüm bu birimler üzerinde ise Pliyo-Kuvaterner yaşlı eski göl ve akarsu çökellerinden oluşan kırıntılı bir çökel birim ayırtlanmadan haritalanmıştır. Çalışma kapsamında Yüksekova Karmaşığının litolojik birimlerinin bazalt, andezit-andezitik tüf, dasit gibi volkanik kayalar ile pelajik, kırmızı renkli çamurtaşları olduğu belirtilmiştir. Birimin yaşı kireçtaşlarından elde edilen fosillere istinaden Üst Kretase olarak verilmiştir. Kırkgeçit Formasyonunun yaş aralığı ise Orta Eosen – Alt Miyosen olarak verilmiş ve çalışma kapsamında bu birim içerisinde yoğunca gözlenen olistolitlerin kökeni ve oluşumu hakkında görüş bildirilmiştir.

BARKA, A. ve REILINGER, R., (1997) çalışmalarında Doğu Akdeniz Bölgesini içine alan geniş bir bölgenin GPS hızları, neotektonik yapılar ve sismik veriler doğrultusunda aktif tektoniğinin bir derlemesini yapmışlardır. Çalışma kapsamında Arabistan Plakasının Avrasya Plakasına görece kuzeye olan hareketinin yaklaşık 23 ± 1 mm/yıl olduğu ve bu hareketin 10 mm/yıl miktarının Kafkaslar'da kısalma ile karşılandığı belirtilmiştir. Bölgedeki neotektonik yapıların ve aktif fay zonlarının kalan 15 mm/yıl'lık deformasyonu karşıladığı da çalışma kapsamında belirtilmiştir. GPS hızlarına göre, Kuzeydoğu Anadolu Fayı olarak tanımlanan fay zonunda ise yıllık kayma miktarı sol yönlü doğrultu atımlı faylar boyunca 8 mm/yıl olarak tanımlanmıştır. Bu haliyle Kuzeydoğu Anadolu Bloğu olarak tanımlanan parçanın Doğu - Kuzeydoğu yönünde hareket ederek Güney Hazar Denizi yönünde hareket ettiği, kaçtığı belirlenmiştir. Çalışma kapsamında değerlendirilen diğer GPS verileriyle birlikte Anadolu – Ege Bloğunun saat yönünün tersinde bir dönme hareketiyle birlikte GB yönüne doğru Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayı çerçevesinde hareket ettiği belirtilmiştir. Kuzey Anadolu

Fay Zonu boyunca kayma hızı 26 ± 3 mm/yıl olarak verilmiştir. Çalışmada Batı Anadolu ve Ege'deki aktif tektonik rejimin Anadolu Plakası içindeki rejimden farklı olduğu, yay üzerine doğru olan yıllık 30 – 40 mm'lik hareketin Doğu-Batı uzanımlı graben sistemleri ile karşılandığı yine çalışmada sunulmuştur. Buna karşın Anadolu Bloğu içerisindeki yıllık 15 mm kayma hızının daha çok doğrultu atımlı faylar ve ters faylar ile karşılandığını ve de Anadolu'nun daha rijid - tek blok bir yapıda olduğunu savunmuşlardır. Araştırmacılar bu durumun sismik aktivitenin azlığı ve de enerji olarak düşük depremlerin oluşması ile de desteklendiğini belirtmişlerdir. Ege Bölgesi ve Batı Anadolu'nun Eskişehir Fay Zonu ve Fethiye Burdur Fay Zonu boyunca Anadolu Bloğundan ayrıldığını bunun nedeninin de güneydeki dalma batma zonunun Kıbrıs ve Helenik yayları boyunca farklı karakterde, hızda olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

YILMAZ, Y., GÜNER, Y., ŞAROĞLU, F., (1998b) çalışmasında yazarlar Doğu Anadolu'da özellikle Kuvaterner döneminde gerçekleşen genç volkanizmanın türünü, kökenini, stratigrafisini belirlemeye çalışmış ve önemli genç volkanların haritalamasını yapmışlardır. Bu kapsamda Ağrı, Süphan, Tendürek ve Nemrut volkanlarını çalışmışlardır.

ADİYAMAN, Ö., CHOROWICZ, J., KÖSE, O. (1998) çalışmasında yazarlar uydu görüntüleri ve sayısal arazi modelleri yardımıyla Doğu Anadolu Bölgesinde gözlenen volkanik faaliyetlerin konumları ve yüzey şekilleri ile bölgenin neotektoniğinin ilişkisini belirlemeye çalışmışlardır. Volkan şekilleri ile fay geometrileri, düşey yönde görünüm elde edilen SAR-ERS uydu görüntüleri, Spot görüntüler ve sayısal arazi modelleri üzerinden belirlenmiş ve yorumlanmıştır. Buna göre küme halinde dizili ve çizgisellik sunan volkanların daha çok açılma çatlakları boyunca geliştiği tespit edilmiştir. Bununla beraber volkanların ilişkili olduğu aktif faylar da haritalanmış, volkanik merkezlerin daha çok bu fayların kuyruk kısmında veya atkuyruğu tipi fayların olduğu yerlerle veya enerji boşalımının daha fazla olduğu alanlarla ilişkili olduğu belirlenmiştir. Çalışmada bölgede hâkim olan deformasyonun önemli düşey bileşeni olan doğrultu atımlı faylar nedeniyle geliştiği düşünülmektedir. Çalışma boyunca sıkışma yapısı olarak önemli boyutta kıvrımlar gözlenmemiştir. Açılma çatlaklarının çoğunun 2 ila 10 km uzunluğa sahip olduğu ve kabuğun sadece en üst bölümünü etkilediği, doğrultu atımlı fay zonlarının ise birkaç yüz kilometre uzunluğa kadar gözlemlendiği ancak onların da litosfer ölçeğinde olmadığı belirlenmiştir. Buna karşın yüzeye ulaşan magmanın daha çok

kabuk boyunca devam eden derin kırıklara bağılı olarak geliştiğı belirtilmiştir. Genel olarak bölgede doğrultu atımlı veya çekmeli gerilmenin hâkim olduğu belirtilmektedir.

BOZKURT, E., (2001) makalesinde Türkiye'nin Neotektoniğı üzerine bir sentez oluşturmuştur. Çalışmada bölgesel olarak gözlenen deformasyonlar ve oluşturduğu ana yapısal unsurlar tek tek tanıtılmış ve bölge bölge değerlendirmesi yapılarak Neotektonik ortamlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Çalışmada ayrıca Türkiye'nin Neotektoniğı ve aktif fayları üzerine yapılan öncel çalışmalar, makaleler ve ana fikirleri üzerine tartışılmıştır. Çalışma sonucunda Türkiye'nin Neotektonik dönem jeodinamiğı ve bunu oluşturan parçaların evrimi tartışılmıştır.

KOÇYİĞİT, A., ve diğ. (2001)'de Doğı Anadolu Bölgesi ve güney Kafkas Bölgesinin üç temel yapı tarafından karakterize edildiğini ve şekillendiğini belirtilmiştir. Bu yapılar, KB-GD uzanımlı sağ yönlü, KD-GB uzanımlı sol yönlü aktif doğrultu atımlı faylar, K-G veya KKB uzanımlı büyük çatlaklar veya PliyoKuvaterner volkanlar ile 5 km kalınlıklara varan genç volkanosedimenter çökel ile dolu doğrultu atımlı havzalardır. Yazarlar çalışma kapsamında Kafkaslardaki Neotektonik yapılar ile Doğı Anadolu Bölgesindeki Neotektonik yapıları ve özellikle büyük doğrultu atımlı fay sistemlerini karşılaştırmışlar, Büyük Kafkaslar ve Trans Kafkaslardaki ana yapılar ile bölgedeki neotektonik yapılarla farklılıklarını ortaya koymuşlardır. Bununla beraber bölgedeki doğrultu atımlı faylarla oluşan veya şekillenen havzalar ile büyük çatlaklar ve çizgisellikler ele alınmıştır. Yazarlar, Kafkaslarda daha çok sıkışmalı-daralmalı neotektonik rejim hâkim iken, Doğı Anadolu Platosunda bu durum sıkışmalı-gerilmeli olarak kendisini gösterdiğini belirtmişlerdir. Yine yazarlara göre bu sıkışmalı-daralmalı rejimin sonucu olarak gelişen kalkalkali volkanizmanın ürünleri Orta ve Üst Miyosen volkanosedimenter birimleri Geç Miyosen'den sonra gelişmiş olan doğrultu atımlı faylar neticesinde, kıvrımlanmış, ötelenmiş ve sistemin ters bileşeni sahip fayları şekillenmişlerdir. Yazarlar bölgede Orta Miyosen'de başlayan kıta-kıta çarpışması ile Erken Pliyosen'in sonuna kadar hâkim olan tipik havza modeli, kıvrımlanmayla ve terslenmeyle başlayıp doğrultu atımlı faya geçen deformasyon modelinin hâkim olduğu dönemi geçiş dönemi olarak tanımlamışlardır. Neotektonik yapıların konumu ve güncel depremlerin mekanizma çözümleri ise Geç Miyosenden itibaren devam etmekte olan K-G yönlü kıta içi sıkışma ile uyumludur.

ŞENGÖR, A.M.C., ve diğ. (2003) çalışmasında Doğu Anadolu Yığılma Kompleksinin oluşum süreci ve güncel durumun izostazik veriler ile karşılaştırmasını yapmıştır. Çalışmada Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki kabuk yapısının ve jeodinamik evrimin modellenmesi de yapılmıştır. Bölgedeki Kuzey – Güney yönlü sıkışmanın ilksel evrimini tamamlayıp bölgeyi kabuk kısalmasının başlangıç yaşını Erken Miyosen (± 24 My) olarak vermişler ve dalan okyanusal kabuğun dikleşip kopup yerine astenosferin girerek kısmi ergimeyle birlikte volkanizmanın başlama yaşını ise 11 My öncesi olarak tanımlamışlardır. Ancak bu durumun kabuğun 45° aç ve 200 km derine, yılda 2.5 cm hızla daldığı durumda olabileceğini belirtmişlerdir. Bölgede çarpışma kaynaklı volkanik ürünlerin yaşının 11 My ve suture zonunun 200 km kuzeyinde gözlenmesinden yola çıkarak bu model konmuştur. Dalan kabuğun tamamen kopma yaşı ise 8 My olarak öngörülmüştür, bunun nedeni ise çarpışma sonrası volkanizmanın bölge geneline kuzeyden güneye doğru yaygınlaşması ve jeokimyasının değişmesi olarak verilmiştir.

KESKİN, M., (2003) çalışmasında Doğu Anadolu'da çarpışmaya bağlı olarak gelişen volkanizmanın kökeni, oluşumu üzerine bir model sunmuştur. Yazara göre, Doğu Anadolu Çarpışma Karmaşığı, Tibet veya başka bir çarpışma bölgesi özelliklerini değil, kendine özgü kabuk yapısı ve levha tektoniği özelliklerini taşımaktadır. Bu haliyle dalan litosferin dikleşmesi-kopması ile onun yerini astenosferin alması ve bu sayede sokulan astenosferin incelen kabuğu gevretmek yükseltmesi, oluşan derin kırıklar boyunca volkanizmanın gelişmesine neden olan ana etken olarak değerlendirilmiştir. Bu modelin kabuk delaminasyonu veya derin doğrultu atımlı faylarla oluşan bölgesel genişlemeye bağlı volkanizma gelişimi modellerine oranla daha tutarlı olduğunu savunmuştur. Bu modeli destekleyen veriler, yeni jeokimyasal çalışmalar ve volkanik birimlerin yaşlandırılması, kabuk yapısını ortaya koymak amaçlı yapılan derin jeofizik çalışmalar ve tomografi verileri olarak göstermiştir.

ÖZKAYMAK, Ç., (2003) yılında tamamladığı yüksek lisans tezinde Van İli yakın çevresinin aktif tektonik özellikleri ve bölgede gözlenen yapıları araştırmıştır. Tez kapsamında bölgede saha çalışmalarında gözlenen özellikle Kuvaterner yaşlı birimleri kesen ana ve tali süreksizliklerin konumları, etkileri ve ana fay sistemleri ile olan ilişkileri belirlenmeye çalışılmış ve buna bağlı olarak bölgenin jeodinamik yapısının daha net olarak ortaya konması hedeflenmiştir. Tez kapsamında saha çalışmalarının yanı sıra bölgede meydana gelmiş tarihsel ve aletsel dönem depremleri de derlenmiş ve fay zonları ile olan ilişkisi değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, bölgedeki en genç çökeller içerisinde gözlenen tektonik yapılardan yola çıkarak bölgenin daha çok sıkışmalı bir tektonik rejimin etkisi altında olduğu belirtilmiştir.

ÖZKAYMAK ve diğ. (2004) çalışmasında Van Gölünün doğusundaki alanın sismotektonik özelliklerini tartışmak amacıyla arazi verileriyle sismik etkinliği karşılaştırılmıştır. Bu amaçla 50 m çözünürlüklü sayısal arazi modelleri, uydu görüntüleri ve saha çalışmalarından elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Saha verilerinde daha çok açılma çatlakları ile güncel göl çökelleri ve travertenler üzerinde durulmuştur. Arazi çalışmalarında bölgenin jeoloji haritası yapılmış ve önemli süreksizlikler belirlenmiştir. Sismik verilerde ise bölgenin güneyinde 2000’li yıllarda gerçekleşen orta büyüklükteki depremlerin odak mekanizma çözümleri ele alınmış ve mevcut yapı ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada sismik veriler ve arazi gözlemlerinin bir sonucu olarak bölgenin halen aktif olarak K-G yönlü sıkışmaya devam ettiği belirtilmiştir.

KARAKHANIAN, A.S., ve diğ. (2004) çalışmasında Ermenistan, Kuzey İran, Kuzeydoğu Türkiye ve Nahcivan bölgesi dâhilinde yeralan aktif fay zonlarının oluşturduğu sismik risk ve buna bağlı gelişebilecek afet riskini araştırmışlardır. Bölgedeki aktif faylar üzerinde yapılan paleosismoloji çalışmaları ve olası yeni depremlerin kestirimi üzerinden sismik risk tartışılmıştır. Çalışmada üzerinde önemle durulan konu bölgede gelişebilecek büyük magnitüdlü bir depremin başka depremleri ve hatta afete dönüşebilecek, heyelan, lahar akıntıları, volkanik patlamalar, zemin sıvılaşmaları ve dere yataklarının yerdeğişimi gibi olayları tetikleyeceğidir. Eş zamanlı gerçekleşebilecek doğa olaylarının afete dönüşme potansiyelinin bölge ülkelerinin hepsini ilgilendirdiği ve ülke sınırlarını aşarak, uzanan aktif fay zonlarının detaylı çalışılması ve deprem risklerinin ortaya konması gerektiği üzerinde durulmuştur.

DHONT, D., CHOROWICZ, J., (2006) Doğu Anadolu-Ermenistan Platosunun sayısal arazi modelleri üzerinden Geç Miyosen’den günümüze kadar gelişen deformasyonlarının konumlarını ve mevcut durumla ilişkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada tektonik yapıların ve volkanların Doğu Anadolu Bölgesinde hüküm süren K-G yönlü kısalma ve D-B yönlü uzamaya bağlı olarak gözlenen kaçma yapılarına uyumlu olduğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında aynı zamanda fayların türleri belirlenmeye çalışılmış ve fay mekanizması çözümleriyle karşılaştırılmıştır. Buna göre, bölgede gelişen yapıların büyük bölümünü bir miktar düşey bileşeni olan sağ veya sol yönlü doğrultu atımlı faylar oluşturmaktadır. Bu yapılarla beraber açılma çatlakları da dizili volkanik merkezlerin oluşumunda etkin olmuştur. Tüm bunların

sonucunda yazarlar, Doğu Anadolu Platosunda oluşan doğrultu atımlı fayların ve açılma deformasyon yapılarının, Arabistan plakasının sıkıştırma hareketinden ziyade Güney Ege yönünde gelişen çekilmeye bağlı olarak batıya kaçan Anadolu plakasındaki incelme sonucunda geliştiğini belirtmektedir.

COPLEY AND JACKSON, (2006) çalışmasında Türkiye – İran Platosu’nda gözlenen aktif fay zonlarının Arabistan-Avrasya çarpışmasının etkilerini nasıl karşıladığı ve GPS ölçümleriyle birlikte bu hareketlerin vektörel yönlerinin ve hızlarının nasıl şekillendiği araştırılmıştır. Bu hızlara bağlı olarak plato içerisindeki faylarda gelişen ofset (kayma) miktarı ile güncel kayma hızları karşılatırılarak fayların oluşum yaşları ortaya konmuştur. Tez araştırma sahası içerisinde kalan Erçiş Fayı da çalışmaya dâhil edilmiştir. Arazi gözlemleri ve uydu verileri üzerinden Erçiş Fayı’nın Van Gölü Kuzeydoğusundaki Bendimahı ırmağı civarında yaklaşık 11 km lik bir kayma miktarına sahip olduğu belirtilmiş ve fay üzerindeki güncel kayma hızı 8 ± 2 mm/yıl olarak belirlenmiştir. Bu haliyle Erçiş Fayının oluşumu için yaklaşık 1.5 My öncesi önerilmiştir. Bölgedeki diğer sağ yönlü doğrultu atımlı faylar için de benzer çalışmalar yapılmıştır. Çalışma içerisinde iki temel sorun üzerinde durulmuştur. Bunlardan biri Türkiye İran Platosu içerisinde gözlenen doğrultu atımlı fayların oldukça karmaşık bir yapıda olması ve diğeri bölgede 5 ± 2 My önce fay modellerinde gerçekleşen farklılaşmanın nedenleridir.

TOKER, M., (2006) Van segmentinin mikrodprem potansiyelini kontrol eden neotektonik unsurlar isimli çalışmasında tarihsel ve aletsel dönemdeki deprem kayıtlarından yola çıkarak bölgedeki mikrodprem aktivitesinin yoğunluğu ve tekdüzeliği ile ilgili yorumlarda bulunmuştur. Buna göre Doğu Van segmenti olarak adlandırılan ve D-B uzanımlı Kalecik, Gevaş, Edremit, Erçek Gölü ve Erçiş sağ yanal fay sistemlerini içeren bölgenin tekdüze deprenselliğe sahip olması olası bir sismik boşluk olarak yorumlanmış ve çalışma bölgenin daha büyük deprem üretme potansiyelini araştırmayı amaçlamıştır.

ANGUS, D.A., ve diğ. (2006) çalışmasında Doğu Anadolu Yığılma Kompleksi’ndeki litosferin kalınlığını belirlemiş ve bölgedeki kabuk yapısının modellemesini yapmışlardır. Çalışma kapsamında telesismik S ve P dalgaların dönüşümü yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonucuna göre üç ana kabuk fazı tespit edilmiştir. Bunlardan ilki, MOHO’nun yani kabuk manto geçişinin 30 – 55 km derinliklerde olduğu ve kıtasal çarpışma kuşağı içinde farklı birçok tektonik rejim içerdidir. Diğer bir faz ise yaklaşık 10 km derinlikte üst kabukta başka bir süreksizliğin varlığıdır. Son olarak bulunan üçüncü faz ise kabuk içerisinde birçok düşük hız zonunun tespit

edilmiş olasıdır. Bu durumu araştırmacılar Kuvaterner volkanizmasının etkisi olarak yorumlamışlardır. Çalışma kapsamında aynı zamanda litosfer – astenosfer sınırının belirlenmesine yönelik sismik dalga dönüşümleri gerçekleştirilmiş ve Doğu Anadolu Yığılma Kompleksi altında bu sınırın 60 – 80 km derinde ve beklenenden oldukça sığ derinlikte olduğu saptanmıştır. Bu durumun da önceki çalışmalarda modellenen okyanusal kabuğun sıyrılarak astenosfer içine gömülmesi modeli ile uyumlu olduğu belirtilmiştir. Arabistan kalkanı ve İran Platosu çarpışma bölgesinde ise litosfer astenosfer sınırının tipik çarpışma kuşaklarında beklendiği gibi 100 - 125 km derinde olduğu belirtilmiştir.

BARAZANGI, M., ve diğ. (2006) çalışmasında Doğu Anadolu Platosunun yapısal ve tektonik evrimini modellemişlerdir. Bu çalışmada Arabistan Plakasının kuzeye hareketinin sonuçları olarak üç aktif yapının varlığı tanımlanmıştır. Bunlar, Kafkaslar, Ege ve Kıbrıs Yayları ve Ölüdeniz Fay sistemi olarak belirtilmiştir. Çalışmada ayrıca Anadolu’da Litosferin manto bileşeni içermediği ve kabuk kalınlığının yaklaşık 45 km civarında olduğu, kuzeye dalan okyanusal litosferin koparak kısmen ergimiş astenosfer içerisinde yüzdüğü belirtilmiştir. Miyosen’de Arabistan Plakası’nın Anadolu Mikroplakası ile olan etkileşimi ve kuzeye doğru devam eden hareketinin Kafkaslara kadar uzanan bir deformasyon süreci ile karşılandığı belirtilmiştir. Bölgede Geç Eosen ve Miyosen dönemlerinde herhangi bir volkanizma belirtici olmaması sebebiyle de Arabistan okyanusal litosferinin halen düşük eğimle dalmaya devam ettiğini söylemişlerdir. Bölgede yaklaşık 11 My öncesi dönemde başlayan volkanizmanın da düşük eğimle dalan bu okyanusal litosferin kopması sonucuyla oluştuğu ve devamında çarpışma volkanizması ürünlerin gözleendiği, bölgesel olarak ani yükselmenin oluştuğu ve günümüzdeki 2 km lik yüksek platonun oluştuğu belirtilmiştir.

REILINGER, R., ve diğ. (2006) çalışmalarında Arap, Afrika ve Avrasya Plakalarının etkileştiği bölgede 1988 – 2005 yılları arasında yapılmış GPS ölçüm çalışmalarının sonuçları değerlendirilmiştir. Buna göre, bölgede geniş ölçekte saat yönünün tersinde yılda yaklaşık 20 - 30 mm’lik bir dönmenin varlığı ortaya konulmuştur. Bu dönmenin etkisinin aynı zamanda rölatif olarak Avrasya, Nubian (Afrika) ve Somali (Afrika) plakalarında da gözleendiği belirtilmiştir. Çalışmada en hızlı rotasyonun Helenik yayı üzerine doğru olduğu da ölçülmüştür. Göreceli olarak Avrasya Plakası bazında bu kayma hızlarına bağlı olarak elastic blok model oluşturulmuş ve güncel plaka hızları, plaka için bölgesel deformasyonlar ve ana faylar boyunca gerçekleşen kayma hızları belirlenmiştir. Çalışmada çıkan önemli bir sonuç ise

Arabistan – Avrasya çarpışması sonucunda oluşan deformasyonun halen çarpışma kuşağı içerisinde yanal hareketler ile ve kabuki kalınlaşması ile karşılandığı yolundadır. Ayrıca, Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca gerçekleşen kaymanın herhangi bir normal bileşen içermediği, sadece sol yönlü yanal doğrultu atım şeklinde karşılandığı, bunun da batıya hareket eden Anadolu Plakasının itelenmekten ziyade Afrika Plakası üzerine güneyden ve batıdan Kıbrıs Yayı ve Helenik Yayı üzerinde çekilmesinden kaynaklandığı şeklinde açıklanmıştır. Çalışma içerisinde, tez alanı kapsamında gözlenen bölgedeki ana fayların (Çaldıran ve Erciş Fayları boyunca) kayma vektörü hızları yaklaşık 10.8 mm (sağ yönlü) olarak ölçülmüştür.

KESKİN, M., (2007) çalışmasında Doğu Anadolu – İran yüksek platosunda gerçekleşen yaygın volkanizmanın daha önceden düşünüldüğü gibi manto sorgucu kökenli olmadığını, jeokimyasal, jeolojik ve saha verileriyle de tanımlamıştır. Çalışmada güncel jeofizik tomografik veriler ile de kanıtlandığı gibi litosferik mantonun Doğu Anadolu- İran Platosu ve Güney Kafkaslar'da olmayışının yanı sıra bölgesel yükselmenin ve magmatizmanın kökeninin mekanik olarak litosferik mantonun kuzeyde Erzurum Kars Platosu'nda tabandan ayrılma (delaminasyon) ve güneye doğru ise dikleşerek kopması (slab-steepening and break-off) bunun sonucunda astenosferin sokularak bölgeyi çok geniş bir çağla yükseltmesi ve magmatizmayı kuzeyden güneye doğru başlatması olarak açıklamıştır. Çalışmada üzerinde durulan önemli bir nokta ise, Doğu Anadolu örneğinde, kıta içi volkanizmanın sadece manto sorguçların bulunduğu kesimlerde değil, ince kalınlıklardaki kabuk yapısına sahip çarpışma kuşaklarında da gözlenebilir olduğu ve bu bölgenin kendine has özellikleri ile dünyada önemli bir yere sahip olduğu vurgulanmıştır.

GÖK, R., ve diğ. (2007) çalışmalarında Türkiye'nin doğusundaki bir proje kapsamında (Eastern Turkey Seismic Experiment - ESTE) kurulmuş 29 adet geniş band istasyondan elde edilen kayma dalgası ve yüzey dalgaları verileri ile Anadolu Plakası, Arabistan Plakası kuzey kesimi ve Doğu Anadolu Platosundaki kabuk yapısını, kalınlıkları ve litosferik mantonun durumunu belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışma sonucunda Arabistan Plakasında ortalama kabuk kalınlığı 36 km, Anadolu Bloğunda 44 km ve Doğu Anadolu Platosu'nda 48 km olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte Anadolu Platosunda yaklaşık 30 – 38 km lerde çok düşük kayma dalgası hızları elde etmişlerdir. Bunun anlamı olarak da Anadolu Platosu altında litosferik mantonun var olmadığı veya çok incelmış olduğudur. Buna karşın, Arabistan

Plakasında Litosfer Astenosfer geçişi 90 km'de, Anadolu Bloğu'nda ise 70 km'de belirlenmiştir.

LEI, J., ve ZHAO, D., (2007) çalışmalarında Gök ve diğ. (2007) çalışmasına altlık oluşturan ESTE projesi kapsamında elde edilen verileri kullanmışlardır. Çalışmada Doğu Anadolu altında dalan kabuğun kırılmasının kanıtlarını telesismik veriler ile belirlemeye çalışmışlardır. Yüksek çözünürlüklü telesismik tomografi yöntemi ile bu durum çok daha belirgin bir şekilde ortaya konmuştur.

HORASAN, G., AND GÜNEY, A., (2007) çalışmalarında Van Gölü civarında 2000 – 2004 yılları arasında meydana gelmiş depremlerin VANB geniş bant istasyonunca kaydedilen verileri üzerinden sınıflamasını yapmışlardır. Bu çalışmaya göre gerçekleşen depremler üç temel özelliktedir. Bunlar hybrid, uzun period ve tremor tipi sismik kayıtlardır. Çalışma sonucunda, depremlerin derinliklerine ve kayıtların özelliklerine göre oluşan depremler bölgedeki orta ve derin kabuktaki yükselim ve stress yüklenimi ile doğrudan ilişkili olarak değerlendirilmiştir.

PINAR, A., ve diğ. (2007) çalışmasında 15 Kasım 2000 tarihinde Van Gölü güney kesiminde meydana gelen Mw=5.6 büyüklüğündeki depremin kaynak mekanizması çözümünü yapmış ve bölgenin sismotektoniği içerisindeki yerini tartışmıştır. Deprem, mekanizma çözümlerine göre ters faylanma karakterinde ve yaklaşık 12.5 ve 15 km derindeki iki yırtılmanın ürünü olarak belirlenmiştir. Yani, iki ayrı aspertiden kaynaklı iki deprem içiçe belirlenmiştir. Ana şoktan sonra gerçekleşen 14 adet artçı şok için de mekanizma çözümleri yapılmış ve benzer karakterde doğrultu atım bileşenli ters faylanmayı gösteren mekanizmalar bulunmuştur. Depremler 15 km derinliğe kadar inmiştir. Bu deprem ve bölgede gerçekleşen depremlerin odak derinlikleri diğer sismoloji merkezlerinin belirttiği gibi alt kabuk değil sığ kabuk depremleri olarak kaydedilmiştir.

ŞENGÖR, A.M.C., ve diğ. (2008) çalışmasında dünya üzerinde gözlenen çarpışma kuşakları içerisinde Doğu Anadolu çarpışma kuşağında gözlenen magmatik faaliyetlerin bütünü Türk Tipi Çarpışma Sonrası Magmatizma (Turkic-type post-collisional magmatism) olarak tanımlamış ve diğer benzer magmatic zonlar ile kıyaslamıştır. Bu tipteki magmatizmada volkanizma ürünlerinin alkalik – peralkalik kimyasında olduğu belirtilmiştir. Ayrıca bu tip volkanizmanın olduğu kesimlerin birçok metalik madene kaynaklık yaptığını ve bu anlamda

Doğu Anadolu’da bu sistemin aktif olduğunu belirtmişleridir. Doğu Anadolu’da dalan kabuğun dikleşip kırılması sonucundan kuzeyden güneye doğru başlayan volkanizmanın (yaklaşık 11 My dan günümüze kadar) kuzeyde daha çok kalkalkalen, güneye doğru alkalen kimyada olduğu belirtilmiştir. Bölgede kabuğun beklenenden ince olması, yaklaşık ortalama 38 km, volkanik ürünlerin astenosferik manto kökenli olması ile de açıklanmaktadır.

LITT, T., ve diğ. (2009) çalışmaları Van Gölü içerisinde gerçekleştirilen uluslararası PALEOVAN Projesine ait verileri kapsamaktadır. Çalışma kapsamında Van Gölü üzerinde 50 ayrı profilde sığ sismik yansıma kesiti ve akabinde 10 farklı noktada karot örnekleri alınmıştır. Alınan karot örnekleri üzerinde farklı disiplinler çalışma yapmış ve örnekler manyetik duyarlılık, fiziksel ve indeks özellikler, stabil izotopların tayini, XRF çekimleri, polen ve sporların tayini gibi konularda incelenmiştir. Bunlarla birlikte göl çökelleri içerisindeki tefra yani volkanik kökenli birim seviyeleri de belirlenmiştir. Çalışma sonucunda Van Gölü’nün en derin kesimi olan Tatvan açıklarındaki 460 m’lik çukurluğun geçmiş dönemde hiçbir zaman kuru veya kuruya yakın olmadığı belirlenmiştir. Çalışmada Van Gölü çökellerinin kesintisiz bir şekilde paleoiklim ve su seviyesi değişimleriyle ilgili veri sağladığı da belirlenmiştir.

LEBEDEV, V.A., ve diğ. (2010) yılında yayınladıkları çalışmada, Doğu Anadolu Bölgesi’nde, Van Gölü kuzeyinde yeralan Etrüsk volkanı ve çevresini kapsayan alanda geç Senozoyik çarpışma ürünleri olan volkanik birimleri jeokronolojik olarak ayırtlamışlardır. Bu kapsamda 45 ayrı numunenin K/Ar izotoplarıyla yaşları belirlenmiş ve kayaçların petrolojik analizi yapılarak bölgede gerçekleşen volkanizmanın evreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Araştırmacılara göre bölgedeki volkanik faaliyet yaklaşık 15 milyon yıldır (My) sürmekte ve bu süreç temel olarak dört evreye ayrılabilir. İlk evre Orta Miyosen’de gerçekleşmiş (15.0-13.5 My arasında), ikinci evre Geç Miyosen’de (10-9 My arasında), üçüncü evre Pliyosen’de (5.8-3.7 My arasında), son evre ise Kuvaterner’de (1.0 ile 0.4 My arasında) gerçekleşmiştir. Çalışma alanı kapsamındaki son volkanik aktivite ise büyük hacimde veya etkide gerçekleşmemiştir, 400ka (bin yıl) önce olarak yaşlandırılmıştır. Pliyosen ve Kuvaterner evreleri ise kendi içlerinde üçer ayrı küçük periyodlara ayrılabilir. Bu ayrım birkaç yüzbin yıllık boşluklarla kendini göstermektedir. Çalışmada elde edilen sonuçlarda her bir periyodun yaklaşık olarak 1-2 My yıl sürdüğü ve periyodlar arası dönemin ise yaklaşık 3 My civarında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, çalışmanın önemli bir sonucu olarak Alpin kuşağının

Kafkas-Anadolu segmentinin çarpışma kökenli volkanizmasının yaşının yaklaşık 15 My öncesine kadar gittiği belirlenmiştir.

ÜNER, S., ve diğ. (2010) çalışmasında Van Gölü havzası çevresinde gözlenen Kuvaterner yaşlı kırıntılı göl çökelleri üzerinde bölgenin aktif tektonizmasının etkileri olabilecek sedimenter yapıları incelemişlerdir. Bu çalışmaya göre pekişmemiş göl çökelleri içerisinde gözlenen farklı geometrilerdeki yapıların bölgede tarihsel ve aletsel dönemde gerçekleşmiş sismik aktiviter ile ilişkili olduğu düşüncesindedir. Deprem sırasında gerçekleşen sismik etki pekişmemiş ve suya doymuş kırıntılı çökellerde sıvılaşma ve akışkan hale geçme olarak kendini göstermiş ve bu deformasyon yapılarını oluşturmuştur. Yapıların depremler ile ilişkilendirilmesindeki en büyük veri, bu tip yapıların oluşumunda etkin olan litostatik veya hidrostatik üst-basınç ve fırtına verilerine ait veri bulunamamış olmasıdır.

SELÇUK, L., ve diğ. (2010) çalışmasında Van Gölü Havzası için olasılıksal sismik tehlike analizini yapmış ve bölgede konumları ve özellikleriyle bilinen aktif fay zonlarının ana yerleşim merkezleri üzerine olan olumsuz etkilerini saptamaya çalışmışlardır. Çalışma kapsamında $M=4$ ve üzerindeki depremlerin tekrarlanma periyodları belirlenmiş ve 0.05 derece hassasiyetli eş-ivme haritaları hazırlanmıştır. Bu çalışmada 475 yıllık tekrarlanma periyodları ve ivme değerlerine göre Van Gölü civarında en riskli bölge gölün Kuzeybatısı ve Kuzeydoğusu olarak belirlenmiştir. Burada kaya birimlerde elde edilen maksimum ivme değerleri 0.25 g dir. Göl içerisinde ve kıyı kesimlerinde bu değer 0.10 ve 0.20 g arasındadır. Aynı şekilde başka bir yüksek değer elde edilen alan ise gölün Güneybatı kesimidir. Çalışmada ayrıca merkez yerleşimler de değerlendirilmiştir. Kentler, her ne kadar düşük ivme değerlerine sahip alanlarda yerleşik olmasına rağmen ivme değerlerinin suya doymuş alüvyal zeminlerde ve genç çökellerde %50 den fazla oranda artabileceği ve bunun da yıkıma neden olabileceği belirtilmiştir. Çalışmada aynı zamanda bölgedeki ana yerleşimlerde yapılaşmanın 1. Derece deprem bölgesi değerleri gözetilerek yapılması gerektiği ortaya konmuştur.

KUZUCUOĞLU, C., ve diğ. (2010) bu çalışmada havza dâhilindeki Van Gölü'ne ait eski taraçaların ve eski gölün diferansiyel global konumlama sistemi (DGPS) ile seviyelerinin belirlenmesi ve farklı radyometrik yaş tayini yöntemleri ile birimlerin yaşlandırılarak Van Gölüne ait dönemsel seviye değişimlerinin nedenleri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında Van Gölü havzasında dört ayrı dönemde transgresyon belirlenmiş, bunlardan en ilkinin yaklaşık günümüzden 110ka (binyıl) öncesinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu seviye,

1755 m, Van Gölü'nün geldiği en yüksek seviye olarak saptanmıştır. Gölün bu seviyeye kadar yükselmesinin nedeni olarak da, Geç Pleyistosen öncesinde havzanın açık olduğu ve şu anki güneybatı yönünden akarsular ile boşaldığı ancak bu boşalmanın gölün hemen batısında yer alan Nemrut Volkanının aktivitesi nedeniyle vadi tabanlarının piroklastik malzeme ve lavlar ile tıkanarak bir baraj görevi görmesi ve neticesinde boşalan akarsuların önünün tıkanarak su seviyesinin yükselmesi olarak açıklamışlardır. Bu durumun farklı dönemlerde (105ka öncesinde) devam ederek ikinci transgresyon süreci ile de devam ettiği düşünülmüştür. İkinci transgresyon dönemi için belirlenen taraça yükseklikleri 1730-1735 metrelerdir. Aynı çalışmada belirlenen iki genç transgresyon seviyelerinin ise 1700 – 1705 m yüksekliklerine vardı, sırasıyla günümüzden önce 26 – 24.5ka ve 21 -20ka dönemlerinde olduğu belirlenmiştir. Çalışmada uzun dönem göl seviyesi değişimlerinin iklimsel değişimlerle ilgili olmasının yanı sıra bölgede gerçekleşen volkanik aktivitelerin, aktif tektonizmanın, aşınma süreçlerinin ve karstlaşma geometrisinin etkin olabileceği de belirtilmiştir.

DJAMOUR, Y., ve diğ. (2011) çalışmalarında Kuzeybatı İran ve Doğu Türkiye’de aktif fay zonlarının kinematik özelliklerini belirlemek amacıyla GPS kampanyalarının sonuçları değerlendirilmiştir. Yaklaşık 10 yıl süre ile ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümler neticesinde, Kuzey Tebriz Fayı için daha önceki çalışmalarda da elde edilen sağ yönlü kayma hızı 7 ± 1 mm/yıl olarak teyid edilmiştir. Buna bağlı olarak aynı fay zonu üzerinde gerçekleşen $M=7$ ve üzeri depremlerin tekrarlanma aralığı 250 -300 yıl olarak da doğrulanmıştır. Bu kayma hızının batıda Çaldıran Fayı için de geçerli olduğu belirtilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan yeni ölçümlerde Kuzey Tebriz Fayı’nın orta segmenti için önerilmiş 8 mm/yıl gibi bir açılma bileşen hızının olmadığı, daha doğrusu yıllık 1 -2 mm gibi bir açılma miktarının ölçüldüğü, Çaldıran Fayı’nda ise ne sıkışma ne de açılma bileşeninin varlığı belirlenmiş, fayın pür sağ yönlü doğrultu atımlı olduğu tekrarlanmıştır. Çalışmada üzerinde durulan bir diğer sonuç ise, Kuzey Tebriz Fayı’nın en Güneydoğu ucu olan Bozkuş Dağları bölgesinde K-G yönlü açılmanın saptanması ve bu açılma rejiminin kökeninin Arabistan Plakasının kuzeye doğru olan hareketinden değil başka kaynaklardan oluştuğu yönündedir. Bu anlamda çalışma kapsamında değerlendirilen nedenler Kafkaslar altına dalan eski bir okyanusal kabuğun varlığı veya Güney Kafkasların altında hala devam etmekte olan bir kabuk ayrılmasının (delaminasyon) varlığıdır.

2.1.1. VAN DEPREMİ (23 EKİM 2011) İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Van Depremi, büyüklüğü, fayın karakteri ve etkisi nedeniyle ülkemiz aktif tektoniği ve depremselliği açısından özel bir yere sahiptir. Ters faylanma/bindirme karakterli bir fay kökenli bu deprem ülkemizde ters faylanma nedeniyle gerçekleşen en büyük magnitüdlü deprem olma özelliğinde olduğu gibi, şiddeti de oldukça geniş etkide olmuştur. Bu nedenle 23 Ekim 2011 tarihinde gerçekleşen $M=7.1$ büyüklüğündeki Van Depremi jeodezik, sismolojik, sismotektonik, tektonik, yapısal jeoloji, zemin yapı ilişkisi - deprem mühendisliği konularında oldukça detaylı olarak çalışılmış ve deprem sonrası süreçte hem akademik ortamlarda hem de resmi raporlar düzeyinde yazılmış ve tartışılmıştır.

Bu bölümde, sadece Van Depremi üzerine yapılmış, yerbilimlerinin farklı disiplinlerindeki araştırmaların kısa özetlerine yer verilmiştir.

POYRAZ, S.A., ve diğ. (2011) çalışmalarında anaşokla birlikte oluşan kırılmaların ayrıntılarını incelemek için Kikuchi ve Kanamori (1991) yöntemi kullanılarak 37 istasyonda kaydedilen telesismik P cisim dalga şekilleri modellemiştir. Elde edilen sonuçlara göre deprem 3 şokla birlikte oluşmuştur. Bunların büyüklükleri oluş sırasına göre $M_w=6.6$, $M_w=7.1$ ve $M_w=6.5$ olarak belirlenmiştir. Şokların uzaysal dağılımına göre, kırılma KD'da başlayıp GB'ya doğru sistematik bir şekilde ilerlemiş ve farklı faylanmalarla meydana gelmiştir. Birinci ve ikinci şok, uzay ve zaman boyutunda birbirlerine yakın yerlerde meydana gelmiş olup mekanizmaları ters faylanma bileşenin hâkim olduğu oblik faylanma türüne işaret etmektedir. Üçüncü şok ise yaklaşık 30 saniye sonra, deprem bölgesinin GB kısmında normal faylanma mekanizmasıyla oluşmuştur. En büyük şokla birlikte oluşan sismik moment serbestlenmesi 20 km derinlikte meydana gelmiştir.

ÖZKAYMAK, Ç., ve diğ. (2011) çalışmalarında oluşan depremin bölgenin aktif tektoniği içerisindeki yerini tartışmışlardır. Depremle birlikte gelişen deformasyonlar iki temel sınıfa ayrılmış, bunlar sismotektonik yapılar, yükselme ve çökmeler, sırt oluşumları diğerleri ise depreme bağlı gelişen, gravitasyonel ve zemin sorunlarından oluşan yanıl yayılmalar, kopmalar, oturmalar ve sıvılaşmalar şeklinde olduğu belirtilmiştir. Çalışmada özellikle Kuvaterner yaşlı birimler içerisinde gözlenen ve daha önce haritalanan ters faylanma köekli deformasyonlar ile Van Depremi'ni üreten fayın aynı geometride olduğu ve birbirine paralel faylanmalar ile bir zon oluşturduğu belirtilmiştir.

ERDİK, M., ve diğ. (2012) çalışmalarında depremin verdiği kayıpları, yapısal hasarı ve şiddet verilerini tartışmışlardır. Çalışmada aynı zamanda kuvvetli yer hareketi verileriyle birlikte, depremin etkisi ile oluşturulan şiddet haritalarını ve yapı stoğundaki durumu da belirtmişlerdir.

AKINCI, A., ve ANTONIOLI, A., (2012) çalışmalarında kuvvetli yer hareketi verilerini, ivme değerlerini sismik veriler ile birlikte değerlendirmiş ve yeni sentetik veriler üreterek bölgedeki olası etkin yer ivme değerlerini modellemişlerdir.

AYDAN, Ö., ve diğ. (2012) Japon İnşaat Mühendisleri Derneği adına yaptıkları ve raporladıkları çalışmada depremin etkilediği bölge içerisinde kalan farklı yapı türlerinde gözlenen hasarları ve yer yapı ilişkilerini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında ayrıca zeminin özellikleri, depreme ait sismolojik veriler ve bölgenin tektonik konumu da araştırılmış ve tartışılmıştır.

ALTINER, Y., ve diğ. (2013) çalışmalarında ana deprem nedeniyle oluşan deformasyonu jeodezik verilerle incelemişlerdir. Bu amaçla Doğu Anadolu'da kurulu olan sabit GPS istasyonlarından alınan veriler işlenmiş, deprem öncesi sırası ve sırasında gerçekleşen kaymaların bölge jeodinamiğindeki anlamı tartışılmıştır.

UTKUCU, M., (2013) çalışmasında Van civarının depremselliğini tarihsel ve aletsel dönem depremleri ile bazı aletsel dönem depremlerinin mekanizma çözümleri ve sismotektonik anlamlarıyla değerlendirmiştir. Çalışma esas boyutuyla ana şokun kayma vektörleri, atım dağılımı ve moment büyüklüğünün belirlenmesi üzerinedir.

DI SARNO, L., ve diğ. (2013) saha gözlemleri sonrasında etkin yer ivmesi değerleri üzerinden bölgedeki şiddetin boyutlarını ve özellikle kırsal alan yerleşimlerinde meydana gelen hasarın genel özelliklerini belirlemişlerdir. Çalışmada, depremde oluşan hasarın nedenleri ve bunların geleceğe yönelik nasıl giderilmesi gerektiği, yapı stoğunun ne şekilde iyileştirileceği hakkında çıkarılması gereken dersler ve öneriler üzerinde durulmuştur.

BAYRAK, Y., ve diğ. (2013) çalışmalarında ana şok ile tetiklenen depremlerin kökeni ve bölgesel gerilme modellerini istatistiksel çalışmalar ve Coulomb Stres Dağılım modelleriyle belirlemişlerdir. Çalışmada, depremlerin kestirimi ve bölgedeki gerilmenin durumuna bir yaklaşım yapan sismolojik verilerin analizleri iki ve üç boyutlu yapılarak sunulmuştur.

SELÇUK., L., ve diğ. (2013) çalışmalarında Van Depremi ve devamındaki süreçte gerçekleşen yapısal hasarların oluşumunda zemin davranışının etkisini araştırmışlardır. Çalışma üç ana bölümde sunulmuş olup birinci bölümde kaydedilen ivme verileri yorumlanmış, ikinci bölümde yerleşimlerin bulunduğu yerlerin zemin koşulları tanıtılmış ve son olarak yapısal hasar ile yerel zemin koşullarının etkileşimi değerlendirilmiştir.

TAMA, Y.S., ve diğ., (2013) çalışmalarında ana şok ve devamındaki tali depremler nedeniyle özellikle kırsal alandaki betonarme olmayan yığma yapılarda gerçekleşen hasarları çalışmışlar ve hasarın nedenlerini tartışmışlardır.

UTKUCU, M., ve diğ. (2013) çalışmalarında Van Depremi'ni üreten ana fay ve diğer tali fayların üzerinde Coulomb modellemesi ile stres dağılımlarını belirlemiş ve çevredeki diğer ana fay zonları üzerine olan etkilerini tartışmışlardır.

FIELDING, E.J., ve diğ. (2013) çalışmalarında depremin ana şokuna ait mekanizma çözümünü, kayma vektörünü sismolojik ve jeodezik verileri bir araya getirerek modellemişlerdir. Çalışmada aynı zamanda depreme ait jeodezik ve sismik momentler hesaplanmıştır. Moment verilerinde gözlenen farklılıkların deprem sonrasında fay üzerinde devam eden asismik kaymalardan kaynaklandığı belirtilmiştir. Depremin yırtılma derinliği gözetilerek Türk İran Platosu'nun kabuk kalınlığı ve oluşan deformasyonun sığ kabukta gözlenmesi durumu benzer çarpışma kuşakları ile karşılaştırılmıştır.

AKIN, M., ve diğ. (2013) çalışmalarında ana şok sonrasında Karasu Nehri alüvyal düzlüklerinde meydana gelen zemin sıvılaşması, yanıl yayılmalar ve vadiyi çevreleyen yamaçlarda gözlenen kütle hareketlerinin özelliklerini ve nedenlerini çalışmışlardır. Özellikle ana şok sırasında gerçekleşen ve izleri çok net olarak gözlenebilen sıvılaşma bölgesinde temel araştırma sondajı yapılarak sıvılaştıran birimlerin indeks özellikleri ve fiziksel karakteri ortaya konmuş ve sıvılaştıran seviyeyi araştırmışlardır. Çalışmada sondajın yanı sıra jeofizik yöntemler ve tam kum konilerinin olduğu kesimde araştırma çukuru da açılmıştır.

ELLIOTT, J.R., ve diğ. (2013) çalışmalarında, radar interferometri InSAR verilerini, uydu görüntülerini, sismolojik verileri ve saha gözlemlerini kullanarak ana şoku oluşturan fayın parametrelerini, karakterini belirlemişler ve düzlemde meydana gelen kayma miktarını, kayma yönlerini değerlendirmişlerdir.

DOĞAN, B., ve KARAKAŞ, A., (2013) çalışmalarında Van Depremi üreten fayın geometrisini belirtmiş ve “Bardakçı-Saray Bindirme Zonu”nun batı segmenti olarak daha önce hiç bir yayında geçmeyen ve tanımlanmamış bir isimle tanımlamışlardır. Sahada gözlenen yüzey deformasyonlarının geometrileri haritalanmış ve bazı yüzey kırıklarına bağlı olarak yeni faylar tanımlanmıştır.

UTKUCU, M., ve diğ. (2014) çalışmalarında depremin uzak alan solu fay modellemesi yöntemi ile mekanizma çözümünü ve moment hesabını yapmış, fayın yırtılma karakterini belirlemişlerdir. Çalışmada yine ana şok sonrasında gelişen artçı depremler ve diğer faylar üzerinde gerçekleşen tali depremler de tartışılmıştır.

FENG, W., ve diğ. (2014) çalışmalarında depremin ana şok anı ve sonrasında radar interferometri verileriyle modellemesini yapıp kayma vektörlerini, fayın düzlemini ve depremden sonraki 3 gün içerisinde gerçekleşen yırtılmanın, düzlem üzerindeki kayma dağılımlarının modelini oluşturmuşlardır.

AKKAYA, İ., ve diğ. (2015) çalışmalarında Van yerleşimi kuzeyinde kalan kırsal alan yerleşimlerinde gözlenen hasarın zemin faktörleri açısından değerlendirmesini jeofizik Mikrotremor ölçümleri ile gerçekleştirmiştir. Yapılan ölçümlerde zemin hâkim titreşim periyodları belirlenirken, zayıf zemin ve kaya zemin koşullarında oluşan yer ivmesi büyütme faktörleri ortaya konmuştur.

DOĞAN, U., ve diğ. (2016) TÜBİTAK Projesi kapsamında 23 Ekim 2011 Van Depremi’nin deprem anı ve sonrasında oluşan kabuk deformasyonlarını GPS ve InSAR yöntemleriyle araştırmışlardır. Projede GPS hız ölçümleri uygulanarak özellikle kabukta meydana gelen deformasyonlar belirlenmiş ve bölge tektoniğindeki anlamı tartışılmıştır.

TOKER, M., ve diğ. (2017) çalışmalarında Van Depremi ana şoku sonrasında, bölgenin doğusunda bulunan Erçek Gölü içerisinde meydana gelen artçı depremlerin veya tali faylarda gelişen depremlerin mekanizma çözümleri ve kinematik analizlerini yapmışlardır. Sismolojik veriler, Erçek Gölü içerisinde alınan sığ sismik yansıma kesitleri ile denştirilmiştir. Çalışmada aynı zamanda bu verilerin bölge tektoniği ve stres dağılımındaki yeri tartışılmıştır.

2.1.2. VAN DEPREMİ SONRASI YAPILAN ÇALIŞMALAR

ÇUKUR, D., ve diğ. (2013a) çalışmasında Van Gölü içerisinde yapılan sismik yansıma kesitleri üzerinden göl tabanında gözlenen gaz çıkışlarını, çamur volkanlarını, hidrokarbon çıkış noktalarını, sismitleri araştırmış ve 200 ayrı noktada serbest gaz çıkışını belirlemişlerdir. Çalışmada bu çıkış noktalarının ve sismisiteye işaret eden verilerin bilinen aktif bir fay ile ilişkisinin olmadığı da vurgulanmıştır.

ÇUKUR, D., ve diğ. (2013b) çalışmasında benzer şekilde Van Gölü içerisinde yapılan sismik yansıma kesitlerinde gözlenen farklı fasiyesleri birbirinden ayırtlamış ve gölün jeomorfolojik olarak 3 ana yapıdan oluştuğunu Degens (1984) yayınında da belirtildiği gibi tanımlamıştır. Çalışma sonucuna bu üç ayrı yapının karakterine ve içerdikleri morfolojik sedimantolojik oluşumlara göre gölün en yaşlı baseni olan Tatvan Çukurluğu kesiminde suyun yaklaşık 550k yıl tutulmaya başlandığını ancak yine bu kesimdeki yansıma kesitlerine göre gölün hiç bir zaman kuru kalmadığını da belirtmişlerdir. Bu çukurlukta kesintisiz ve düzenli yaklaşık 400 m kalınlığına genç sedimanter istifin varlığı da saptanmıştır. Çalışmada ayrıca Gevaş Bindirmesi'nin gölün güney kıyılarına çok yakın olduğu ve bu kesimdeki volkanik sokulumları fay ile kontrol edildiği de belirtilmiştir.

OKULDAŞ, C. ve ÜNER, S., (2013) çalışmalarında Van yerleşiminin yaklaşık 20 km kuzeyinde bulunan D-B uzanımlı ve kuzeye eğimli Alaköy Fayı'nın jeomorfolojik özelliklerini belirlemeye çalışmış ve fayın tektonik etkinliği tartışılmıştır. Bununla birlikte fayın doğu kesimde konumunun yaklaşık K70B/26KD yönünde olduğu ve genç göl çökellerinde 2 m'ye varan düşey atım verisine sahip olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, fay tarafından kesilmiş bu göl çökellerinin yaşı nedeniyle fayın Geç Kuvaterner'de aktif olma olasılığı üzerinde durulmuş ve bu yönde haritalanması gerektiği belirtilmiştir.

KOÇYİĞİT, A., (2013) çalışmasında 23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen Van Depreminin etki alanı içerisinde kalan bölgedeki ana süreksizliklerin ve fayların tanımlaması, karakterleri ve bölgenin neotektonik evrimi içerisindeki yerleri tartışılmıştır. Bölgede neotektonik dönemi doğrultu atımlı fayların şekillendirdiği belirtilmiştir. Yaklaşık K-G yönlü sıkışma rejimi altında gelişebilecek tüm yapıların bölgedeki varlığı da belirtilmiştir. Çalışmada, yaklaşık D-B uzanımlı ters faylanma veya bindirmelerin genelde paleotektonik döneme ait ürünler olduğu ancak bunların güncel rejimde yeniden aktif olabileceğine de değinilmiştir. Ancak çalışmada

üzerinde durulan ana fikir Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki aktif rejimin doğrultu atım rejimi olduğu, önceki çalışmalarda belirtildiği gibi gerilmeli (tensional) bir rejim olmadığıdır.

GÖRÜR, N., ve diğ. (2015) çalışmalarında Van Gölü'nün Geç Kuvaterner dönemi içerisindeki gelişimi ve tektono-stratigrafik evrimini çalışmışlardır. Bu kapsamda Van Gölü civarında gözlenen eski taraçaların sedimatolojik özelliklerine bağlı fasiyes ayrımı yapılmış ve göl seviyesindeki değişimlerin ve taraçaların yüksekliklerine bağlı olarak eski kıyı çizgilerinin konumları seviyeleri tartışılmıştır. Çalışmaya göre Van Gölü seviyesi 30 - 34 bin yıl öncesinde 1740 m, 20.7 – 20.9 bin yıl öncesinde ise yaklaşık 1710 m civarında idi. Göl seviyesindeki değişimlerin en baskın nedeni ise son buzul dönemi içerisinde gerçekleşen iklim değişiklikleri olarak değerlendirilmiştir.

SAĞLAM, A.S., (2016) çalışmasında Van Gölü doğusunda gözlenen ters faylanma karakterli üç ana fay zonunun, kuzeyden güneye Alaköy, Van-Everek ve Gürpınar Fayları'nın kontrol ettiği havzalardaki akaçlama ve derelerin morfolojik özelliklerine göre bölgesel yükselme ve fayların aktifliği konusunda çalışma yapmıştır. Ana dereler ile birlikte bunlara bağlanan ve özellikle fayların bulunduğu yamaç tarafındaki tali derelerin kıvrımlanması, simetri durumu, eğim farklılıkları gibi jeomorfolojik verileri üzerinden geliştirilen fomüller ile bölgesel ve segmentel yükselmelere yaklaşım yapmıştır. Çalışma sonucuna göre bu deprem üretmiş veya üretme potansiyeli yüksek olan fay zonlarında güneyden kuzeye doğru yıllık yükselme miktarı 0.5 mm den 0.05 mm ye kadar değişmektedir. Yani bir başka deyişle, güneydeki Gürpınar Fayı'nın doğu ve batı segmentlerinde yıllık 0.5 mm den fazla yükselme gözlenmektedir. Aynı oran Van Depreminin kaynak fayı olan Van Everek Fayı için de öngörülmüştür. En kuzeydeki Alaköy Fayı'nda ise bu yükselme miktarı 0.05 mm/yıl dan daha fazla olarak belirtilmiştir.

SAĞLAM, A.S., ve diğ. (2016) araştırma projeleri kapsamında yaptıkları çalışmalarında Van Gölü Havzası'nda gözlenen fayların kinematik analizlerini yaparak, farklı yaş konaklarında gözlenen etkin gerilme yönlerini ve bölgenin genelinin özellikle Pliyosen'deki stres yönlerini belirlemişlerdir. Çalışma kapsamında genç çökellerden yaş tayini de yapılmış ve önceki çalışmalarda elde edilen yaş verileri ile birlikte Kuvaterner çökellerdeki deformasyonun tektonik evriminin sıkışmalı rejimden, açınmalı rejime dönüştüğünü belirtmişlerdir.

ÜNER, S., (2019) çalışmasında Van Gölü'ne KD ucundan en fazla sediman taşıyan en büyük akarsu olan Bendimahi Çayı Deltası'nın jeolojik ve hidrolojik özellikleriyle birlikte

yerdeğiştirme süreci ve etmenleri tartişılmıştır. Çalışmaya göre, çayın ana kanalı göle yakın bir yerde keskin bir dönüş ile yerdeğiştirerek daha kuzeye yönelimiş ve yeni deltanın oluşumunu gerçekleştirmiştir. Bu keskin dönüşün KD-GB uzanımlı Erciş Fayı yüzey kırığı ve sarplığı nedeniyle olduğu belirtilmiştir. Çalışmada ayrıca delta bölgesinden alınan su örnekleri üzerinde kimyasal testler yapılmış, çay suyu ve göl suyu kimyası ile karşılaştırılmıştır.

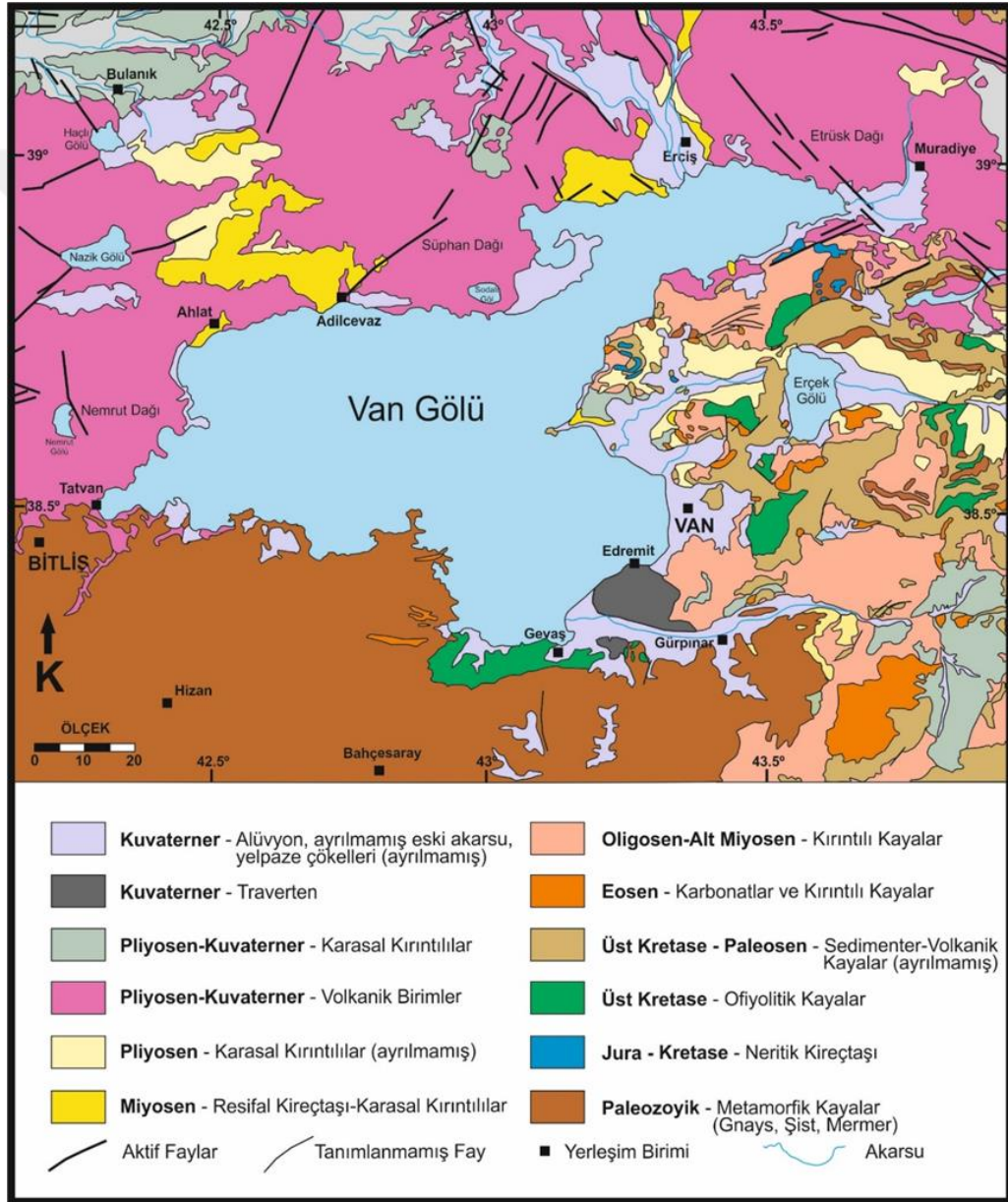
ÜNER, S., ve diğ. (2019) Van Gölü Kuzeydoğusu’da eski göl çökelleri içerisinde gözlenen yumuşak çökel deformasyon yapılarının türlerini ayırtlamışlar ve diğeri oluşum faktörlerini de değeriendirerek bu yapıların deprem kökenli yapılar yani sismit olabileceğini belirtmişlerdir. Çalışma kapsamında beş ayrı lokasyondan toplamda 15 seviyeden örnek alınmış ve OSL yöntemi ile yaş tayini yaptırılmıştır. Bu sismitlerin oluşumu için gerekli depremi üretecek fayın ise konumu nedeniyle sağ yönlü doğrultu atımlı fay olan Erciş Fayı olduğu belirtilmiştir. Bu kapsamda elde edilen yaş verileri ve korelasyonu sonucunda Erciş Fayı üzerinde oluşabilecek, $M \geq 5$ ’den büyük bir depremin tekrarlanma periyodu 125- 250 yıl arası olarak hesaplanmış ve bunun da bölgedeki diğeri ana yapıların jeodinamiğı ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

ŞENGÜL, M.A., ve diğ. (2019) çalışmalarında Van İli güneyinde yüzeylenen yaklaşık 400.000 yıl yaşlı traverten birimi içerisinde ve civarında gözlenen deformasyonların yönelimi ve karakterli üzerinden bölgenin genel stres rejimini tartışmışlardır. Çalışma kapsamında gerek Edremit Travertenini içerisindeki gerekse diğeri birimleri kesen ana fayların kinematik analizleri de yapılmıştır. Bu çerçeve de bölgedeki asal sıkışma yönü yaklaşık K35B olarak bulunmuştur. Çalışmada ayrıca güneydeki en büyük ters fay karakterindeki Gürpınar Fayı’nın K-G uzanımlı Elmalık Fayı’nın ucundaki yırtılma fayı ile segmentasyona uğradığı da belirtilmiştir.

SAĞLAM, A.S., ve diğ. (2020) çalışmaları 2016 yılında yayınladıkları raporların makale formatında yayınlanması olup Van Gölü Havzasında Neojen-Kuvaterner sürecinde etkin olmuş stres dağılımlarını ve buna bağılı gelişen deformasyonları tartışmışlardır. Çalışmada bölgedeki bazı ana faylarda ve yakın çevrelerindeki genç karasal çökellerde gözlenen süreksizliklerin kinematik özelliklerinden yola çıkılarak analizler yapılmıştır

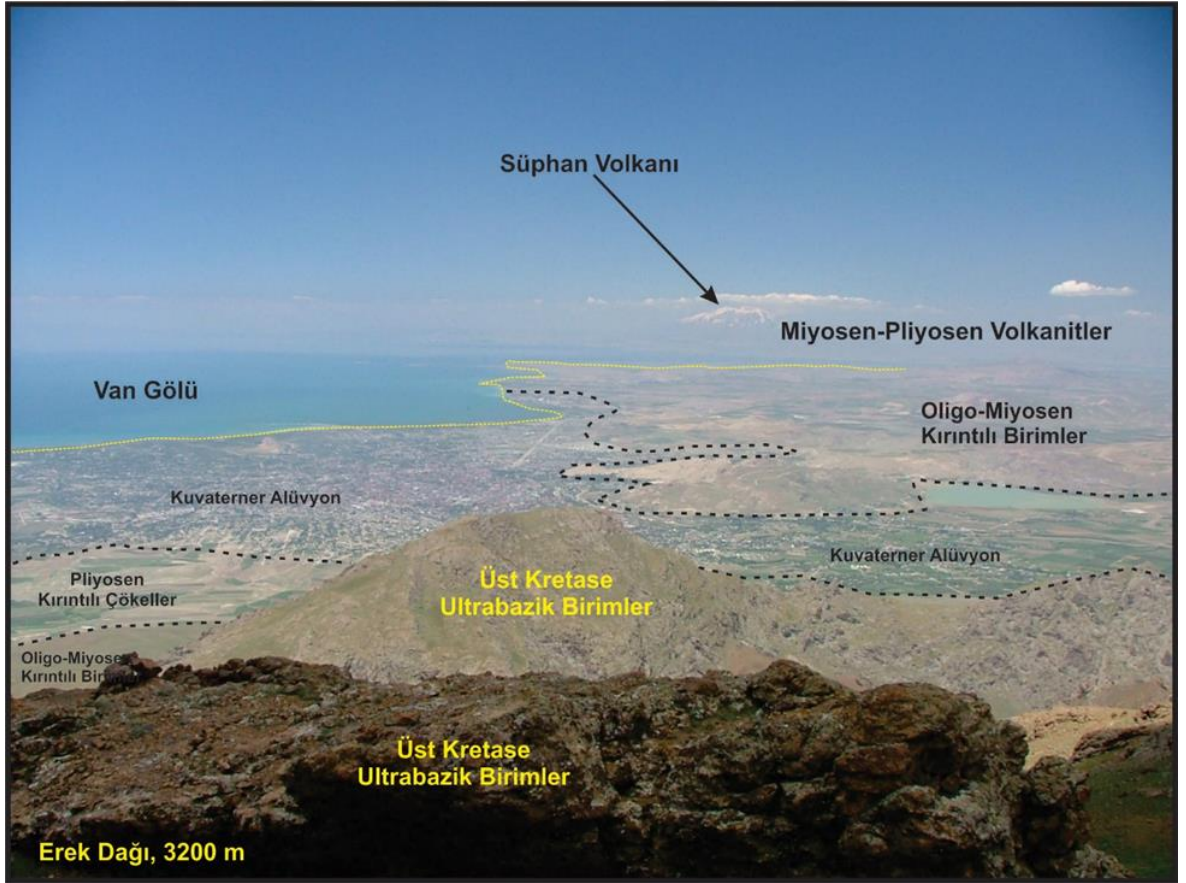
2.2. BÖLGESEL JEOLojİ

Van Gölü Havzası'nda geniş alanlar boyunca Paleozoyik'ten günümüze kadar farklı yaş aralığında birçok kaya grubu yüzlek vermektedir (Şekil 2.1). Havzanın güney ve güneybatısında daha çok Bitlis Masifi'ne ait metamorfik kayalar ve bunların altında Gevaş Ofiyoliti olarak tanımlanan ofiyolitik birimler yüzeylenmektedir (Ketin 1977, Ternek 1953, Göncüoğlu ve Turhan 1984, Yılmaz ve diğ. 1981).



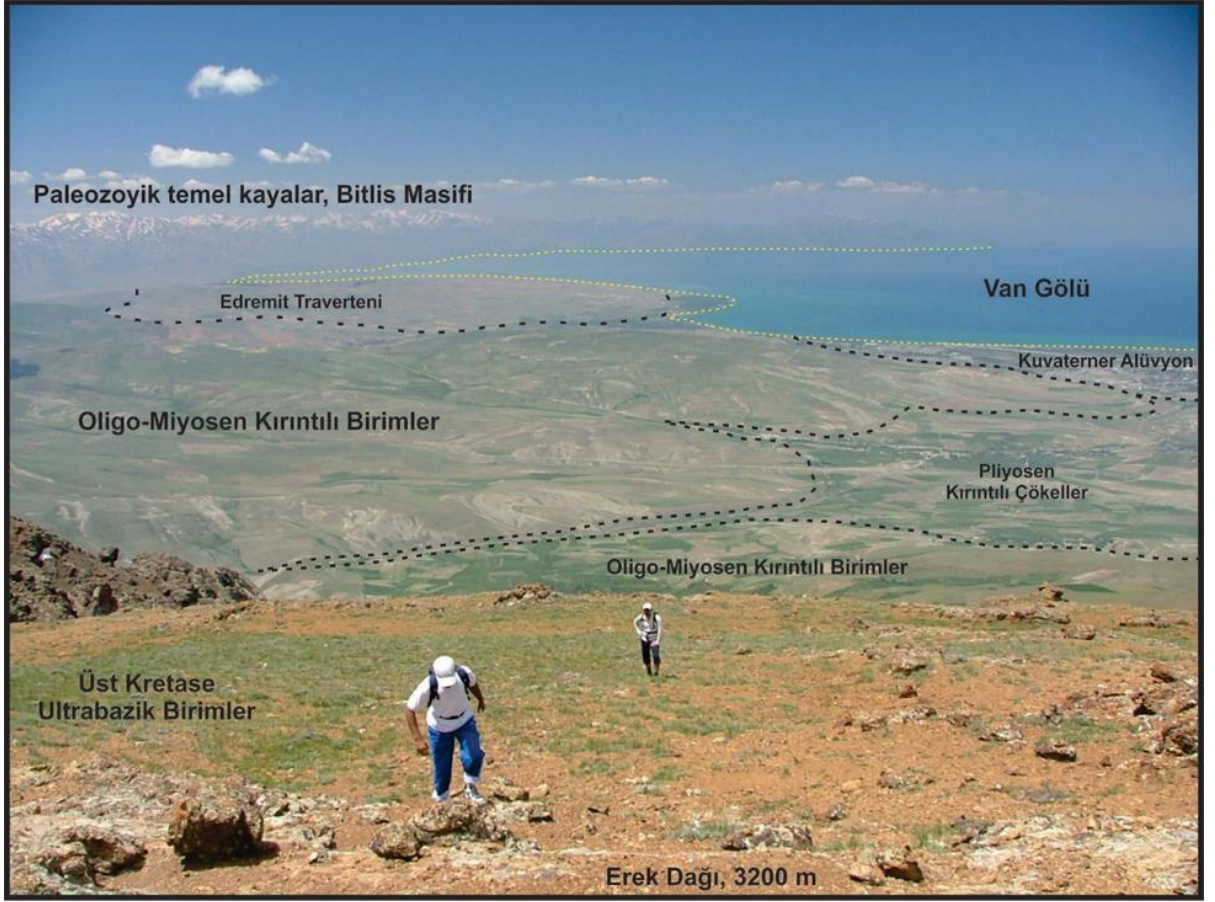
Şekil 2.1. Van Gölü Havzası Jeoloji Haritası (MTA 2002).

Havza içerisinde en fazla gözlenen kaya grubu ise Doğu Anadolu Bölgesi'nin de büyük bölümünde gözlenen volkanik birimlerdir. Batıda Nemrut, kuzeyde Süphan, Etrüsk, Meydan, Girekol, kuzeydoğuda Tendürek gibi birçok volkana ait, Miyosen'den günümüze farklı zamanlarda gelişmiş lav ve volkanoklastik ürünler bölgede geniş yayılım sunmaktadır (Güner 1984, Yılmaz 1990, Yılmaz ve diğ. 1987) (Şekil 2.2). Havzanın güneydoğusunda ve doğusunda ise Geç Kretase-Miyosen aralığında yerleşmiş Yüksekova Karmaşığı'na ait ofiyolitik birimler ve kırıntılı çökeller bulunmaktadır (Şekil 2.3). Bu birimlerin üzerinde Eosen-Miyosen döneminde denizel kırıntılılar ve karbonatlar çökelmiş, Geç Miyosen'den itibaren havzaların kapanmasıyla tamamen karasal ortam bölgeye hâkim olmuştur. Bölgede, Alt Miyosen yaşlı resifal kireçtaşı birimleri, denizel ortamın son ürünleri olarak yüzlek vermektedir (Acarlar ve diğ. 1991).



Şekil 2.2. Van Gölü Havzası doğu ve kuzeybatı kesimi litolojik birimleri, bakış yönü KB.

Havzanın doğusunda ve kuzeydoğusunda yer yer volkanik birimlerin de üzerinde Pliyosen'den itibaren çökelmiş göl ve akarsu ürünleri yüzeylenmektedir. Pleyistosen sonunda Van Gölü'ne ait su seviyesi değişimleri, geniş yayımlı göl, akarsu ve delta çökellerinin gelişimine neden olmuştur. Aynı dönem içerisinde havzanın doğu kısmında Van'ın Edremit İlçesi civarında geniş yayımlı traverten birimi oluşmuştur (Acarlar ve diğ. 1991). Tüm bu birimlerin üzerinde güncel olarak sınırlı alanlarda yamaç molozu, tutturulmamış akarsu çökelleri yüzeylenmektedir



Şekil 2.3. Van Gölü Havzası güneybatı kesimi litolojik birimleri, bakış yönü GB.

2.3.NEOTEKTONİK KONUM

Van Gölü Havzası ve yakın çevresi, Doğu Anadolu Yüksek Platosunda yer almaktadır. Orta Miyosen'den itibaren süregelen Neotektonik Dönem (Şengör ve Yılmaz 1981, Şengör ve diğ. 1985) bölgenin şekillenmesini sağlamış ve ana yapısal unsurları oluşturmuştur. Türkiye'nin ve yakın çevresinin Neotektonik dönemini belirleyen ve kontrol eden temel yapılar, bölgedeki plakaların temel dinamiği ve hareket yönlerine bağlı olarak gelişmiştir. Bu haliyle Anadolu Bloğu güneyinden Afrika (Nubia) ve Arabistan Plakaları ile kuzeyinden ise Avrasya Plakası ile sınırlanmış bir bölgededir (Şekil 2.4). Doğuda, yaklaşık Orta Miyosen'de başlayan çarpışma ve batıda Ege ve Kıbrıs Yayları boyunca günümüzde de devam eden dalma batma neticesinde Anadolu Plakası ürettiği iki ayrı transform fay zonu boyunca batı ve güneybatı yönünde hareket etmeye başlamıştır (Şengör ve Yılmaz 1981, Barka ve Reilinger 1997) (Şekil 2.4). Bu fay zonları, kuzey sınırı belirleyen Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve güneydoğu sınırı belirleyen Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)'dur. Anadolu Plakası KAFZ boyunca yaklaşık 25 mm/yıl, DAFZ boyunca ise 10 mm/yıl batıya doğru hareket etmekte, Güneybatı Anadolu'da ise bu hareketin miktarı 33 mm/yıl'a kadar çıkmaktadır (Reilinger ve diğ. 2006). Bu durum ve saat yönünün tersine doğru dönme hareketi aslında doğuda gerçekleşen kuzey ve güneyden sıkıştırılarak batıya doğru itelenen - kaçan Anadolu Plakası hareketinden ziyade, Afrika Plakası üzerine doğru hareket kolaylığı bularak dalma batma zonunun hızından faydalanıp yayılan - çekilen bir plaka hareketi sunmaktadır (Barka ve Reilinger 1997, Reilinger ve diğ. 2006). Doğu kesimde ise Arabistan Plakası kuzeye doğru yılda 15 mm'lik hareketi ile Doğu Anadolu ve İran Platolarını şekillendirmektedir (Şekil 2.4).

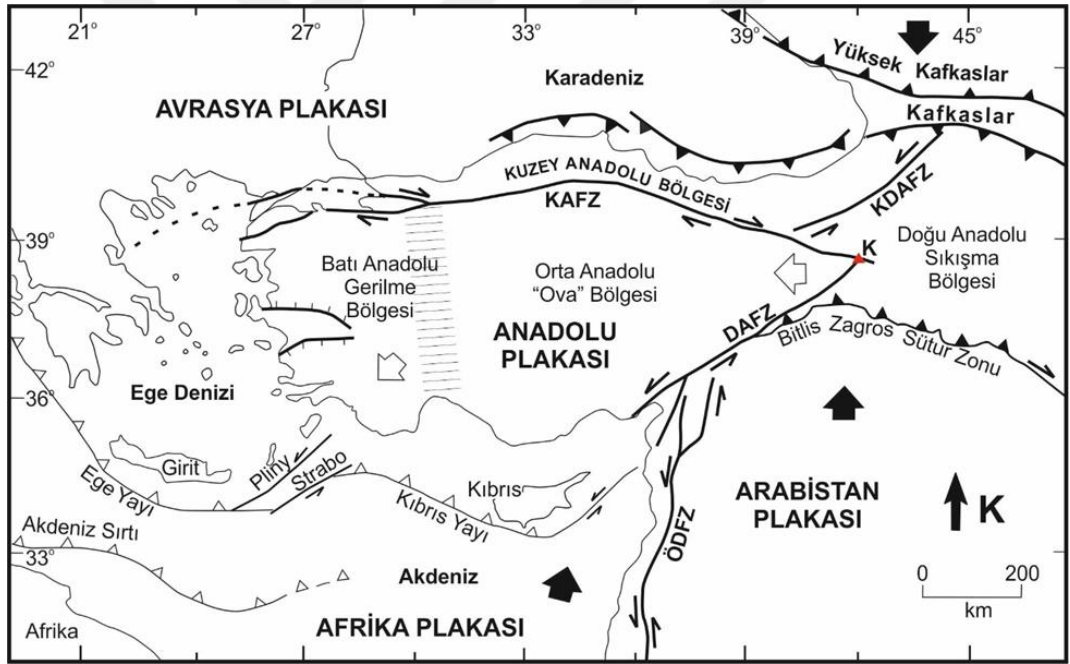


Şekil 2.4. Afrika - Arap ve Avrasya Plakalarının GPS hızlarına bağlı olarak gelişen etkileşimlerini gösterir harita (Reilinger ve diğ. 2006'dan alınmıştır). CAU: Kafkas Bloğu, AN: Anadolu Plakası, AE: Ege Bloğu. Beyaz oklar plakaların kayma yönünü, beyaz renkli rakamlar ise yıllık kayma miktarını göstermektedir. Plaka içi rölatif dönmeler ise dairesel oklar ile gösterilmiştir. İçi beyaz çift çizgili plaka sınırları açılma rejimini, üzerinde ok olan düz siyah çizgiler doğrultu atımlı sınırları, üzerinde siyah kapalı üçgen olan çizgiler bindirme kuşaklarını temsil etmektedir. Parantez içindeki rakamlar eğim atımının yıllık kayma miktarını, parantez içinde olmayan rakamlar ise doğrultu atımının yıllık kayma miktarını temsil etmektedir.

Bütün bu jeodinamiğin oluşturduğu stres, Anadolu Plakası içinde ve çevresinde farklı karşılanmış ve başlıca temel karakteristikler sergileyen bölgeleri ve sınır yapılarını oluşturmuştur. Bu bölgeler temelinde, Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi, Batı Anadolu Gerilme Bölgesi ve Orta Anadolu Ova Bölgesi olarak ayrılmışlardır (Şengör ve Yılmaz 1981, Şengör ve diğ. 1985, Barka ve Reilinger 1997) (Şekil 2.5). Batı Anadolu Bölgesi, GB'ya doğru olan hareketi nedeniyle K-G yönlü bir açılma ve genişleme tektoniğine maruz kalmakta ve oluşan yapılar bu gerilme rejimi altında gelişmektedir. Orta Anadolu Ova Rejimi Bölgesi ise KAFZ ve DAFZ'ndan uzak, daha sakin bir stres rejimi altında güncelliğini korumaktadır.

Bu bölgedeki ana yapısal süreksizliklerin hareket miktarları oldukça düşük olup (3 - 4 mm/yıl) gerilme miktarlarına bağlı gelişen deformasyonların boyutları zayıf ve stres boşalımaları da seyrek gözlenmektedir (Reilinger ve diğ. 2006). Anadolu Plakası batıya doğru olan hareketini sağ yönlü doğrultu atımlı karakterli Kuzey Anadolu Fay Zonu ve sol yönlü doğrultu atımlı karakterli Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca devam ettirmektedir.

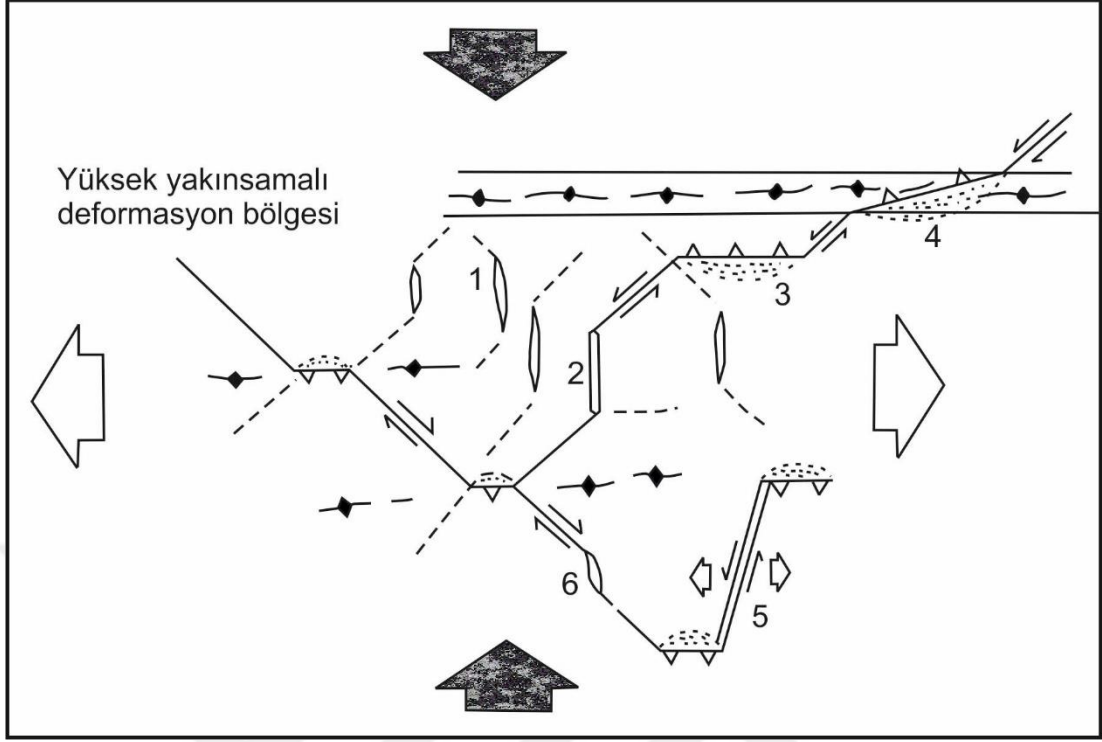
Bu iki fay zonunun doğudaki kesişim noktası olan Karlıova Ekleminin doğusu ise DAFZ'nun sol yönlü hareket etkisinden uzak neredeyse tamamıyla K- G yönlü sıkışma rejiminin etkisi altındadır (Şekil 2.5). Bu sıkışma hareketi daha doğuda İran bölgesi ile birleşik durumda olup Türkiye İran Platosunu (TİP) oluşturmaktadır (Şengör ve Kidd 1979). Bu bölge kuzeybatısında Kuzey Doğu Anadolu Fay Zonu (KDAFZ), kuzeyde Yüksek ve Alçak Kafkaslar ile güneyde ise Bitlis Zagros Sütur Zonu ile sınırlanmaktadır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Türkiye ve yakın çevresinin basitleştirilmiş tektonik bölgeleri ve yapıları haritası (Şengör ve diğ. 1985, Şengör Yılmaz 1981, Barka 1992, Bozkurt 2001'den alınmıştır). KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, KDAFZ: Kuzeydoğu Anadolu Fay Zonu, ÖDFZ: Ölü Deniz Fay Zonu. K: Karlıova Ekleminin. Üzerinde ok olan kalın siyah çizgiler plaka sınırı olan Doğrultu Atımlı Fayları, oklar göreceli olarak hareket yönlerini, üzerinde çentik olan kalın siyah çizgiler Normal Fayları, çentiklerin olduğu blok düşen bloğu temsil etmektedir. İçi dolu siyah üçgenlerin olduğu kalın çizgiler ana bindirmeleri, üçgenlerin olduğu blok üzerleyen bloğu, içi dolu siyah üçgen içeren ince çizgiler kenet kuşağını, içi boş üçgen içeren ince çizgiler ise aktif dalma batma zonlarını temsil etmektedir. Büyük içi boş oklar Anadolu Plakasının hareketini, içi dolu siyah oklar ise Afrika ve Arap Plakalarının hareket yönlerini göstermektedir. Birbirine paralel çizilmiş kısa çizgiler ise Batı Anadolu Gerilme Bölgesinin başladığı alanın doğu sınırını temsil etmektedir.

Van Gölü Havzası ve çalışma alanı bu sıkışma rejiminin etkisi altında, yaklaşık Orta Miyosen'den günümüze kadar gelişen yapılar içerisinde şekillenmiştir. Doğu Anadolu Bölgesi, benzer çarpışma kuşakları içerisinde gerek morfolojisi gerek volkanizması gerekse deformasyon yapıları ile hem karakteristik hem de kendine özgü yapı sergilemektedir (Şengör 2003, Keskin 2003, Keskin 2007, Koçyiğit ve diğ. 2001, Bozkurt 2001). Kuzey – Güney yönlü sıkışmanın kabuğu kısaltıp kalınlaştırması ve ardından yığışım süreci içerisinde kuzeye dalan okyanusal litosferin yaklaşık 13My'dan itibaren dikleşerek dalmaya devam etmesi ve 10 -11 My civarında ise güney kesiminden kopmasıyla sonuçlanmıştır (Şengör ve diğ. 2003, Keskin 2003, 2007). Bu kopma sonucunda yığışan kabuk, bölgesel olarak astenosfer üzerinde yükselmiş ve gerilmiş, gerilen kabukta oluşan derin kırıklar boyunca da tüm platoda çok yaygın bir şekilde tüm platoda volkanizma oluşmuştur (Keskin 2007). Kuvaterner döneminde dahi gözlenen aktif volkanizma ve bölgedeki volkanik yapılar aynı zamanda morfolojiyi ve de yapısal unsurların geometrilerini de belirlemişlerdir.

Sıkışma rejimi altında gelişen deformasyon, Doğu Anadolu Bölgesi'nde belirli geometrilerdeki neotektonik yapılar ile karşılanmaktadır (Şekil 2.6). Bölgede ağırlıklı olarak sıg kabuk deformasyonu ve doğrultu atımlı faylar gözlenmektedir (Şengör ve diğ. 1985, Bozkurt 2001, Koçyiğit ve diğ. 2001, Dhont-Chorowicz 2006, Copley-Jackson 2006). Bu doğrultu atımlı fayların KD-GB uzanımlı olanları sol yönlü, KB-GD uzanımlı olanları ise sağ yönlü karakterdedir. Doğrultu atımlı fayların parçalı (segment) yapıda olması ve bu parçaların birbirlerine göre sıçramaları nedeniyle gelişen dar ölçekli çek ayır havzalar yine bu sistem içerisinde gözlenen karakteristik yapılarıdır. Sıkışmanın en temel yapısı olan ters faylar veya bindirme zonları ise genellikle Doğu – Batı uzanımlıdır. Yine aynı yönelimle kıvrım eksenlerini bölgede izlemek mümkündür. Sıkışmanın açılma ile karşılandığı büyük boyutlu yapılar ise K-G uzanımlı açılma çatlaklarıdır (Şekil 2.6) (Şengör ve diğ. 1985). Gözlenen neotektonik yapılar morfolojinin şekillenmesinde, havzaların oluşumunda, dağ arası basenlerin (Şaroğlu ve Güner 1981, Şaroğlu ve Yılmaz 1986) oluşumunda etkindir.

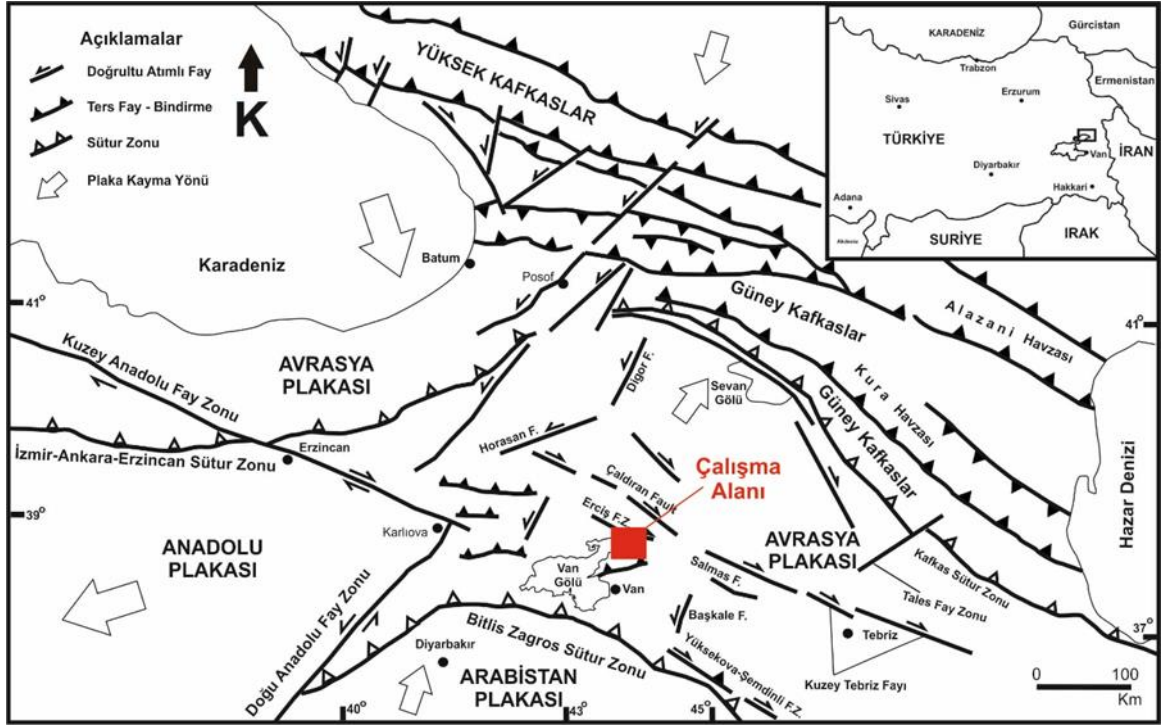


Şekil 2.6. Doğu Anadolu'daki K-G yönlü sıkışmayı karakterize eden etkin gerilme yönleri ve gelişen yapılar (Şengör ve diğ. 1985'den alınmıştır). 1 Açılma Çatlağı, 2 ve 6 Çek Ayır Havzalar, 3 ve 4 Rampa Sırt Yapıları, 5 Normal bileşenli Oblik Faylanma. İçi dolu siyah oklar sıkışma yönlerini, içi boş oklar çekme yönlerini temsil etmektedir.

Doğu Anadolu, İran ve Kafkasları içerisine alan bu sıkışmalı bölgede Yüksek Kafkaslar Bölgesi'nden Doğu Anadolu'nun kuzeyine kadar gelen kesimde, yani Güney Kafkaslara kadar olan bölgede daha çok bindirme ve ters faylanma karakterli yapılar yoğunluktadır (Şekil 2.7). Bu bölge, sıkışmalı daralmalı neotektonik birimleri içermektedir (Koçyiğit ve diğ. 2001, Bozkurt 2001).

Kafkaslar'dan Doğu Anadolu'ya, yani güneye doğru inildiğinde ise Bitlis Zagros Sütur Zonu'na kadar olan yığılma alanı, hem sıkışmalı hem gerilmeli bir rejimin etkisi altındadır (Koçyiğit ve diğ. 2001, Bozkurt 2001). Çalışma alanı ve yakın çevresinde yukarıda bahsi geçen tektonik yapıların büyük bölümü gözlenmektedir (Şekil 2.7). Özellikle ters faylanma ve sağ yönlü doğrultu atımlı faylanma karakterli yapılar bölgenin neotektonik dönem yapıları olarak etkin durumdadır. Yakın geçmişte, 2011 yılında gerçekleşen $M=7.1$ büyüklüğündeki (Poyraz ve diğ. 2011) Van Depremi ters faylanma mekanizması ile bölgede etkin sıkışma ürünlerinin güncel olduğunun ve deformasyonun halen ters faylanma ile karşılanabildiğinin en büyük kanıtıdır. Bununla birlikte Erçiş Fayı, Çaldıran Fayı bölgedeki KB-GD uzanımlı ana doğrultu

atımlı faylardır. Özellikle Çaldıran Fayı, hem aleltsel dönem içerisinde oluşturduğu $M=7.3$ büyüklüğündeki deprem hem de İran'a doğru aynı karakterdeki yapılarla devam etmesi nedeniyle sığ deformasyonun ($\sim 10 - 15$ km) karakterize edilmesi açısından önemli bir neotektonik yapıdır (Şekil 2.7). Bölgedeki doğrultu atımlı faylar sıkışma altında yanıl vektörlerde kaçmayı temsil etmektedir (Koçyiğit ve diğ. 2001).



Şekil 2.7. Türkiye – İran Platosu ve çevresinin basitleştirilmiş tektonik haritası. Beyaz oklar plaka hareket yönlerini göstermektedir (Koçyiğit 2013'den basitleştirilmiştir).

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde tez çalışmasının gerçekleştirilme sürecinde kullanılan malzemeler, analiz yöntemleri, saha ve ofis çalışmaları, arazi uygulamaları anlatılmaktadır. Bunlarla birlikte sahadan alınan örnekler üzerinde yaptırılan yaş tayini analizlerine de değinilmektedir.

3.1. ARAZİ ÇALIŞMALARI

Teze konu olan sahanın sınırlarının belirlenmesi ve jeolojik problemin yerinde görülmesi amacıyla farklı dönemlerde saha çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Tez adı savunusu sonrası 2009 yılı yazında ilk saha çalışması yapılmış ve arazinin morfolojik özellikleri ile birlikte çalışılacak sahanın sınırları belirlenmiştir. Bu dönem içerisinde sahada gözlenen birimlerin genel ve stratigrafik özellikleri ve yapısal özellikleri değerlendirilmiş ve klasik jeolojik yöntemler uygulanmadan sahayı tanıma fırsatı oluşmuştur.

Ardından sistematik olarak 2011 - 2012 yaz aylarında yoğunca arazi çalışmaları yapılmıştır. Bu süre zarfında klasik jeolojik haritalama ve örnekleme yöntemleri uygulanmış, birimlerin sınırları 1/25.000 ölçekli topografik haritalara işlenmiş, jeolog pusulası yardımıyla birimlerde gözlenen tabakalanma başta olmak üzere tüm süreksizliklere ait konumlar ölçülmüş ve saha defterine kaydedilmiştir. Bununla birlikte tezin amacına yönelik özellikle yapısal süreksizliklerin konumu, mekanizmasına işaret eden çizgisel unsurlar ölçülmüş, kinematik veriler için altlık oluşturulmuştur. Arazi çalışmaları kapsamında özellikle genç çökellerin ve bazı ana süreksizliklerin yaşını tayin etmek amacıyla örnekleme yapılmıştır.

Saha çalışmalarının farklı bir kesime kaydığı dönem ise 23 Ekim 2011 tarihinde gerçekleşen $M=7.1$ büyüklüğündeki Van Depremi olmuştur. Van Depreminin etki alanı, doktora çalışma sahasının içinde kalmakla birlikte güneye doğru uzanan bir bölgeyi kapsamış ve lokal olarak depremin ve depremi üreten fay zonunun özellikleri hem saha çalışmalarına hem de tez konusuna dâhil edilmiştir. Bu nedenle Van İli kuzeyinden itibaren Erçiş Çelebibağı kesimine kadar depremin izleri takip edilmiş, yüzeyde depreme bağlı gelişen deformasyonlar saptanmıştır. Bir ilave çalışma da Ağustos 2012 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında deprem sonrası gerçekleşen jeodezik değişimlerin belirlenmesi amacıyla sahada DGPS (Differential Global Positioning System) ile ölçümler alınmıştır. Ölçüm alınan noktalar

depremden önce yapılan başka bir çalışmaya ait noktalar olup depremden sonra gerçekleşen düşey ve yanal yöndeki yüzey deformasyonları ölçülmüştür.

3.2. BÜRO ÇALIŞMALARI

Saha çalışmaları öncesinde ve dönemsel olarak saha çalışmaları haricinde tez konusu ve de teze konu olan alan ile ilgili literatür derlenmiştir. Kaynakların bir bölümü MTA Kütüphanesinden elde edilmiştir. Büro çalışmaları kapsamında jeolojik verinin derlenmesi ve sunumu için bazı yazılımlar kullanılmıştır. Bunlar özellikle yapısal jeoloji verilerinin değerlendirilmesinde faydalı olmuştur. Bu yazılımlar RocScience firmasına ait DIPS 8.0 ve Dr. Damien Delvaux tarafından geliştirilen WinTensor 5.9.0 yazılımıdır. Bu yazılımlar sırasıyla stereografik projeksiyon - gül diyagramları ile fayların ve ana süreksizliklerin kinematik analizlerinin, mekanizma çözümlerinin yapılmasına olanak sağlamıştır. Tez kapsamında kullanılacak şekillerin hazırlanmasında ise CorelDraw X8 programı, metin bölümlerinde ise MS Office yazılımları kullanılmıştır. Yazılımların hepsi lisanslıdır. WinTensor yazılımı genel kullanıma açık kaynaklıdır.

Van Depremi (23 Ekim 2011) sonrasında depremin sismolojik, jeodinamik ve jeolojik özelliklerine yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiş ve yayımlanmıştır. Bu tarihten itibaren çıkan yayınların ve raporların hemen hepsi tez çalışması kapsamında değerlendirilmiş olup önceki çalışmalar bölümünde deprem sonrası çıkan yayınlar ayrı ele alınmıştır. Sismolojik verilerin derlenmesi sırasında yayınlanmış yerel ve yabancı kataloglardan faydalanılmış olup aletsel dönem depremlerin kayıtları ve mekanizma çözümleri için Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme Merkezi (KRDAE - BDTİM) ve Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı (AFAD) verilerinden faydalanılmış, ofis çalışmaları Rasathanede gerçekleştirilmiştir.

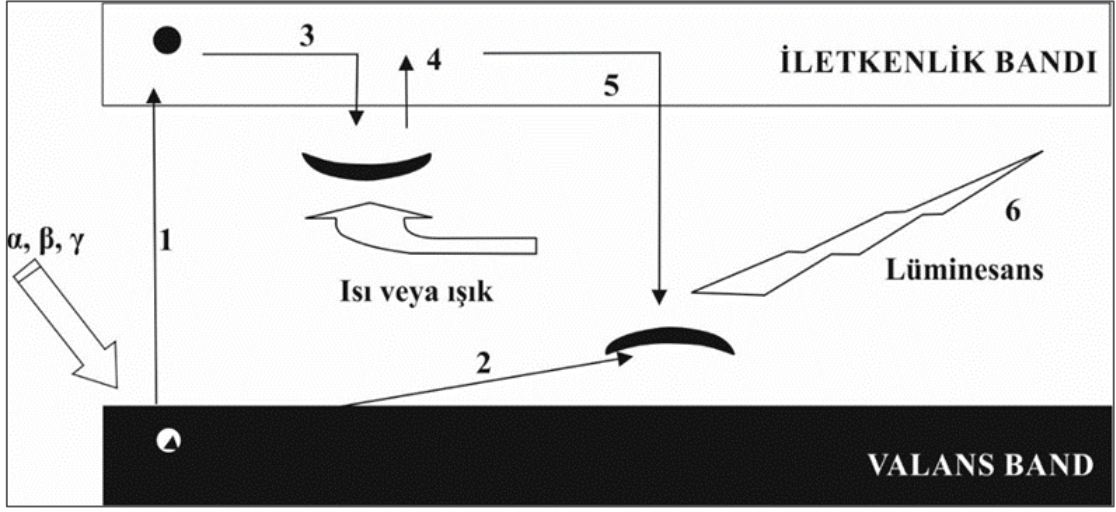
3.3. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Arazi çalışmaları sırasında stratigrafik olarak Kuvaterner yaş konağında yer aldığı düşünülen birimleri kesen ve aktif olma potansiyeli taşıyan süreksizliklerin/fayların yaşlandırılmasına yönelik örnekleme yapılmıştır. Örnekleme çalışması 2012 yazında yapılmış olup örnekler ulusal ve uluslararası laboratuvarlara gönderilmiştir. Laboratuvar çalışmaları için gönderilen örnekler proje bütçesi dâhilinde kısıtlı miktarda olmuştur. Analiz yöntemleri olarak alınan örneğin türü ve analizin yaşlandırmadaki etkin aralıkları belirleyici olmuştur. Bu nedenlerle, eski göl çökelleri içerisinde bulunan gölssel Gastropod fosilleri üzerinde Radyokarbon yöntemi, açık renkli mineral içeren kırıntılı çökeller üzerinde OSL (Optically Stimulated Luminescence) ve volkanik birimlerde K/Ar yöntemi ile radyometrik yaş tayinleri yaptırılmıştır. OSL örnekleri ülke içinde Türkiye Atom Enerjisi Kurumu ve Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsünde, Radyokarbon örneği Beta Analytic – Miami ABD’de ve son olarak K/Ar örnekleri Göttingen Üniversitesi – Almanya’da analize tabi tutulmuştur. Bu yöntemler ile ilgili kısaca bilgilendirme şöyledir;

OSL – Optik Uyarmalı Lüminesans Yöntemi

Lüminesans olayı enerji band modeliyle açıklanabilmektedir. Bu açıklama için bir iyonik kristal kullanılmaktadır. İdeal bir kristal özdeş yapıtaşlarının uzayda sonsuza kadar dizilişi ile oluşturulur. İyonik kristaller pozitif ve negatif iyonlardan oluşan bir örgü içermektedir. Bununla birlikte düzenli örgü içerisinde kusurlar oluşabilmektedir. Sıklıkla oluşabilen kusurlara, bir örgü noktasını işgal eden atom veya iyonun yerini terk edip o noktayı boş bırakması (atom veya iyon boşluğu, Schottky kusuru), örgü noktaları arasında bir yer işgal eden atom (Frenkel kusuru), örgü içinde yabancı atom bulunması (katkı, kir), bir örgü noktasında bulunması gereken elektronlardan fazla olarak bulunan elektron (bağlı elektron), bir örgü noktasında bulunması gereken elektron boşluklarından fazla olarak bulunan boşluk örnek olarak verilebilir.

Lüminesans olayını açıklamada kullanılan enerji band modeli şematik olarak Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

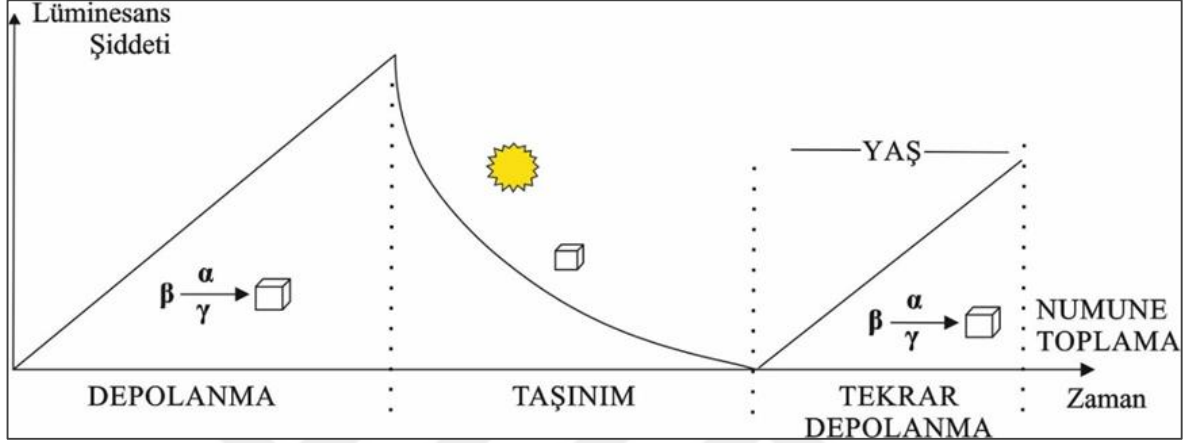


Şekil 3.1. Band modeline göre lüminesans olayının enerji diyagramı (AÜ-NBE Ankara Üniversitesi – Nükleer Bilimler Enstitüsü raporundan alınmıştır).

(1) Radyasyona maruz kalan kristalde elektronlar, enerji kazanarak valans bandından iletkenlik bandına çıkarlar. (2) Elektronların ayrıldığı yerde boşluklar (deşikler, holler) oluşur. Budeşikler difüzyonla valans bandı üzerindeki lüminesans merkezlerine taşınırlar. (3) Termal dengeden dolayı iletim bandından elektronlar tekrar valans bandına doğru hareket ederler. Bu esnada yasak bölgede bulunan tuzaklarda yakalanırlar. Elektronların yakalandığı bu tuzaklardaki ömürleri tuzağın derinliğine bağlı olarak birkaç saatlik bir süreden yüzbinlerce yıllık bir süreye kadar değişim gösterebilir. Bir dış etken (ısı, ışık) vasıtasıyla tuzaklanan elektronlar tuzaklardan çıkartılabilirler. (4,5) Tuzaklardan çıkan elektronlar önce iletim bandına, oradan da birleşme merkezlerine hareket ederek buradakideşiklerle birleşebilirler. (6) Bu sırada sistemden ısı veya ışık yayılımı (lüminesans) gözlemlenir. Tuzaklardan elektronları çıkarmak için, ışık kullanılırsa işlem optik uyarmalı lüminesans (OSL), ısı kullanılırsa termolüminesans (TL) olarak adlandırılır.

Tarihlendirmede Lüminesans

Yeterli süre ısı ya da ışığa maruz kalan toprak malzemenin tüm tuzakları boşalır. Bu olaya lüminesans saatin sıfırlanması denir. Tabiatta, lüminesans saatin sıfırlanmasıyla ilgili bir gösterim Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Doğada Lüminesans saatinin sıfırlanması ve tekrar çalışması (AÜ - NBE raporundan alınmıştır).

Genellikle, bir arkeolojik eserin lüminesans saati, eserin üretim aşamasındaki fırınlamayla, bir jeolojik numunenin lüminesans saati ise bir önceki konumundan son konumuna taşınması sırasında maruz kaldığı gün ışığıyla sıfırlanır. Tarihlendirme çalışmalarının temel varsayımı, tarihlendirilecek numune için sıfırlanma olayının gerçekleşmiş olmasıdır. Bir arkeolojik ya da jeolojik numunenin tuzakları, toprağa gömülme anından çıkartılma anına kadar geçen süre içerisinde, topraktaki radyoaktif mineraller ve kozmik ışınlardan kaynaklanan çevresel radyasyon dozuyla orantılı olarak dolar. Dolan bu tuzaklar ışığa çok duyarlı olduğundan arazi ve laboratuvar çalışmaları süresince düşük şiddetli kırmızı ışık kullanılır. Toplanan numune laboratuvarda ışıkla veya ısıyla uyarılır, bunun sonucunda dolu tuzaklar boşalır. Bu boşalmayla elde edilen lüminesans şiddeti, numunenin lüminesans saatinin sıfırlanmasından itibaren soğurduğu doz ile orantılıdır. Bu soğrulan doz miktarına eşdeğer doz (ED) denir.

Tarihlendirme için önemli başka bir büyüklük de yıllık dozdur (YD). Yıllık doz, numunenin, toprağın içeriğinde bulunan radyoaktif elementlerden ve kozmik ışınlardan dolayı bir yılda soğurmuş olduğu dozdur. Tarihlendirme çalışmalarındaki önemli bir varsayım da tespit edilen yıllık dozun, gömü boyunca numune için sabit kalmış olmasıdır.

$$Yaş = \frac{\text{Eşdeğer Doz}}{\text{Yıllık Doz}}$$

Yaş, yukarıdaki denklemden de görüldüğü gibi eşdeğer dozun yıllık doza oranlanmasıyla hesaplanır. Burada yaşla kastedilen, numunenin son defa ışığa veya ısıya maruz kalmış olduğu tarihten, topraktan çıkartılmasına kadar geçmiş olan süredir. Bugüne kadar lüminesans yöntemlerle yaş tayini çalışmalarında elde edilen yaşlar onlarca yıldan milyonlarca yıla kadar değişim göstermiştir.

Deneysel İşlemler Numunelerin hazırlanması

Laboratuvara getirilen numuneler ilk önce üzerindeki nemin giderilmesi amacıyla etüvde kurutulmuştur. Daha sonra sırası ile öğütme ve eleme işlemleri uygulanmıştır. Bu işlemlerden sonra 20 µm boyutunda küçük tanecikler elde edilmiştir. Toprakta doğal olarak bulunan kalsit ve organiklerden temizlenmek amacıyla numuneler sırasıyla %10 HCl ve %30 H₂O₂ kimyasal çözeltileri içerisinde tepkimeleri sona erene kadar bekletilmiştir. Her kimyasal işlemten sonra örnekler saf su ile yıkanmıştır. Daha sonra bu numuneler OSL cihazında kullanılan alüminyum disklerin üzerine homojen bir şekilde silikon spre y yöntemi ile yapıştırılmıştır.

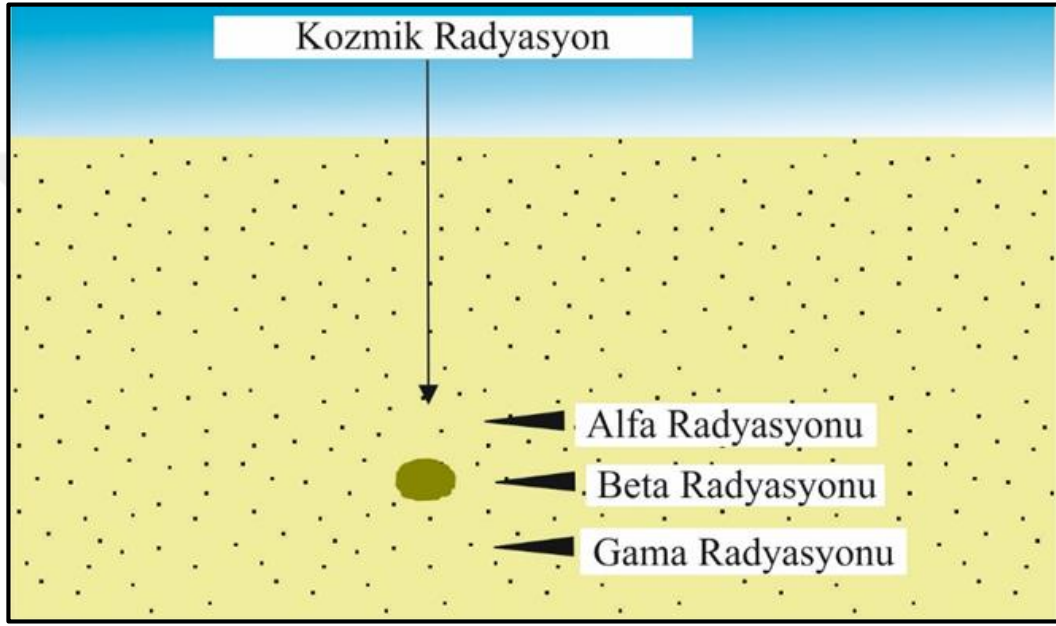
Eşdeğer Doz (ED) Tespiti

Numunelerin tarihlendirilmesi için tespit edilmesi gereken büyüklüklerden birisi eşdeğer dozdur (ED). OSL şiddetinin soğrulan dozla ilişkili olması, bir malzemenin son sıfırlanma olayından sonra soğurduğu dozun (eşdeğer doz) tespit edilmesine olanak sağlar. Eşdeğer doz için yapılan temel işlem numunelerin gömü boyunca soğurdıkları doz ile laboratuvar dozlamaları sırasında soğurdıkları dozları lüminesans sayımlarıyla ölçeklendirmektir.

Bu çalışmada Riso TL/OSL cihazı kullanılmıştır. Numunelerin dozlanması sırasında sistemdeki beta ışın kaynağı (⁹⁰Sr - ⁹⁰Y) kullanılmıştır. Hazırlanan disklere ön ısıtma yapıldıktan sonra, eşdeğer doza karşılık gelen doğal lüminesans sayımları alınmış ve diskler sıfırlanmıştır. Sıfırlanan disklere beta dozu verilerek tekrar ön ısıtma uygulanmış ve verilen beta dozuna karşılık gelen lüminesans sayımları alınmıştır. Aynı işlem döngüsü farklı doz değerleri için birkaç defa tekrarlanmış ve doz – cevap eğrisi çizilmiştir. Ölçülen lüminesans şiddetleriyle verilen dozlar arasında çizilen grafikte oluşan doğru üzerinde doğal lüminesans sayımına karşılık gelen doz (eşdeğer doz) tespit edilmiştir.

Yıllık Doz (YD) Tespiti

Numunelerin gömü süresince soğurmuş oldukları doz miktarını (eşdeğer doz) kaç yılda biriktirdiklerini bulmak için numunelerin bir yılda soğurdukları doz miktarını belirlemek zorunludur. Yeraltında gömülü olan jeolojik veya arkeolojik numuneler kendi yapılarını oluşturan ve toprakta bulunan radyoaktif elementlerden, atmosferden gelen kozmik ışınlardan sürekli radyasyona maruz kalırlar (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Numunelerin gömü süresince maruz kaldıkları farklı tipteki radyasyonlar (AÜ – NBE raporundan alınmıştır).

Gömülü numunelerin bir yılda soğurduğu doz, doz hızı veya yıllık doz olarak isimlendirilir. Yıllık doza katkı sağlayan önemli radyoaktif elementler ^{232}Th , ^{238}U ve ^{40}K 'dur. Yıllık doz ölçüm yöntemlerini dolaylı ölçüm ve doğrudan ölçüm olarak iki sınıfa ayırabiliriz. Dolaylı ölçümlerde sıklıkla kullanılan yöntem laboratuvarlarda farklı ölçüm sistemleriyle (gama ve X ışın spektrometresi, alfa sayım cihazı v.b.) numune içindeki radyoaktif madde konsantrasyonlarını tespit etmek ve birim konsantrasyon başına radyoaktif elementlerden salınan ışınım katkılarını kullanarak yıllık doz değerini hesaplamaktır. Kozmik ışınların yıllık doza katkısını hesaplamak için literatürde yapılmış bazı çalışmaların sonucuna göre verilmiş olan numunenin yeryüzünden derinliğine bağlı olarak değişen kozmik ışın katkıları kullanılır. Doğrudan ölçüm amacıyla TL dozimetreleri, taşınabilir gama spektrometreleri kullanılarak arazi şartlarında doz hızı ölçümleri yapılabilmektedir. Doz hızı büyüklüklerinin değerleri

hesaplanırken numunelerdeki nem miktarı göz önüne alınmalıdır. Topraktaki nem, taneciklere ulaşan radyasyonun bir kısmını soğurur. Bu nedenle su, kuru toprağın birim kütlesi başına soğrulan radyasyon dozunu azaltır. Topraktaki nemin, taneciklere ulaşan radyasyonun bir kısmını soğurmasından dolayı yıllık dozda oluşacak azalımı tespit etmek için numunelerdeki nem miktarının bulunması zorunludur.

Azalma miktarı nem miktarıyla orantılıdır. Fakat değişebilen çevre şartları, iklimsel değişiklikler gibi nedenlerle gömü boyunca topraktaki nem miktarı sabit değildir. Yapılan bazı çalışmalarda bu değişim göz ardı edilmiş ve nem miktarı için çalışmalar sırasında ölçülen veya kabul edilen bir değer hesaplamalarda kullanılmıştır. Bununla birlikte gömü boyunca varolan nem miktarı için bir yaklaşım kullanılabilir. Bu yaklaşımda gömü boyunca tutulan ortalama su miktarı için iki parametre kullanılır. Bu parametrelerden birincisi, numunenin kütlege maksimum su tutma oranı (W), diğeri gömü sırasında maksimum su tutma oranının kesridir (F). W ile F'nin çarpımı gömü boyunca numunenin kütlege su tutma miktarını verir. Burada, W değeri deneysel işlemlerle tespit edilirken, F değeri için bir kabul yapılır. Literatürde F'nin büyüklüğü olarak, bazı değerler önerilmesine rağmen numunelerin toplandığı bölgenin iklim şartları da göz önüne alınarak, araştırmacı tarafından uygun görülen bir değer kabul edilebilir.

Uranyum, Toryum ve Potasyum Katkısı

Bu çalışmada tüm numunelerin içerdiği U, Th, K konsantrasyonunu tespit etmek için gama spektroskopisi (GS) kullanılmıştır. GS için numuneler spektrometrenin kalibrasyonunda kullanılan standartlarla aynı geometride hazırlanmalıdır. Analiz öncesi numunelere aşağıdaki işlemler uygulanmıştır;

1. Numuneler, 110°C'de 6 saat boyunca fırında tutularak kurutulmuştur.
2. Havan ve elekler kullanılarak numune <500 µm boyutuna getirilmiştir.
3. Numuneler, spektrometrenin kalibrasyonunda kullanılan standartlarla aynı geometriye sahip silindirik plastik kutulara doldurulmuştur.

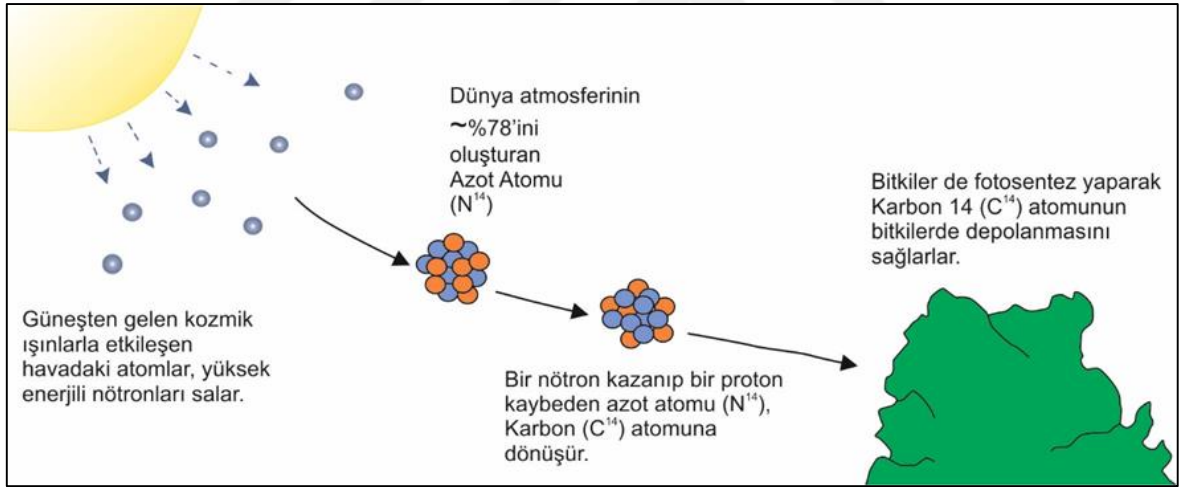
Kapların boş ve dolu durumdaki ağırlıkları ölçülerek, numunelerin ağırlıkları tespit edilmiştir. Sızdırmaz plastik kutular içerisinde radyoaktif dengenin oluşması için kutular ölçümlerden önce 4 hafta kapalı durumda tutulmuştur. Analizlerde U aktivitesi için; ²¹⁴Pb'nin 351,9 ve 295,2; ²¹⁴Bi'un 609,3 ve 1764 keV'lik pikleri, Th aktivitesi için ²²⁸Ac'un 338,4 ve 911,1;

^{208}Tl 'un 583,1 keV'lik pikleri, K aktivitesi için 1460 keV'lik pik kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir.

Örneklere OSL tekniği kullanılarak yaş tayini analizi yapılmıştır. Bu amaçla beklenen yaşlar ışığında uygun teknik kullanılmıştır. Çalışmada Infrared Uyarmalı Lüminesans (IRSL), Tek Tablet Yineleme (SAR), polimineral protokolü kullanılmıştır.

Radyokarbon Yaş Tayini Yöntemi

Uzaydan gelen kozmik tanecikler yukarı atmosferde bulunan Karbondioksit (CO_2) gazı moleküllerinden bazılarıyla karşılaşır ve bunlardaki yaygın, olağan ve kararlı (radyoaktif olmayan) ^{12}C atomlarını sürekli olarak bombardıman ederler. ^{12}C atomu yapısına iki nötron alarak radyoaktif özellikteki ^{14}C haline gelir. Bunun sonucunda hemen yarılanmaya başlar ve belli bir süre sonra ^{14}N gazına dönüşür (Şekil 3.4). Bu arada ^{14}C ve ^{12}C önce CO_2 yoluyla bitkiler (fotosentez), ardından da hayvanlar tarafından asimile edilir ve beslenme zincirine girer.



Şekil 3.4. Azot atomlarının ^{14}C 'e dönüşümü ve bitkilerce soğurulması.

Herhangi bir bitki veya hayvan için, ^{14}C atomunun dünya üstünde doğal olarak bulunan yaygın ve olağan karbondan (^{12}C) farkı yoktur; canlı her iki atomu da sürekli olarak bünyesine alır ve bunların birbirlerine oranı bellidir. Bitki ve hayvan öldüğünde dışarıdan karbon alışı durur. O anda organizmada ölünceye kadar almış olduğu ^{12}C ve radyoaktif ^{14}C bulunmaktadır. Organizmadaki ^{12}C miktarı sabit kalırken, radyoaktif ^{14}C bozulmaya devam ettiğinden ^{12}C 'ye göre oranı azalır. Yaş tayini için alınan örneklerdeki ^{14}C miktarını belirlemek için, bir gram karbondaki bozulma sayısını hesaplamak gerekir. ^{14}C 'ün yarılanma ömrü 5.700 yıl

olarak kabul edildiğinden (yani ^{14}C atomlarının yarısının bozulması için 5.700 yıl geçmesi gerektiğinden) analiz edilen organizmanın ölüm tarihi buradan bulunur. Radyokarbon nispeten nadir bulunur. Bir bitki veya hayvanın yapısındaki toplam karbon miktarının sadece çok küçük bir oranı radyokarbondur. Yaş tayini için kullanışlı olan bu küçük oranın önemi yöntemi bulan Libby'nin iddiasına göre; radyokarbonun olağan karbona oranı dünyadaki bütün canlılar için daima aynıydı ve bu kolayca ölçülebilen bir değerd.

Radyokarbon oluşur oluşmaz yarılanmaya başlar. Atmosferde bir miktar radyokarbon oluştuğunda, bu miktarın yarısı 5.700 yıl kadar sonra bozulmuş olur (ve azot gazına dönüşür). Geri kalan miktarın yarısı da daha sonraki 5.700 yılda bozulur ve ölçülemeyecek kadar küçük bir kalıntı kalıncaya kadar bu böyle devam eder. Bir ağaç, ölümünden 5.700 yıl sonra, canlıyken bünyesinde bulunan radyokarbon / olağan karbon oranının sadece yarısını içerir. 11.400 yıl (veya iki yarıömür) sonra, tabiattaki oranın sadece dörtte birini içerir. Yaklaşık beş yarıömür veya kabaca 30 bin yıl sonra ise, çok zor ölçülen bir kalıntı kalır, bu yüzden radyokarbon testi sadece 30 bin yıldan daha genç kalıntıların yaş tayininde sağlıklı şekilde kullanılabilir.

$^{40}\text{K} / ^{40}\text{Ar}$ (Potasyum/Argon) Yaş Tayini Yöntemi

Argon izotop tarihlemesinde jeokronolojik olarak kullanılan yöntemlerden biri Potasyum-Argon ($^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$) yöntemidir. Yarılanma ömrü $\sim 1.25 \times 10^9$ yıl olan radyoaktif ^{40}K izotopu ^{40}Ar 'a bozunur. Çok kabaca volkanik kayalarda bulunan radyoaktif ^{40}K izotopunun ^{40}Ar 'a dönüşme hızının ölçülmesine bağlı olarak yapılan tarihlendirme yöntemidir.

Eriyik haldeki lavın soğuma aşamasında, lav içindeki ^{40}K izotopunun yarılanmasıyla oluşan ^{40}Ar gazı atmosfere karışmaktadır. Ancak lavın soğumasıyla, normal koşullar altında, lavın içerisindeki bu radyoaktif gaz kaçacak yer bulamaz ve kayalar içerisine hapsolür. Yani, lavın soğumasıyla izotopik saat sıfırlanır. Kayalar içerisinde hapsolan bu yarılanma ürünü izotop (^{40}Ar), zamanın göstergesi olarak kayalar içerisinde birikir.

Volkanik kayadan alınan bir numunenin laboratuvar ortamında erime sıcaklığına kadar ısıtılması sonucunda ise, lavın soğuduğu zamandan beri kayalar içerisinde radyoaktif yarılanmayla biriken ^{40}Ar açığa çıkar ve açığa çıkan bu gaz kütle spektrometre ile ölçülür. Aynı örneğin bir başka kısmından alınan bir başka parçadan ise, örneğin ^{40}K içeriği bir spektrofotometreyle belirlenir. Elde edilen bu iki sonuç, yani $^{40}\text{K} / ^{40}\text{Ar}$ oranı, volkanik kayacın ne zaman soğuduğunu, yani volkanik aktivitenin ne zaman gerçekleştiğini gösterir.

Potasyum/Argon ($^{40}\text{K} / ^{40}\text{Ar}$) tarihleme yöntemi, volkanik kayalardaki ve tüflerdeki sanidin, plajiyoklas, biyotit ve bazı mineraller üzerinde uygulanabilmektedir. Radyoaktif ^{40}K izotopunun uzun yarılanma ömründen dolayı ($\sim 1.25 \times 10^9$ yıl), ^{40}Ar izotopunun sistemdeki birikimi oldukça yavaştır. Bu nedenle, bu yöntemin 100.000 yıldan daha genç örneklere uygulanması zordur ve daha çok son 30 milyon yılda oluşmuş volkanik kayaların tarihlendirilmesinde kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında gönderilen volkanik kayac örnekleri içerisindeki biyotit mineralleri üzerinden yöntem uygulanmış ve yaş tayini gerçekleştirilmiştir.



4. BULGULAR

Bu bölüm dört temel başlıktan oluşmaktadır. Yapılan saha ve laboratuvar çalışmaları neticesinde, inceleme alanı dâhilinde gözlenen kaya birimleri yaşlıdan gence doğru ayırtlanmış, birimlerde gözlenen yapısal unsurlar belirlenmiş ve ölçülmüş, birimlerin istifsel ilişkileri ortaya çıkarılmıştır. İnceleme alanında özellikle farklı karakterlerde volkanik birimler yüzeylenmektedir. İstifsel olarak bu birimlerin ilişkilerinin ve de konumlarının belirlenmesinde önceki çalışmalarda elde edilen radyometrik yaş verileri kullanılmıştır. Lebedev ve diğ. (2010) ve Oyan (2011, Doktora Tezi) tarafından sunulan yaş verileri, istifin konumlarının ve diğer birimler ile olan ilişkilerin belirlenmesinin yanı sıra, gelişen deformasyonların yaş konaklarının sınırlanmasında da önemli ölçüde yararlı olmuştur. Çalışma kapsamında bölgede gözlenen aktif ve pasif kütle hareketleri (heyelanlar) ilk defa haritalanmış ve etkilediği alanlar belirlenmiştir.

Bu verilerin haricinde tez çalışmasının ana amacı doğrultusunda birimlerin neotektonik dönem içerisinde uğradığı deformasyonların etkileri belirlenmeye çalışılmış, özellikle Kuvaterner dönemi çökellerinde gözlenen faylar ve kırıklar üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu anlamda bu deformasyonların oluşum dönemlerine yaklaşım yapmak veya belirlemek amacıyla radyometrik yaş tayini için örnek alınmış ve yaşlandırma yapılmıştır. Birimlerde gözlenen yapısal unsurlar stereografik projeksiyon yöntemi ile analiz edilmiş, sahadan elde edilen fay düzlemi verilerinin kinematik analizleri yapılmıştır. Bu veriler yapısal jeoloji başlığı altında anlatılmıştır.

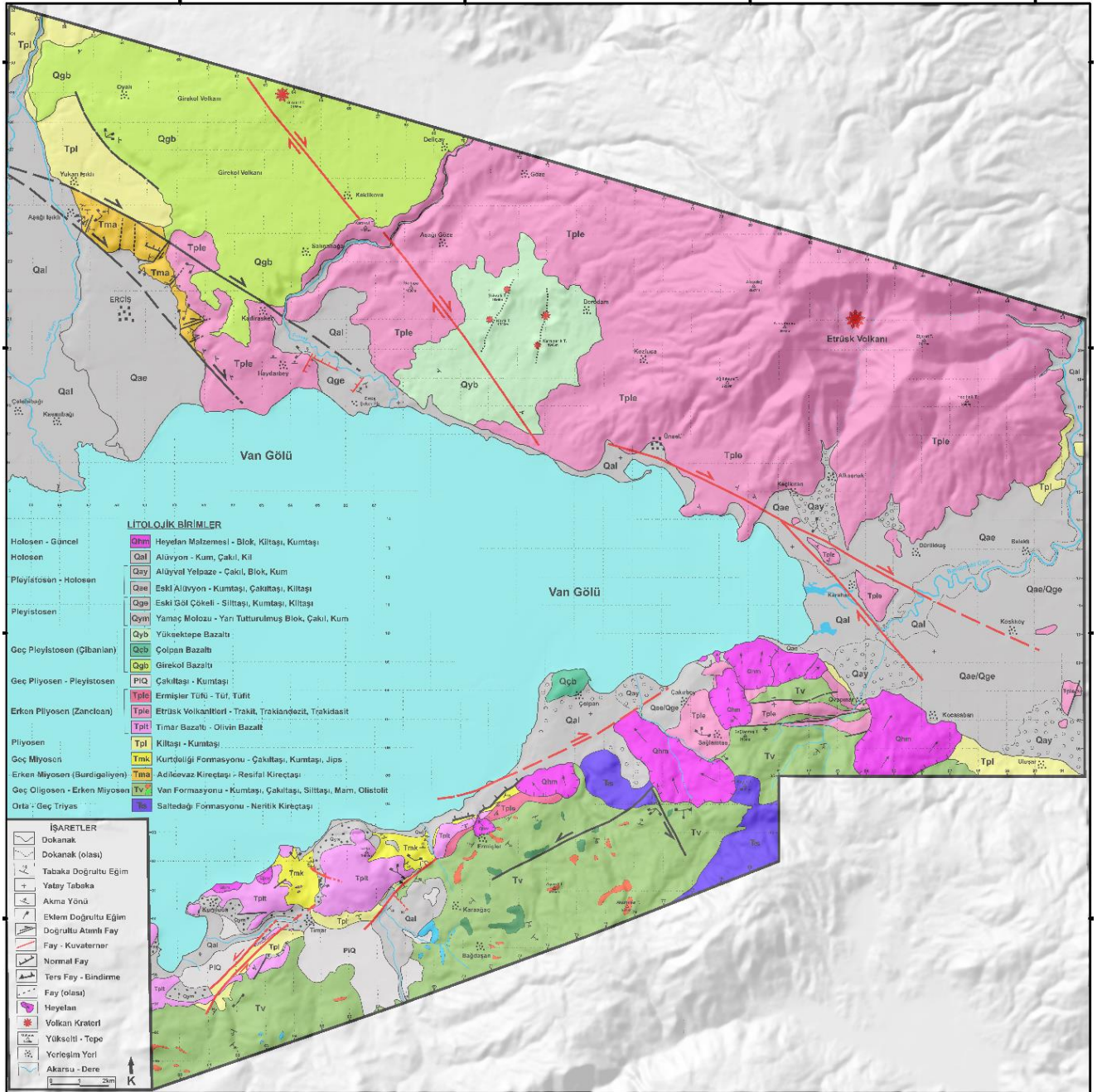
Çalışma alanı ve yakın çevresi depremsellik açısından her ne kadar 24 Kasım 1976 Çaldıran Depremi'nden ($M=7.3$) etkilenmiş olsa da, 23 Ekim 2011 Van Depremi ($M=7.1$) ile birlikte yeni bir boyuta taşınmıştır. Van Depremi sonrasında bölgede sismolojik çalışmalar başta olmak üzere yerbilimlerinin hemen her alanında yeni çalışmalar üretilmiş ve yayınlanmıştır. Bu kapsamda bölgenin depremselliği de yeniden şekillenmiştir. Van Depremi ve devamında gerçekleşen diğer depremler ile birlikte bölgede hem tarihsel hem aletsel döneme ait depremler ayrı bir başlık altında değerlendirilmiştir. Orta büyüklükteki birçok depremin mekanizma çözümleri yine bu çalışma kapsamında ilk defa sunulmuştur.

Elde edilen yapısal veriler ve genel gözlemler doğrultusunda inceleme alanı ve yakın çevresinin Neotektonik dönem içerisinde etki altında kaldığı stresin dağılımı, değişimi ve bunun birimler üzerindeki izleri yapısal unsurlar ile modellenmiş ve tartışılmıştır. Doğu Anadolu Bölgesi geneli için önerilen Neotektonik yapısal modelin saha ile olan uyumu ve karşılaştırılması yine bu bölüm başlığı altında yapılmıştır.

4.1. STRATİGRAFİK JEOLojİ

İnceleme alanı dâhilinde gözlenen litostratigrafi birimleri yaşlıdan gence doğru aşağıda tanıtılmaktadır. Birimlerin özellikleri genelde saha gözlemlerinden elde edilmiş olmakla birlikte, formasyon adları ve yaş verilerinin büyük bölümünde literatür verileri kullanılmıştır. İsimlendirmelerde özellikle MTA'nın 1/100.000 Ölçekli açınasal jeoloji paftalarında kullandığı isimlere sadık kalınmıştır. Volkanik birimlerin adlandırılmasında ve istifteki konumunun belirlenmesinde Lebedev ve diğ. (2010) ve Oyan (2011) çalışmaları temel alınmıştır.

İnceleme alanında temel kayaları Orta – Üst Triyas yaşlı neritik kireçtaşı birimi oluşturmaktadır. Bu birimin üzerine Doğu Anadolu'da ve Van civarında yaygınca gözlenen paleotektonik dönemin denizel son ürünleri olan Üst Oligosen – Alt Miyosen yaşlı Van Formasyonu ve daha kuzeyde gözlenen resifal karakterli, Alt Miyosen yaşlı Adilcevaz Kireçtaşı birimi gelmektedir. Orta Miyosen sonrasında tamamıyla karasal bir ortama dönüşen bölgede kırıntılı çökeller belirli alanlara yoğunlaşmış iken Erken Pliyosen döneminde başlayan yoğun volkanizma bölgede daha çok volkanik birimlerin yüzeylemesine neden olmuştur. Erken Pliyosen'den Geç Pleyistosen'e kadar farklı dönemlerde etkin olan volkanizma inceleme alanının hemen her yerinde farklı litolojik birimler şeklinde gözlenmektedir. Erken Pleyistosen'den günümüze değin, Kuvaterner dönemi içerisinde gölsel kırıntılılar ve akarsu çökelleri yaygın bir şekilde çöküntü alanlarını doldurmuş ve bölgesel yükselime bağlı olarak yamaçlarda teraslar halinde asılı kalmışlardır. İnceleme alanının güney kesimlerinde ise bu yükselmenin, yeraltısuyunun ve de kaya birimlerinin özellikleri doğrultusunda yoğun bir şekilde, haritalanacak boyutta kütle hareketleri gerçekleşmiş ve ayrı bir birim olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.1, EK-1).

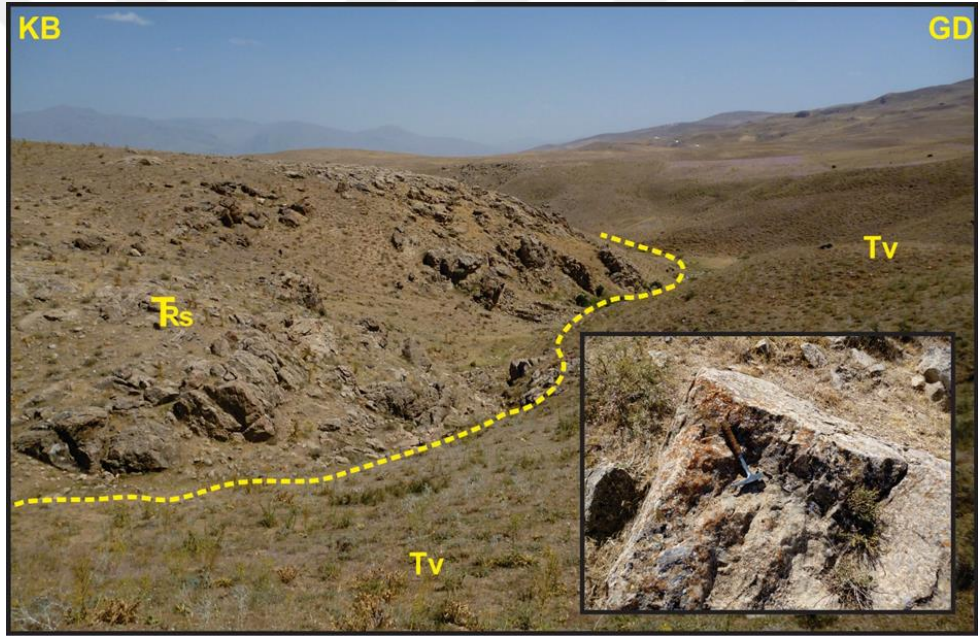


Şekil 4.1. İnceleme alanının jeoloji haritası (MTA 2008 ve Oyan 2011'den değiştirilmiştir).

4.1.1. Saltedağı Formasyonu (Trs)

Çalışma alanının güneydoğu kesiminde yer alan birim, inceleme alanının görünebilir temelini oluşturmaktadır. Birim, Acarlar ve diğ. (1991) tarafından adlandırılmıştır. Grimsi, boz renkli, sert, dayanımlı, genellikle az orta derecede ayrıışmış neritik, dolomitik kireçtaşlarından oluşmaktadır (Şekil 4.2).

Yer yer orta tabakalı olmakla birlikte genellikle kalın tabakalı veya masif görünümlüdür (Şekil 4.2 küçük fotoğraf). Yüksek dayanımı ve az ayrışma özelliği nedeniyle inceleme alanı içerisinde gözlenen kütle hareketlerinden etkilenmemiştir. Ancak bu birime ait blokları hemen üzerine gelen Van Formasyonu içerisinde gözlemek mümkündür.



Şekil 4.2. Saltedağı Formasyonu'na ait neritik kireçtaşı biriminin sahadaki görünümü, bakış yönü KD.

Yapılan öncel çalışmalarda birimin kalınlığı yaklaşık 200 metre olarak belirlenmiştir. İnceleme alanı içerisinde görünen kalınlığı yaklaşık 150 metre civarındadır. Birimin en iyi gözleendiği bu kesim hâlihazırda taş ocağı olarak da işletilmektedir. Birim, elde edilen fosil verisine bağlı olarak Acarlar ve diğ. (1991) çalışmasına göre Orta - Geç Triyas olarak yaşlandırılmıştır. İnceleme alanı içerisinde birimin tabanı görülmemektedir. Üzerine ise Geç Oligosen Erken Miyosen yaşlı Van Formasyonu'na ait birimler uyumsuz olarak gelmektedir. İnceleme alanında bu birimler morfolojik olarak yüksek kesimleri oluşturmaktadır.

4.1.2. Van Formasyonu (Tv)

Büyük oranda kırıntılı kaya birimlerinden oluşan Van Formasyonu, Acarlar ve diğerleri (1991) tarafından adlandırılmıştır. Aynı birim, Balkaş (1980) tarafından Gürpınar Formasyonu, Şenel ve diğ. (1984) tarafından Özalp doğusunda Mendikdere Formasyonu, Perinçek (1978a) tarafından Kırkgeçit Formasyonu ve Elmas – Yılmaz (2003) tarafından volkanik ara seviyeler içerecek şekilde Erçek Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim Van Gölü civarında ve daha güneyde Hakkâri civarına doğru geniş bir yayılım sergilemektedir. Bu çalışma kapsamında Van Formasyonu ismi kullanılmış olup birim daha çok çalışma alanının güney kesimlerinde yüzeylenmektedir (Şekil 4.1).

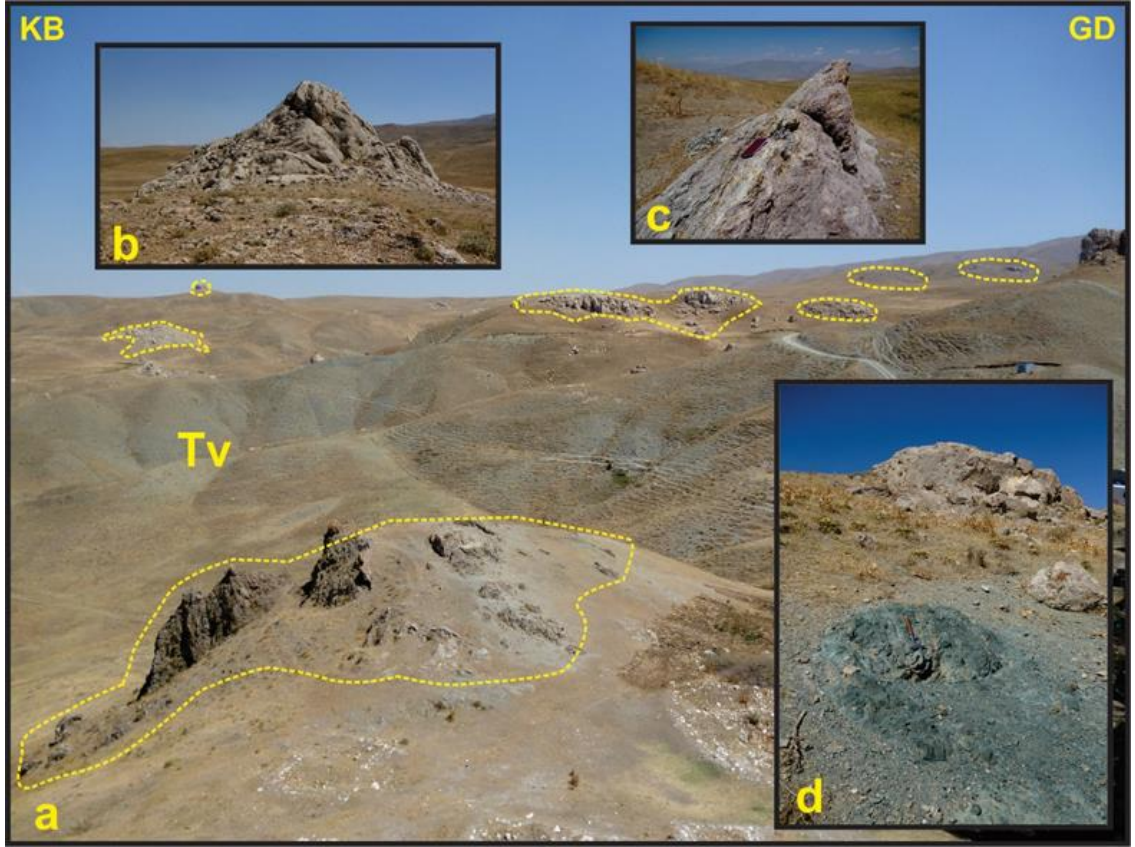
Van Formasyonu genel olarak, gri, boz, yeşilimsi gri renklerin hâkim olduğu kırıntılı kaya birimlerinden oluşmaktadır. Kıltaşı, silttaşı, kumtaşı ve çakıltası birimlerinin aralanması şeklinde gözlenmektedir. Çalışma alanı dâhilinde egemen kaya türü ise çoğunlukla yeşilimsi gri, haki renklerdeki kumtaşı, çakıltası birimidir. Kumtaşı seviyeleri, orta – kalın tabakalı, kötü boylanmış özelliktedir (Şekil 4.3). Taneler yoğunlukla ultrabazik kaya topluluklarından türemiştir. Ayrıca, birim içerisinde yoğunca da kuvars taneleri ve mika pulcukları gözlenmektedir.



Şekil 4.3. Van Formasyonu'na ait kumtaşı seviyeleri, Sağlamtaş Köyü güneyi, bakış yönü KB.

Çakıltaşı birimi de yine aynı şekilde orta - kalın tabakalı, kötü boylanmış ve polijenik tane içeriklidir. Çakılların büyük bölümü, serpantin ve diğer ultrabazitler ile yer yer Paleosen-Eosen yaşlı neritik kireçtaşı kökenlidir. Kıltaşı – silttaşı seviyeleri ise genellikle ince – orta tabakalıdır.

Van Formasyonu içerisinde daha yaşlı kaya birimleri olistolitler halinde gözlenmektedir. Bunlar çoğunlukla, Permiyen-Jura yaşlı, koyu gri – mavimsi gri renkli, sert, dayanımlı, yoğunca sparit damarlı mikritik veya pelajik kireçtaşı olistolitleri, Kretase yaşlı ultrabazik kayalar ve Paleosen - Eosen yaşlı, sarımsı – bej renkli bentik fosil içerikli, orta sert, orta dayanımlı, oldukça kırıklı neritik kireçtaşı birimleridir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Van Formasyonu içerisinde gözlenen olistolitlerden genel görünüm (a). Paleosen yaşlı neritik kireçtaşı olistoliti (b), pembemsi renkli pelajik kireçtaşı-çamurtaşı olistoliti (c), Jura yaşlı neritik kireçtaşı ve önünde yeşilimsi renkli ultrabazik kayaç olistoliti (d), Ermişler Köyü GD'su, bakış yönü KD.

Öncel çalışmalar (Acarlar ve diğ. 1991) kapsamında belirlenen mercan ve foraminifer fosil topluluklarına bağlı olarak formasyonun yaşı Oligosen – Erken Miyosen olarak kabul edilmiştir. İnceleme alanı Van Formasyonu ve yukarıda bahsi geçen eşlenik birimlerin kökeni

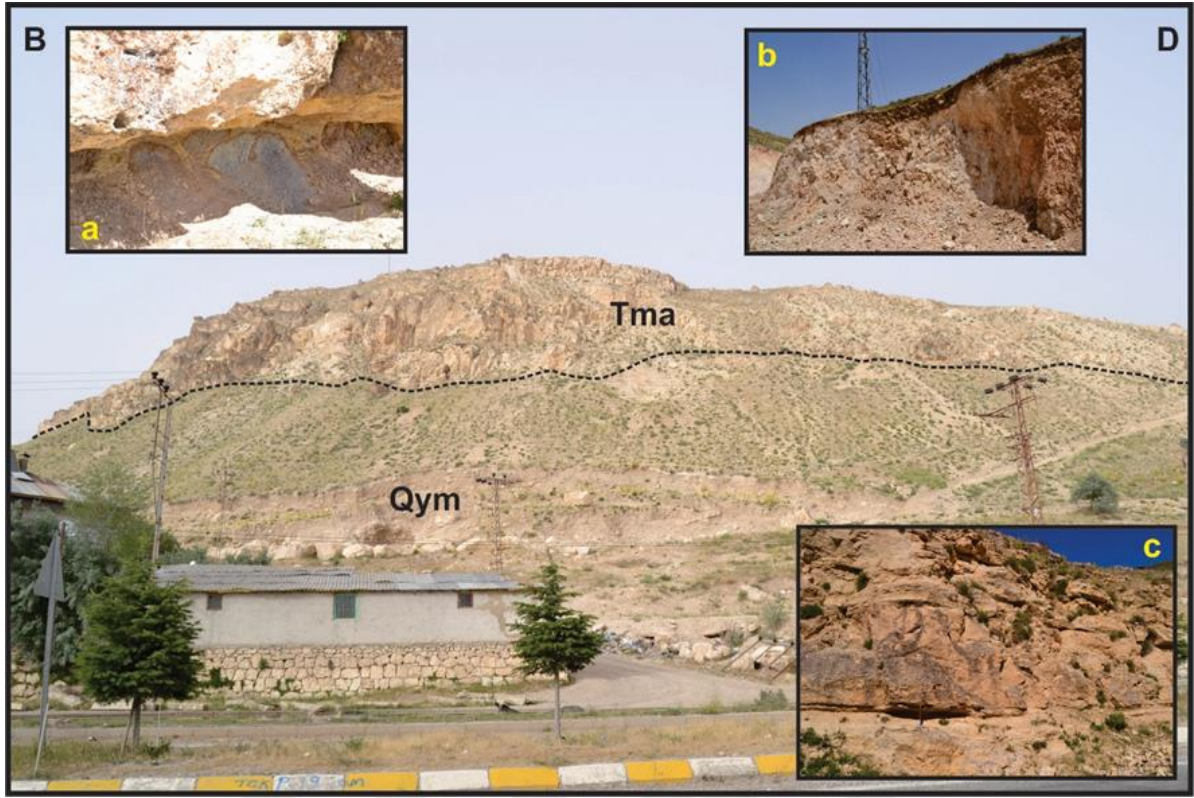
olan transgressif denizin en kuzey kesimini oluşturmaktadır. Bu birimin üzerine Üst Miyosen yaşlı karasal fasiyesi temsil eden Kurtdeliği Formasyonu uyumsuz olarak gelmektedir. Ancak çalışma alanı kapsamında bu iki birimin uyumsuzluk ilişkisi net olarak gözlenmemektedir. Kuzeyde yüzeylenen ve Erken Miyosen dönemini temsil eden Adilcevaz Kireçtaşı birimi ile Van Formasyonu arasındaki ilişki de belirli değildir. Adilcevaz Kireçtaşı birimi tabanında volkanik seviyeler gözlenmekle birlikte, bu seviyelerden elde edilmiş radyometrik bir yaş verisi de bulunmamaktadır. Ancak bölgenin daha kuzeyindeki Aladağ Volkanizmasına ait benzer karakterdeki volkanik birimlerin yaş verileri yaklaşık 14.9My olarak belirlenmiştir (Lebedev ve diğ. 2010). Bu olasılıkla, resifal Adilcevaz Kireçtaşı biriminin çökme yaşının Orta Miyosen'e çekilmesi, buna bağlı olarak aynı denizin güney kesimini oluşturan Van Formasyonu'nun da kapanma öncesi, yani Serravaliyen (Şengör ve Yılmaz 1981) öncesine Orta Miyosen'e çekilmesi olasılık dâhilindedir.

4.1.3. Adilcevaz Kireçtaşı (Tma)

Resifal karakterli kireçtaşı biriminden oluşan Adilcevaz Kireçtaşı Formasyonu Demirtaşlı ve Pisoni (1965) tarafından adlandırılmıştır. Birim çalışma alanının kuzey kesimlerinde, Van İli, Erciş İlçesi civarında yaygınca yüzeylenmekte ve yükseltileri oluşturmaktadır (EK-1).

Birim, tabanında, kırıntılı yoğun karbonat çimentolu çakıltı ile başlayıp, üste doğru karbonat çimentolu kumtaşı ve marn seviyeleri ile devam etmektedir. Formasyonun en yaygın birimi ise sarımsı – bej, krem renkli, yoğun makro fosil içerikli, yer yer sert, dayanımlı, çatlaklı Kireçtaşı birimidir (Şekil 4.5). Bu seviyeler orta – kalın tabakalanmalı, yer yer masif görünümlüdür.

Birim içerisinde yer yer yoğunca makro fosil kırıntılı seviyeler gözlenmektedir (Şekil 4.6). Yeşilova ve Yakupoğlu (2007) tarafından birim farklı mikrofasiyeslere ayrılmış ve genellikle kırmızı renkli alglerin, mercan ve foraminiferlerin oluşturduğu karbonat şelf çökeli olarak tanımlanmıştır. Demirtaşlı ve Pisoni (1965), Adilcevaz Kireçtaşı biriminin yaşını fosil bulgularından Akitaniyen-Burdigaliyen, yani Alt Miyosen olarak tanımlamışlardır. Aynı yaş dönemi yine fosil topluluklarına göre Acarlar ve diğ. (1991) tarafından da belirlenmiştir. Yukarıda Van Formasyonu anlatımı içerisinde birimin yaş konağı konusunda değinilen durumun detaylı olarak çalışılması bölgenin stratigrafik evrimi açısından önemlidir.



Şekil 4.5. Adilcevaz Kireçtaşı biriminin Erciş İlçesi civarındaki görünümü. a) Birimin tabanında gözlenen exfoliasyon ayrışmalı volkanik birimler, b) Fay zonları boyunca kayada oluşan kataklastik görünüm, c) Birimin kalın-çok kalın tabakalı seviyeleri, bakış yönü K.

Zira Şekil 4.5a’da görüldüğü gibi deniz tabanına akan bir volkanizmanın ürünleri Kireçtaşı birimi tabanında gözlenmektedir ve bu birimin kesin yaşı bilinmemektedir. Bu volkanik birimin Adilcevaz Kireçtaşı biriminin çökelişi sırasında gelişmiş bir ara tabaka olma olasılığı da bulunmaktadır. Ancak bölgedeki diğer volkanik birimlerden elde edilen yaş verileri Akitaniyen veya Burdigaliyen dönemine kadar inmemektedir. Bu nedenlerle bu kesimin detaylandırılması sedimentolojik ve bölgesel volkanizma açısından incelenmesinin önem taşıdığı düşünülmektedir.



Şekil 4.6. Adilcevaz Kireçtaşı içerisinde gözlenen makro pelecypod kavkılar ve ufalanmış kavki parçaları, Erciş kuzeyi.

4.1.4. Kurtdeliği Formasyonu (Tmk)

Formasyon, jips-anhidrit araseviyeli kırıntılı kaya birimlerinden oluşmaktadır. Acarlar ve diğerleri (1991) tarafından adlandırılmıştır. Birim yaygınca Timar ve Tutumlu Köyleri civarında gözlenmektedir. Özellikle jips-anhidrit seviyeleri Tutumlu Köyü yolu üzerinde ve doğusunda gözlenmiştir (EK-1). Çakıltaşları, genellikle kırmızımsı, sarımsı kırmızı renkli, orta – kalın tabakalı, polijenik yer yer breşik özelliklerdedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Kurtdeliği Formasyonuna ait kaba kırıntılı birimlerin genel görünümü, Tuzla Tepe doğusu, bakış yönü G.

Birimin üst seviyelerine doğru ise, yeşilimsi, kırmızımsı, saydam, zayıf dayanımlı, yumuşak – az sert jips-anhidrit seviyeleri gözlenmektedir (Şekil 4.8). Erçiş yolu üzerinde ocak olarak işletilmiş seviyeleri bulunan birim, Tutumlu Köyü doğusundaki derenin içerisinde foliasyon kazanmış durumdadır. Bu seviye önceki çalışmalarda Kolüz Üyesi olarak tanımlanmıştır (Acarlar ve diğ. 1991).



Şekil 4.8. Kurtdeliği Formasyonuna ait banth jips-anhidrit seviyeleri. Açık işletme yapılmış ocaktan görünüm, beyaz renkli izler mekanik kazıcıya aittir, Ermişler Köyü batısı, vadi içi.

Birimin üst seviyelerinde yer yer ignimbirit ve tüf seviyeleri gözlenmektedir. Tutumlu Köyü, Kale Tepenin güneyinde kırıntılı birimler (çakıltaşı tabakaları) arasında bu seviyeleri gözlemek mümkündür (Şekil 4.9).

Yersel olarak birimin içerisinde traverten seviyeleri gözlenmiştir. Bu seviyeler ikincil olarak Ermişler Fayı'na bağlı olarak gelişmiş olmalıdır. Gözlendiği lokasyon Ermişler Köy yolunun güneyinde ana yolun üst kotlarında eski bir ocak içerisinde (Şekil 4.10).

Kurtdeliği Formasyonu, Van Formasyonu'nu açısal uyumsuz olarak üzerlemektedir. Bu ilişki inceleme alanı içerisinde örtülü de olsa belirlenebilmiştir. Ermişler Köyü kuzeybatısında bu iki birimin dokanağı alüvyal ve kolüvyal çökeller tarafından örtülmüştür. Birimin üzerinde ise uyumsuz olarak Timar Bazaltı gözlenmiştir. Formasyona stratigrafik konumuna göre Üst Miyosen yaşı verilmiştir (Acarlar ve diğ. 1991). Birimin çökel ortamı alüvyon yelpazesi ve evaporitik göl olarak tanımlanmıştır.



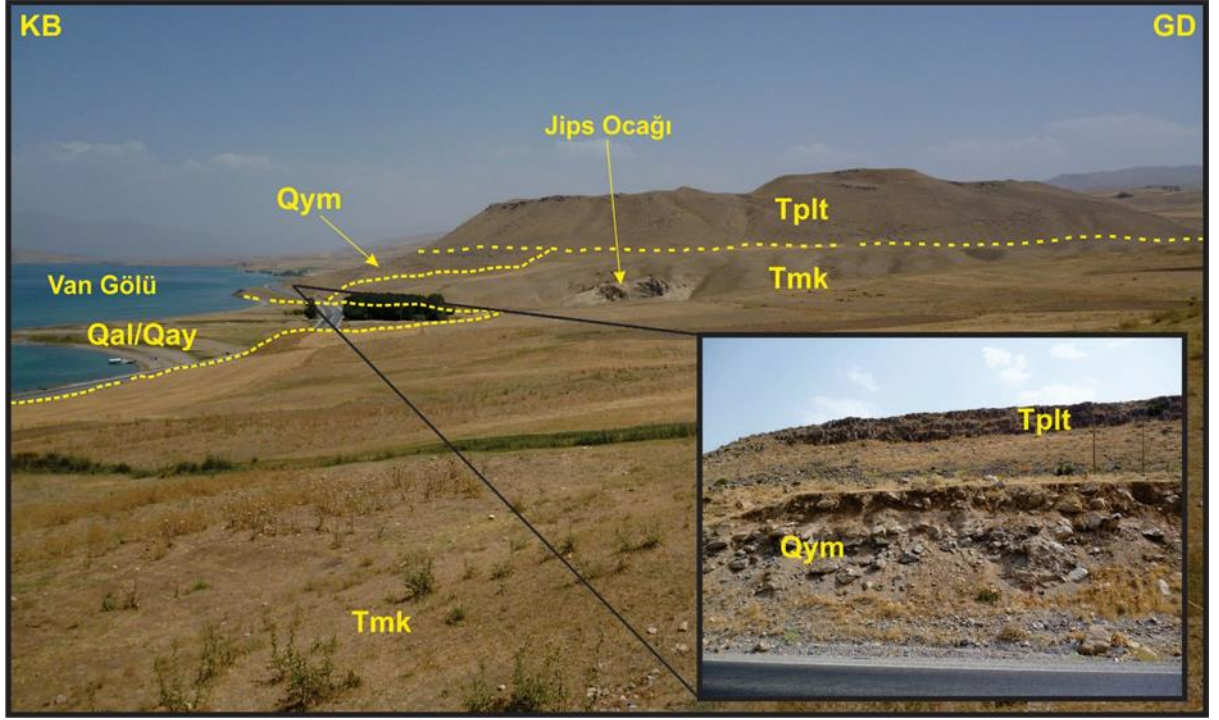
Şekil 4.9. Kurtdeliği Formasyonu üst seviyelerinde gözlenen volkanik araseviyeler (a), polijenik çakıltaşı seviyeleri (b), Ermişler Köyü batısı.



Şekil 4.10. Kurtdeliği Formasyonu'na ait kırıntılılar üzerindeki traverten seviyesi, Ermişler Köyü batısı.

4.1.5. Timar Bazaltı (Tplt)

İnceleme alanının güney kesimlerinde gözlenen birim, Erken Pliyosen dönemi boyunca gelişen açılma çatlaklarına bağlı oluşmuş plato bazaltlarını temsil etmektedir. Çalışma alanı boyunca en iyi, güney kesimlerde Timar (Gedikbulak) Köyü civarında geniş yüzlekler vermekte ve yükseltileri oluşturmaktadır (Şekil 4.11).

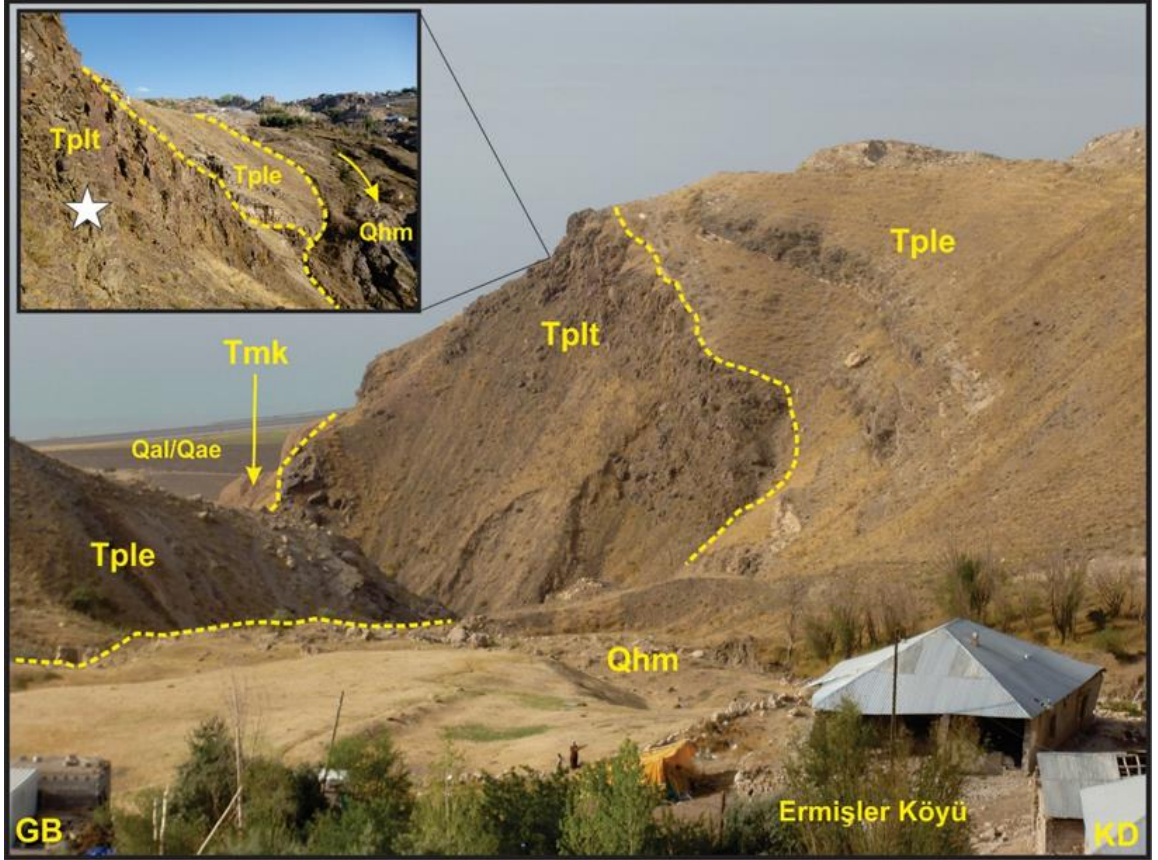


Şekil 4.11. Timar Bazalt biriminin (Tplt) güneyden görünümü ve yamacında çökelmiş bloklu molozlu birim (Qym) (küçük resim), Tmk: Kurtdeliği Formasyonu, Qal/Qay: Alüvyal birimler, bakış yönü KD.

Birim, siyahımsı, koyu gri, siyah – kahvemsı renkli olup boşluklu bir yapı sergilemektedir. Sert, dayanımlı, yoğunca soğuma çatlaklı yapıdadır. Yapılan öncel petrografik çalışmalara göre porfirik dokulu olduğu, yoğunca plajioklas fenokristalli, olivin ve az oranda piroksen içerdiği belirlenmiştir. Birim, Kurtdeliği Formasyonu kırıntılı çökel tabakaları üzerinde uyumsuz olarak gözlenmiştir (Şekil 4.11). Üst seviyelerinde ise Ermişler Tüf birimi uyumlu olarak gözlenmektedir (Şekil 4.12). Bu istifin en iyi gözlendiği kesim Ermişler Köyü'nün kuzeyindeki derin vadinin yan yamaçlarıdır.

Birimin yaşı, farklı seviyelerinden ve yüzleklerinden alınan örnekler üzerinde yaptırılan radyometrik yaş tayinlerine göre verilmiştir. Buna göre, Innocenti ve diğ. (1976) tarafından 3.9

My, inceleme alanı dışında güneydeki yüzleklerden alınan örnekler üzerinden Lebedev ve diğ. (2010) tarafından 4.70, 4.90 My, Ermişler Köyü civarından Sağlam ve diğ. (2020) tarafından 7.10, 11.70 ve 18.80 My olarak belirlemiş olup bu çalışma kapsamında yaptırılan radyometrik yaş tayininde ise 4.18 My elde edilmiştir (Tablo 4.4). Gerek istifteki yeri, gerekse birbiriyle tutarlı diğer yaş verileri nedeniyle Sağlam ve diğ. (2020)'de belirlenen yaş verileri dikkate alınmamıştır. Bölgede bu seviyede Erken ve Geç Miyosen dönemine ait herhangi bir volkanik birim bulunmamaktadır. Sadece Kurtdeliği Formasyonu içerisinde ignimbritler ve tüfler gözlenmektedir ancak bazik bir lav varlığı söz konusu değildir. Bu veriler doğrultusunda Timar Bazaltlarının yaşı Alt Pliyosen - Zanclean olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.12. Timar Bazalt biriminin (Tplt) üzerine gelen Ermişler Tuf (Tple) birimi ile olan ilişkisi, Ermişler Köyü kuzeyi. Beyaz yıldız radyometrik yaş tayini için örnek alınan seviye (küçük resim), bakış yönü KB.

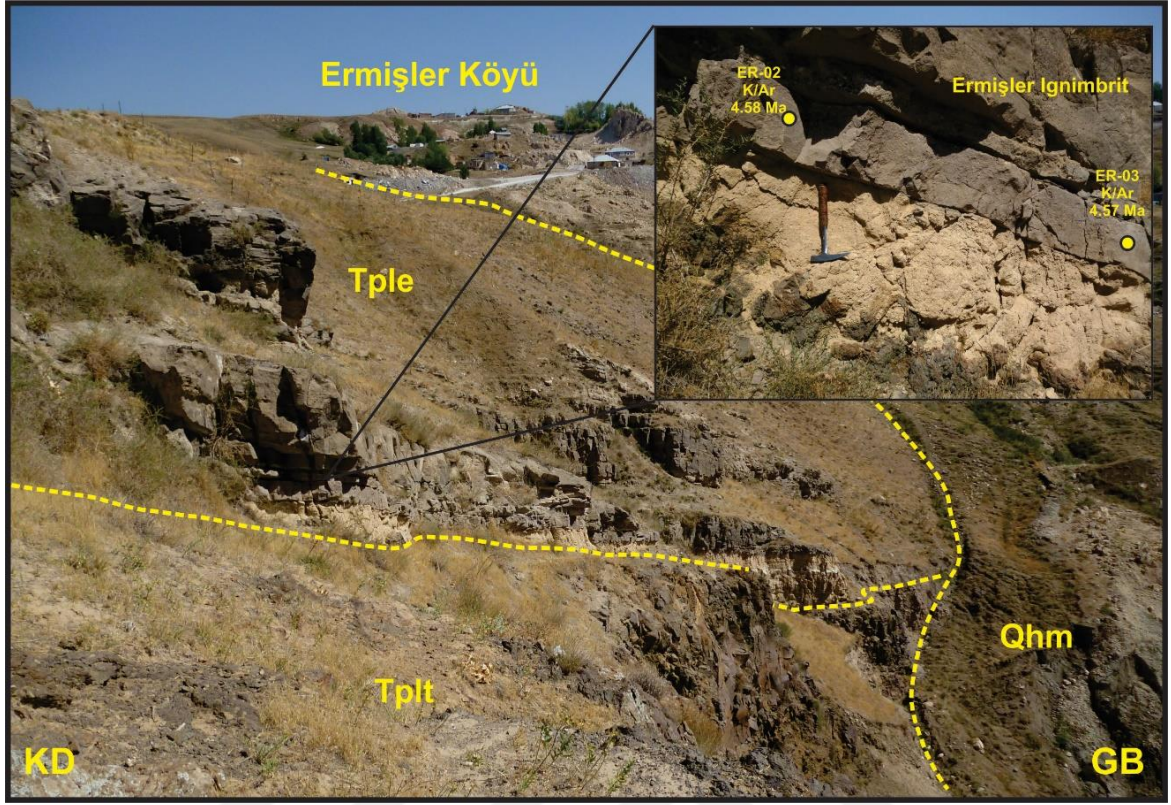
4.1.6. Ermişler Tüfü (Tple)

Birim, Acarlar ve diğ. (1991) tarafından Ermişler Formasyonu olarak adlandırılmıştır ancak bu çalışmada Ermişler Tüfü olarak değerlendirilmiştir. Birim inceleme alanı içerisinde Ermişler Köyü yolu üzerinde ve Tutumlu Köyü doğusu Kale Tepe civarında gözlenmektedir (EK-1).

Birim, gri, açık gri yer yer yeşilimsi tonlarda, ince – kalın tabakalı tüf tüfit ardalanmasından oluşmaktadır (Şekil 4.13). Ayırışmanın ve bozuşmanın gözleendiği birim, yer yer yumuşak, az sert, zayıf dayanımlıdır. Birim içerisinde gerilme karakterli birçok süreksizlik gözlenmiştir. Ermişler Tüfü, Timar Bazaltları üzerinde uyumlu olarak gözlenmektedir (Şekil 4.14). Birimin üst seviyesi ise güncel olarak aşınma düzlemidir. Birimin kalınlığı yaklaşık 100 m olarak ölçülmüş, yaşı ise Pliyosen olarak verilmiştir (Acarlar ve diğ. 1991). Bu çalışma kapsamında, İgnimbrit seviyelerinden alınan örnekler üzerinde K/Ar yöntemi ile radyometrik yaş tayini yaptırılmış ve birimin yaşı 4.58 My yani Erken Pliyosen – Zanclean olarak belirlenmiştir (Tablo 4.4).



Şekil 4.13. Ermişler Köyü yolu üzerinde gözlenen orta- kalın tabakalı Tüf- Tüfit birimleri ve gelişmiş faylar, bakış yönü D.



Şekil 4.14. Ermişler Köyü kuzeyi, kalın tabakalı tüfit ve ignimbrit seviyeleri (Tple). İgnimbritler içerisinde radyometrik yaş tayini yaptırılmış seviye (küçük resim), Tplt: Timar Bazaltı, Qhm: Heyelan Mazlemesi, bakış yönü KD.

4.1.7. Etrüsk Volkanitleri (Tple)

Etrüsk Volkanı çalışma alanı dâhilinde gözlenen en büyük hacimli volkanik kütleyi oluşturmaktadır (Şekil 4.15, EK-1). Batıda Erciş İlçesi KD'sundan başlayarak doğuya ve güneye yayılmış, farklı dönemlere ve petrolojik özelliklere sahip volkanik kaya birimlerinden oluşmaktadır. Etrüsk Volkanı, Oyan (2011) doktora çalışması kapsamında detaylı olarak çalışılmış, haritalanmış ve volkanostratigrafisi radyometrik yaş verileri ışığında detaylı olarak belirlenmiştir. Etrüsk Volkanitleri genel olarak trakitten riyalite kadar farklı bileşimlerdeki kayalardan oluşmaktadır (Oyan ve diğ. 2016). Ayırtlanan birimlerin yaş aralıkları ise 4.30 My dan 3.60 My aralığında değişkenlik göstermektedir (Lebedev ve diğ. 2010, Oyan ve diğ. 2016). Bu aralık, Erken Pliyosen'nin Zanclean katı içerisinde kalmaktadır.



Şekil 4.15. Van Gölü kuzeydoğusunda yükselen Etrüsk Volkanı kütlesi ve kaldera bölgesi, bakış yönü K.

Etrüsk volkanitleri inceleme alanı kuzeyinde genel olarak Kuvaterner dönemi volkanitleri veya Pliyokuvaterner – Kuvaterner dönemi alüvyal veya gölsel kırıntılı birimler tarafından örtülmektedir. Genel itibarıyla dayanımlı, sert, az orta derecede ayrılmış özelliklerdeki kaya birimlerinden oluşmaktadır (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Etrüsk Volkanı ve farklı kesimlerdeki yüzlekleri, a) Deliçay Vadisi kuzeyi, trakiandezit seviyeleri, b) Erciş, trakitik lav seviyeleri, c) Haydarbey Köyü sırtları, trakit seviyeleri, d) Erciş kuzeyi, ayrılmış Trakitik seviyeler, e) Erciş doğusu Trakit-Havait seviyeleri.

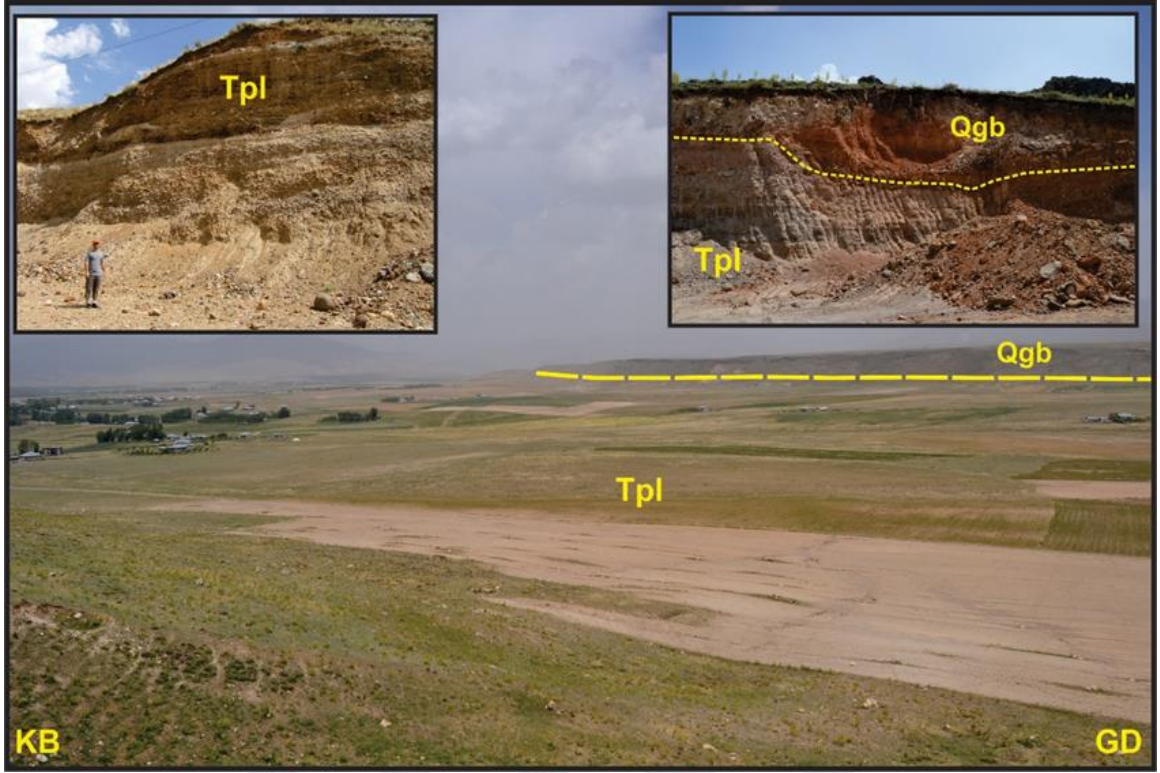
İnceleme alanı içerisinde gözlenen Erciş Fayı batı ve doğu segmentleri Etrüsk Volkanına ait birimlerin morfolojik olarak şekillenmesine de neden olmuştur. Özellikle, Etrüsk Volkan kalderası civarında göle doğru akmış lavların uzanım şekilleri fayın doğu segmentinin kollarına

göre kesilerek şekillenmiştir (EK-1). İnceleme alanının doğu-güneydoğu kesimlerinde ise Etrüsk Volkanitleri aktif heyelan kütlelerinin etkisinde kalmış ve ilksel konumlarını yitirmişlerdir. Sağlamtaş Köyü doğu kesiminde ise volkanik birimler normal faylar ile basamak yapısı kazanmış ve kuzeybatıya doğru eğimlenmiştir. Bu yön aynı zamanda bölgedeki kütle hareketlerinin yönü ile de aynıdır. Etrüsk Volkanitleri kuzeyde Kuvaterner yaşlı diğer volkanitler, Pliyosen yaşlı kırıntılı çökeller ve alüvyal çökeller ile örtülüdür. İnceleme alanı güneyinde ise Heyelan Malzemesi ve yine Alüvyal çökeller ile örtülüdür. Etrüsk volkanitlerinin tabanında Üst Miyosen yaşlı Aladağ Volkanitleri yer almaktadır (Oyan 2011). Bu ilişki inceleme alanı dışında, kuzey kesimdedir. Batıda Erciş'te ise volkanitlerin altında Alt Miyosen yaşlı Adilcevaz Kireçtaşı birimi bulunmaktadır.

4.1.8. Pliyosen Kırıntılı Çökeller (Tpl)

İnceleme alanının kuzeybatı, doğu ve güney kesimlerinde çok dar alanlarda yüzeylenen bu birimler genellikle ince – kaba kırıntılı çökel kayalarından oluşmaktadır (Şekil 4.17). Ağırlıklı olarak yuvarlak, yarı yuvarlak, ince kırıntılı matriks ile tutturulmuş polijenik çakıllı çakıltaşı tabakaları halinde yüzeylenmektedir.

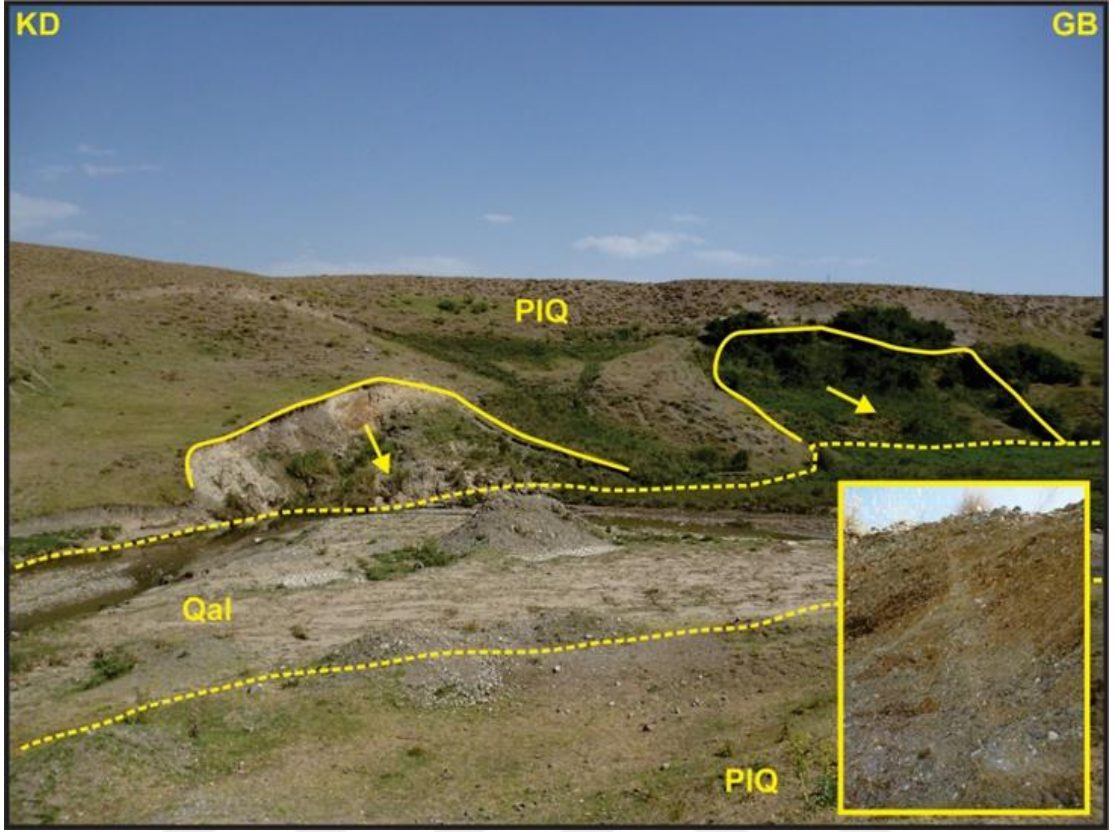
Erciş kuzeyinde gözlenen havzanın KD yamacında Kuvaterner yaşlı Girekol Bazalt birimi bu çökellerin üzerine itilmiştir. Bu sınırın haricinde birim, altındaki Alt Miyosen yaşlı Adilcevaz Kireçtaşı ve üzerindeki Üst Pleyistosen (Chibanian) yaşlı Girekol Bazaltları ile uyumsuz dokanakla sınırlanmıştır. Birim, Van Gölü Havzası içerisinde gözlenen ve Acarlar ve diğ. (1991) çalışmasında tanımlanan Beyüzümü Formasyonu ile eşleştirilebilir. Bölgesel olarak volkanik birimlerin zenginliği nedeniyle içerdiği çakılların büyük bölümü volkanik kaya kökenlidir.



Şekil 4.17. Erciş kuzeyinde gözlenen Geç Pliyosen dönemi çökelleri (Tpl), Qgb: Girekol Bazalt birimi, sarı renkli kalın çizgi itilme düzlemi, bakış yönü KD.

4.1.9. Pliyo-Kuvaterner Kırıntılı Çökeller (PIQ)

İnceleme alanının güneybatı kesiminde Timar ve Karaağaç Köyleri arasında yaygınca gözlenmektedir. Bu kesimde çok geniş düzlükleri oluşturmakla birlikte yanal olarak alüvyal birimler ile geçişlidir (EK-1). Genellikle yarı tutturulmuş, yuvarlak, polijenik çakıllardan oluşan birim uyumsuzlukla daha yaşlı birimleri örtmektedir (Şekil 4.18). Yeşilimsi, grimsi renklerde olup köken olarak Van Formasyonu içerisinde gözlenen ana kaya ve olistolit birimlerden türemiş çakıllardan oluşmaktadır. Tabakalanma belirgin değildir. Birim içerisinde küçük ölçekli kütle hareketleri gözlenmiştir. Çökel ortamı menderesli akarsu, delta ortamı olarak yorumlanmıştır. Birimin yaşı, çimentolanma derecesi, üzerine geldiği Pliyosen yaşlı karasal kırıntılılar nedeniyle Geç Pliyosen – Erken Pleyisyosen olarak tanımlanmıştır (Acarlar ve diğ. 1991).



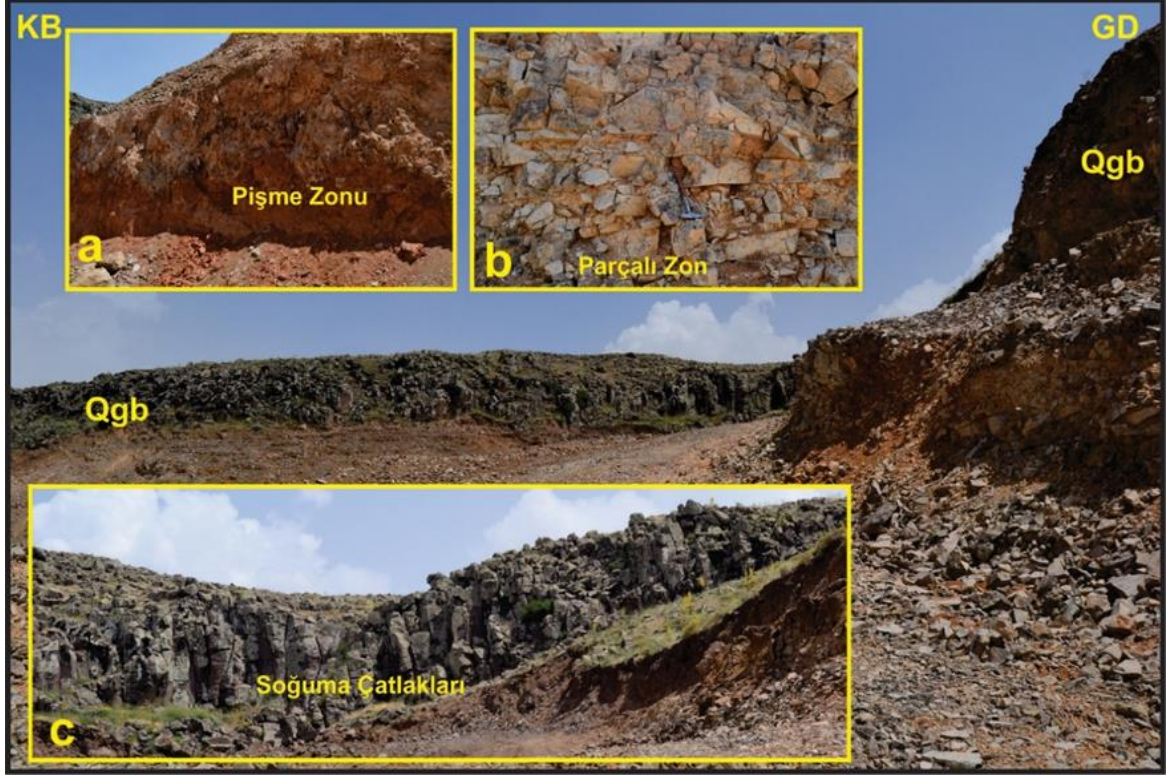
Şekil 4.18. Pliyo-Kuvaterner yaşlı kırıntılı çökel birimleri, Timar Köyü güneyi, bakış yönü GD.

4.1.10. Girekol Bazaltı (Qgb)

Girekol Volkanı, inceleme alanının kuzeybatısında, Erciş İlçesinin kuzeyinde yayılım sunan bir volkandır. Bazalt birimlerinden oluşmaktadır. Lavların yayılımı güneyde Etrüsk'e ait trakitik birimlerin üzerine kadar gelmiş ancak Van Gölü'ne ulaşmamıştır. Çalışma alanının KB'sında ise birim Pliyosen yaşlı kırıntılı çökellerin üzerine sürüklenmiş daha kuzeyinde ise vadi tabanına kadar ulaşmıştır. Girekol Tepe, volkanın krater bölgesini oluşturmaktadır. Oyan (2011) çalışmasında volkandan çıkan ilk lavların güneye, sonraki dönemde çıkan genç lavların ise batı ve kuzey yönlerinde akmış olduğunu belirtmiştir.

Birim siyahımsı kahverenkli, yer yer siyah, dayanımlı ve yoğunca soğuma çatlaklıdır (Şekil 4.19). Sürüklenmenin olduğu kesimde üzerine bindirdiği Pliyosen yaşlı karasal çökeller ile arasında kırmızımsı renkli, killeşmiş, pişme zonu oluşmuştur. Bununla birlikte gerek akma ile eş zamanlı soğumaya gerekse itelenmeye bağlı olarak kaya oldukça parçalı ve kırıklı bir yapı kazanmıştır (Şekil 4.19).

Girekol volkanizması ürünlerinden alınan örnekler üzerinde radyometrik yaş tayini yaptırılmış ve birimin yaşı 0.60My ile 0.36My arasında belirlenmiştir (Lebedev ve diğ. 2010). Bu haliyle birimin oluşumu Pleyistosen'in Chibanian (Çibaniyen) katına denk gelmektedir.



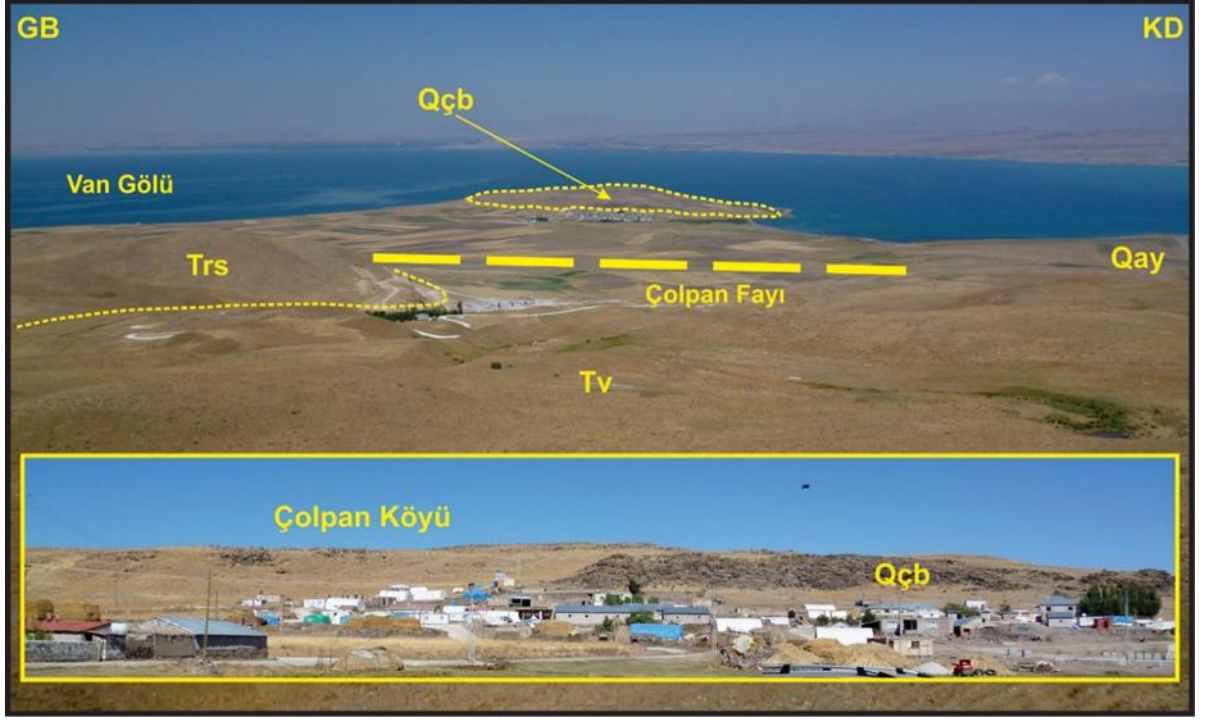
Şekil 4.19. Girekol Bazalt birimine ait genel ve detay görünüm, a) kırmızımsı renkli killeşmiş pişme zonu, b) soğuma ve itilme nedeniyle gerçekleşmiş parçalı, klastik zon, c) birim içerisine gözlenen düşey yönlü soğuma çatlakları, bakış yönü KD.

4.1.11. Çolpan Bazaltı (Qçb)

İnceleme alanı güneyinde yüzeylenen Kuvaterner dönemini temsil eden tek volkanik birim olma özelliğindedir. Çolpan Bazaltı, siyahımsı kahverenkli, sert, dayanımlı, az ayrılmış özelliklerdedir. Eski alüvyal yelpaze içerisinde uzamış görüntüsü ile dikkati çekmektedir (Şekil 4.20).

Birim içerisinden alınan örnek üzerinde radyometrik yaş tayini yaptırılmış ve birimin yaşı 0.57My olarak belirlenmiştir (Lebedev ve diğ. 2010). Bu veri ile birlikte birimin yaşı, inceleme alanı içerisinde gözlenen diğer Kuvaterner dönemi bazaltları ile birlikte Pleyistosen'in Chibanian (Çibaniyen) katına denk gelmektedir.

Çolpan Bazaltı morfolojik yapısı nedeniyle kendisine paralel uzanan bir süreksizliğin varlığı ile gelişmiş olmalıdır. Bu anlamda, birime en yakın ana süreksizlik, sol yönlü doğrultu atımlı fay olan ve ilerleyen bölümlerde yapısal jeoloji başlığı altında anlatılacak olan Çolpan Fayı veya bu faya paralel başka bir ana süreksizlik olmalıdır. Bazalt birimi, Geç Kuvaterner döneminde çökelmiş alüvyal fan çökelleri ve göl çökelleri ile yer yer örtülmüş durumdadır.



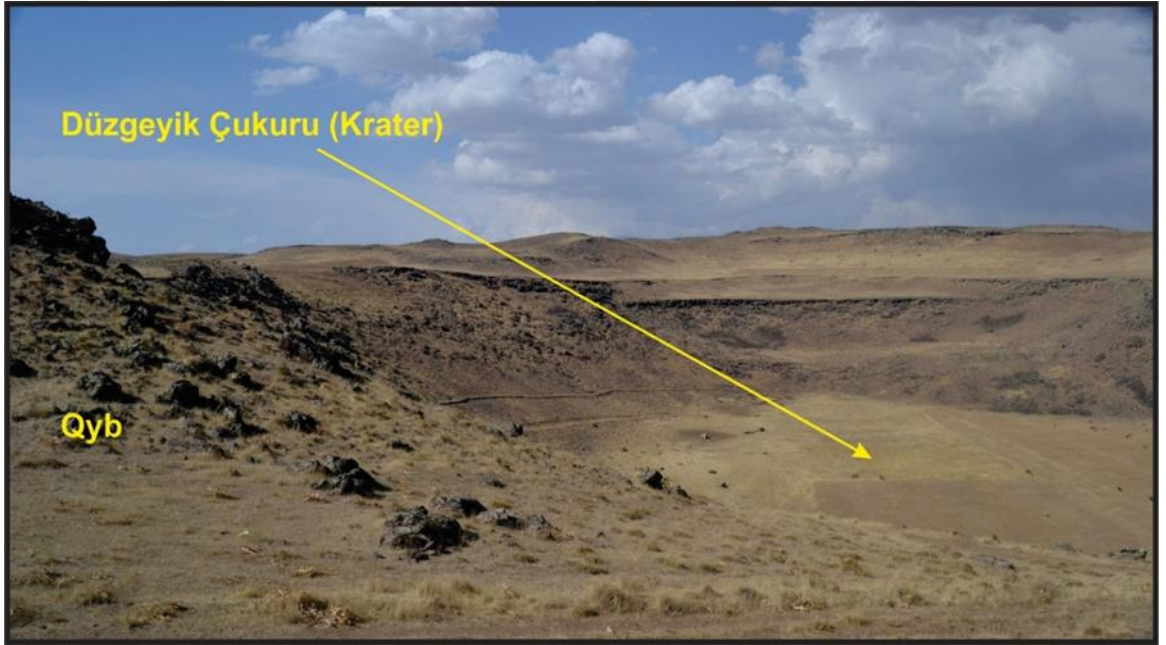
Şekil 4.20. Çolpan Bazalt biriminin Sağlamtaş Köyü sırtlarından (büyük görsel) ve Çolpan Köyü içinden (küçük görsel) görünümü, bakış yönü KB.

4.1.12. Yüksektepe Bazaltı (Qyb)

Bu birim, inceleme alanı içerisinde, kuzey kesimde, Girekol Volkanizması doğusu ile Etrüsk Volkanı arasında, Alt Pliyosen yaşlı volkanik birimlerin üzerinde gelişmiş Kuvaterner dönemine ait bir volkanizmayı temsil etmektedir (EK-1). Yaklaşık K-G yönünde uzanan birbirine yaklaşık paralel iki açılma çatlağı boyunca gelişmiş ve en iyi gözlemlendiği yer Yüksektepe mevki olması nedeniyle Yüksektepe Bazaltı olarak adlandırılmıştır (Oyan 2011). Bölgedeki benzer yükseltiler aynı zamanda diğer çıkış noktalarını ve kraterleri oluşturmaktadır (Şekil 4.21).

Etrüsk volkanı batı yamacındaki trakitik lavların üzerini kaplayan bu birim geniş bir alanda yayılmış ve ağırlıklı olarak güneye doğru, Van Gölü'ne doğru akmıştır. Genellikle siyahımsı koyu kahverenkli, sert, dayanımlı ve az ayrılmış taze görünümündedir (Şekil 4.21). Birim içerisinde belirlenen farklı fazlara yönelik alınan örnekler üzerinde radyometrik yaş tayini yaptırılmış ve birimin yaşı 0.43, 0.68 ve 0.96My olarak belirlenmiştir (Lebedev ve diğ. 2010). Bu veriler doğrultusunda birimin oluşumu Pleyistosen'in Kalabriyen ve Chibanian (Çibaniyen) katlarına denk gelmektedir.

Birim güney kesiminde Geç Kuvaterner döneminde çökelmiş alüvyal kırıntılı çökeller ve göl çökelleri ile yer yer örtülmüş durumdadır. Birim olasılıkla göl içerisinde devam etmektedir.



Şekil 4.21. Yüksektepe Bazalt biriminin Düzgeyik Krateri civarındaki görünümü, bakış yönü K.

4.1.13. Geç Kuvaterner Dönemi Çökelleri

Van Gölü Havzası genelinde Geç Kuvaterner dönemi içerisinde farklı fasiyeslerde çökelmiş birçok kırıntılı çökel birim bulunmaktadır. Bunun en temel sebebi bölgenin aktif tektonizmanın etkisi altında olmasıdır. Bu anlamda genel stres rejimi etkisiyle gelişen bölgesel yükselmenin aşınmayla karşılanması ve kırıntılı malzemeyi yüksek kotlardan göl seviyesine taşıyacak drenaj sistemlerinin varlığı ve yoğunluğu depolanma sürecini hızlandırmaktadır. Van Gölü'nün oluşumundan itibaren geçirdiği seviye değişiklikleri havza etrafında farklı kotlarda gölsel

tarahaların gözlenmesine olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte, bu transgresyonların cevabı olarak, delta ve akarsu çökellerinin göl çökelleri içerisine girmesi sonucunda bölgede ve de inceleme alanı içerisinde çökel paketlerinde farklı ortamların ardalanmasını görmek mümkündür.

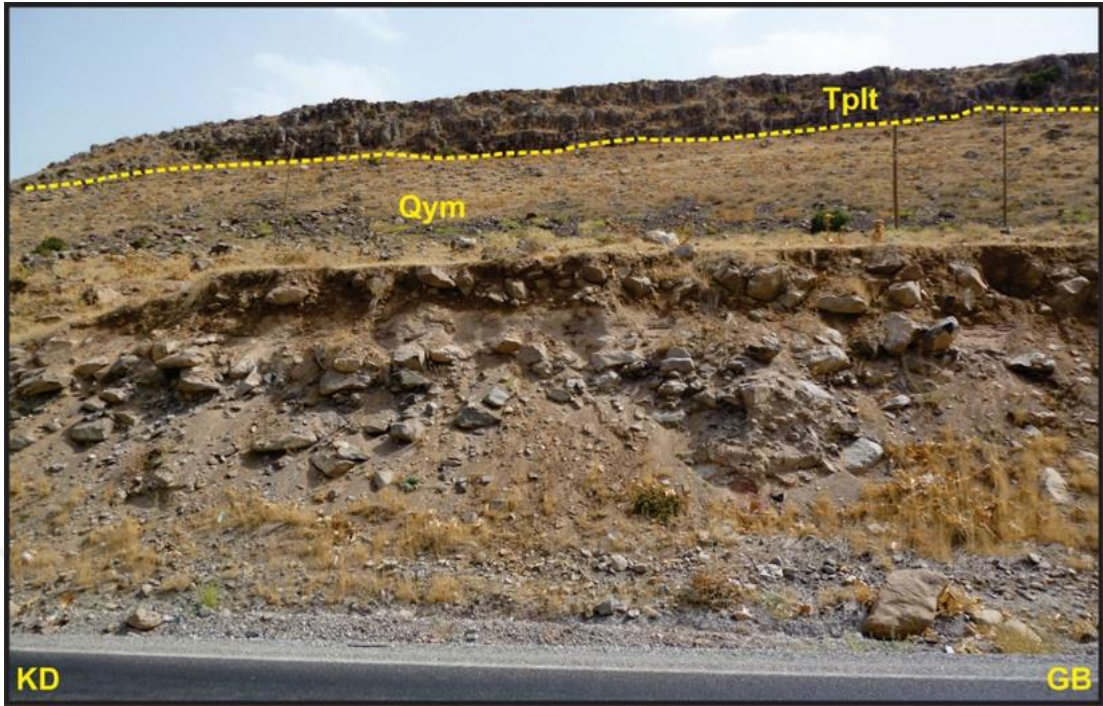
Tüm bu genç çökeller içerisinde gözlenen aktif tektonizmanın ürünü yapıların yaşlandırılması amacıyla bazı lokasyonlardan örnekler alınmış ve tektonik süreç ile birlikte birimin yaşı da belirlenmiştir. Bununla birlikte, bölgede aktif tektonizmanın bir ürünü olarak Heyelan Malzemelerinin yüksek kotlardan alüvyal düzlüklere doğru yerleştiği ve güncel çökelleri örttüğü de görülmektedir.

Yamaç Molozu (Qym)

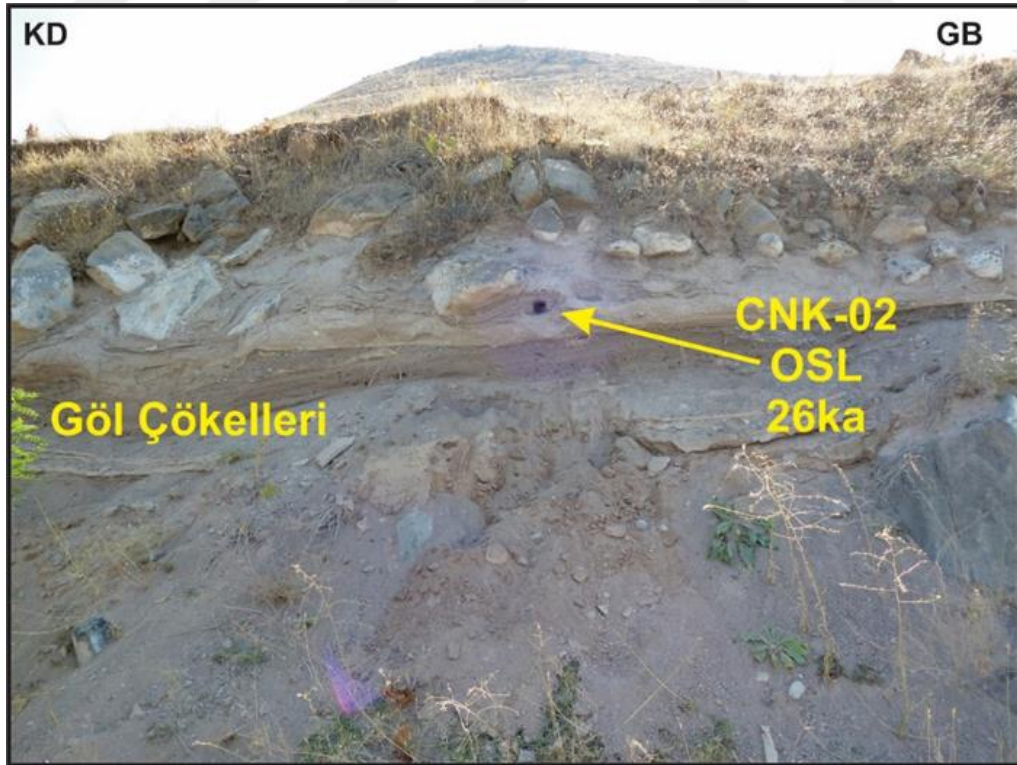
Bu birim yoğunlukla, inceleme alanı güneybatısında yüzeylenen ve bölgedeki sert yükseltileri oluşturan Alt Pliyosen yaşlı Timar Bazaltlarının yamaçlarında çökelmiş birimdir (Şekil 4.22, EK-1). Genellikle kaynak kayası olan bazalt birimine ait köşeli, yarı köşeli yer yer yarı yuvarlak sert bloklardan ve ince kum – çakıl matriksten oluşmaktadır. Blok boyutu yer yer 80 – 100 cm'lere varmaktadır.

Bölgede yüzeylenen molozlu birimler dönem dönem göl çökelleri ve plaj çökelleri ile aratabakalar halinde gözlenmektedir. Ancak genel olarak Timar bölgesinde göl çökelleri üzerine çökelmiştir. Yamaç molozu birimi matriksinden alınan kırıntı örneği üzerinde Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) yöntemi ile yaş tayini yaptırılmıştır. Burada amaç, birimin yaş verisini elde etmekten ziyade, bölgede ani olarak blok gelişine neden olabilecek bir tektonik hareketin varlığını sorgulamak olmuştur. Ancak her halukarda çökelin yaşı elde edilmiş ve 26ka (binyıl) olarak belirlenmiştir (Şekil 4.23) (Tablo 4.3).

İnceleme alanı içerisinde, kuzeyde yüzeylenen Adilceviz Kireçtaşı birimi yamaçlarında da karbonat çimentolu, blok ve çakıl kırıntılı yamaç molozu birimi de yer yer yüzeylenmektedir. Ancak yayılımı çok fazla olmadığı için haritalanmamıştır.



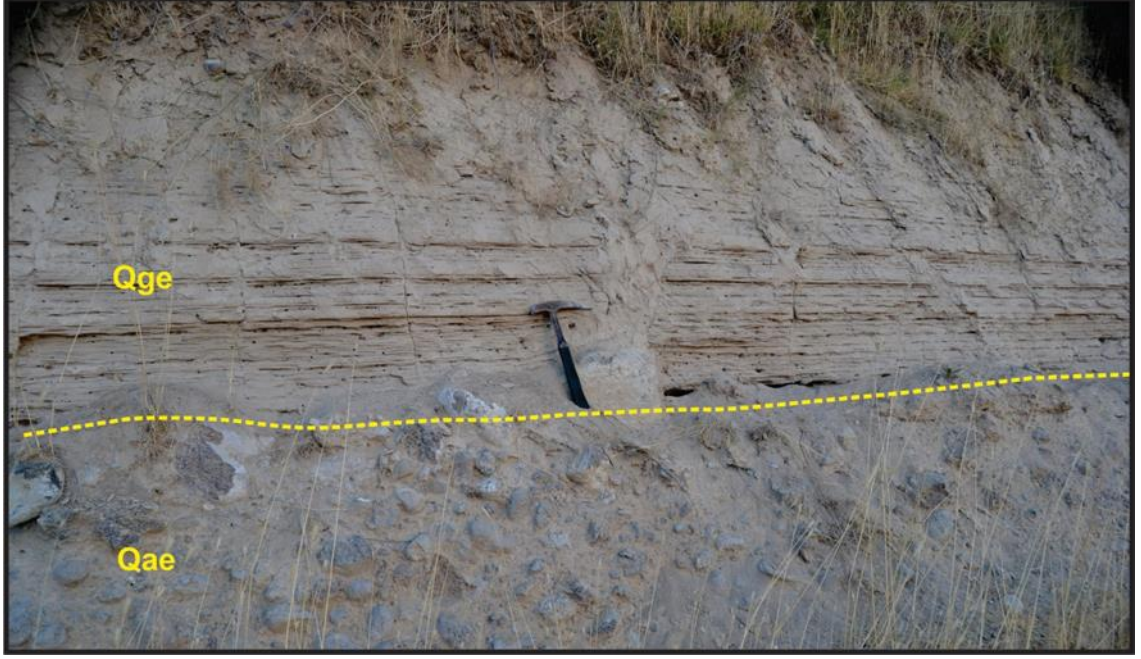
Şekil 4.22. Timar Bazaltı eteklerinde çökelmiş moloz birimleri, Timar Köyü ilerisi, kuzeye bakan yamaç, bakış yönü GD.



Şekil 4.23. Yamaç molozu birimi matriksinden alınan OSL örneği lokasyonu ve çökelin yaşı, Timar Köyü ilerisi, kuzeye bakan yamaç, bakış yönü GD.

Eski Göl Çökelleri (Qge)

Eski göl çökelleri, inceleme alanında farklı seviyelerde, Geç Pleyistosen'den Holosen'e kadar geniş bir zaman aralığını temsilen gözlenmektedir. Genellikle ince tabakalı, laminalı, krem, bej, açık kahve-sütlü kahve renkli, silttaşı, ince kumtaşı ve ince çakıltaşı ardalanmalarından oluşmaktadır (Şekil 4.24).



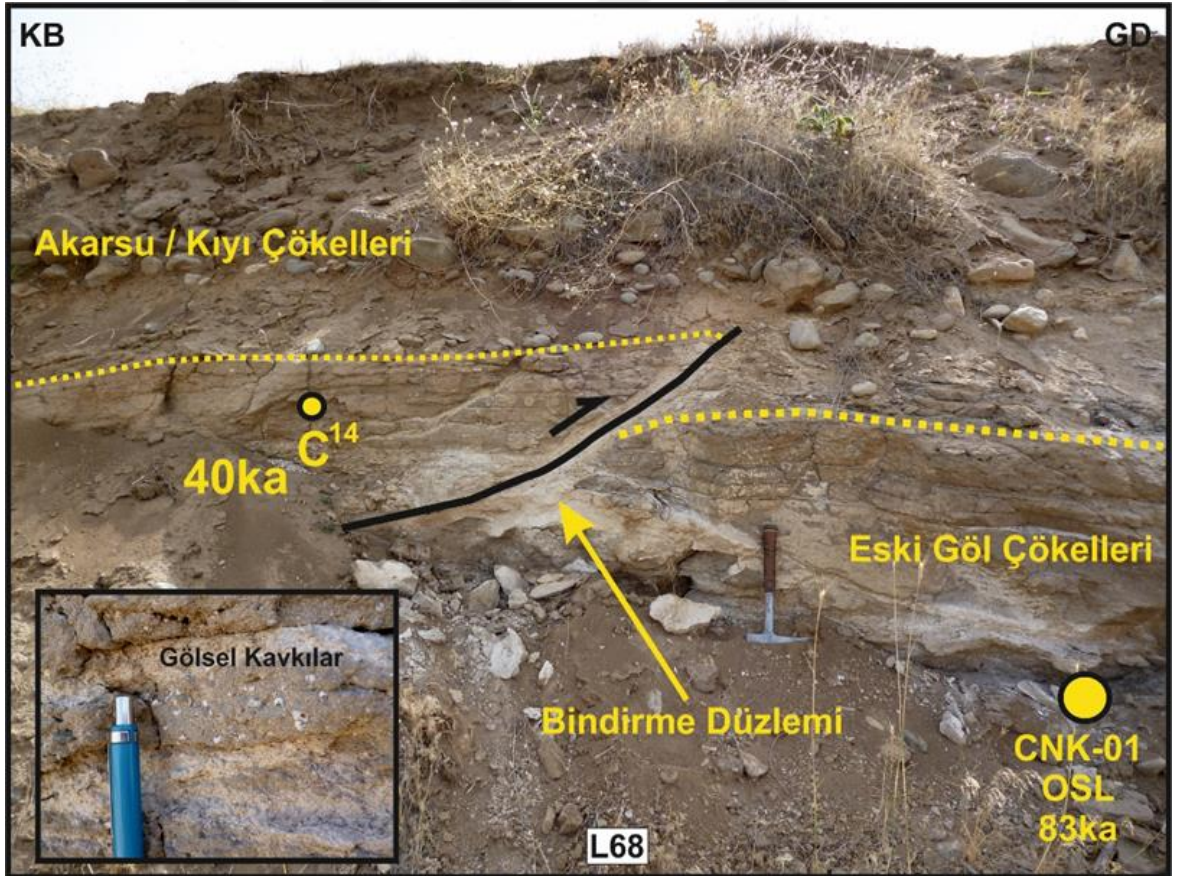
Şekil 4.24. Yatay tabakalı eski göl ve akarsu çökelleri, Qge: Eski Göl çökelleri, Qae: Eski Alüvyon, Erciş doğusu, Deliçay mansabı.

Timar Köyü kuzeyinde, yol yarmasında gözlenen bir yüzlekte birim içerisinde gelişmiş bir bindirme düzleminin varlığı nedeniyle örnek alınmış ve yaş tayini yaptırılmıştır (Şekil 4.25). Bu kesimde gözlenen eski göl çökelleri, iyi çimentolanmış, ince tabakalı silttaşı ve kumtaşı birimlerinden oluşmaktadır. Birim karbonat çimentoludur. Üst seviyelerinde gölsel gastropod fosillerinin olduğu bir seviye bulunmaktadır. Buradan alınan kavrık örneklerindeki ^{14}C izotopları üzerinden radyometrik yaş tayini yaptırılmış ve çökelin bu seviyesinin yaşı 40ka (binyıl) olarak belirlenmiştir. Birimin taban seviyesinden alınan kırıntı örnekler üzerinde ise OSL yöntemi ile yaş tayini yaptırılmış ve bu seviye de 83ka olarak belirlenmiştir (Tablo 4.3).

Göl çökelleri ve farklı teras seviyeleri Kuzucuoğlu ve diğ. (2010) çalışmasında detaylı olarak yaşlandırılmış ve genellikle Geç Pleyistosen yaşı elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında yukarıda bahsi geçen yaş verileri de genel çökelme yaşı ile uyumludur.

Eski Alüvyon Çökelleri (Qae)

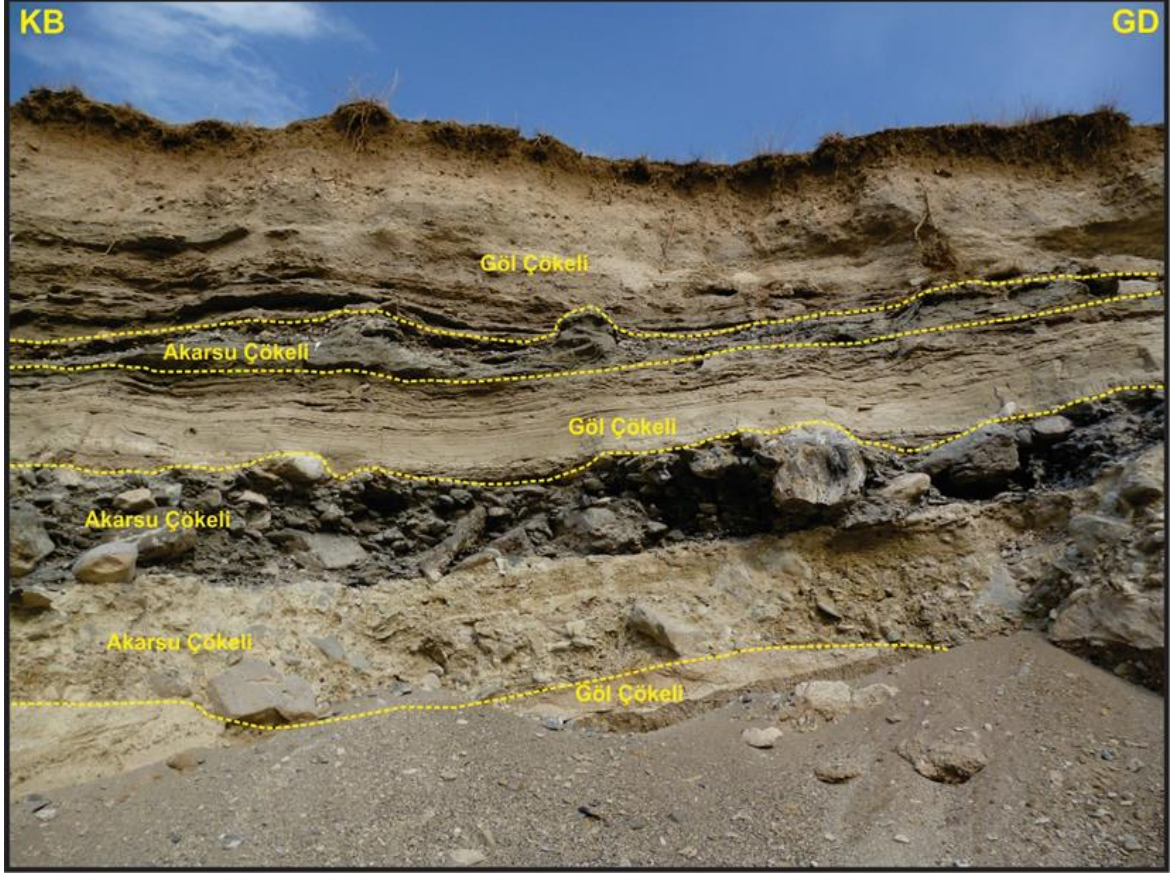
Eski alüvyon çökelleri genellikle zayıf tutturulmuş, çakıllı kumlu yer yer bloklu malzemelerin değişik oranlarda karışımı ve ardalanması şeklinde gözlenmektedir. Özellikle Van Gölü civarındaki depolanmalar göl çökelleri ve volkanosedimenter birimler ile ardalanmalıdır (Şekil 4.26). Birim genellikle yatay konumdadır. Ana süreksizliklerin bulunduğu kesimlerde eğimlenme kazanmıştır. Birimin çökelme dönemi Geç Pleyistosen'dir. Bu çalışma kapsamında Karahan Köyü batısındaki çökellerden kırıntı örneği alınmış ve OSL yöntemi ile yaş tayini yaptırılmıştır. Elde edilen veriler 34ka (binyıl) ve 63ka civarındadır (Tablo 4.3).



Şekil 4.25. Eski göl çökellerini kesen bindirme fayı, Timar Köyü kuzeyi, bakış yönü KD.

Alüvyal Yelpaze Çökelleri (Qay)

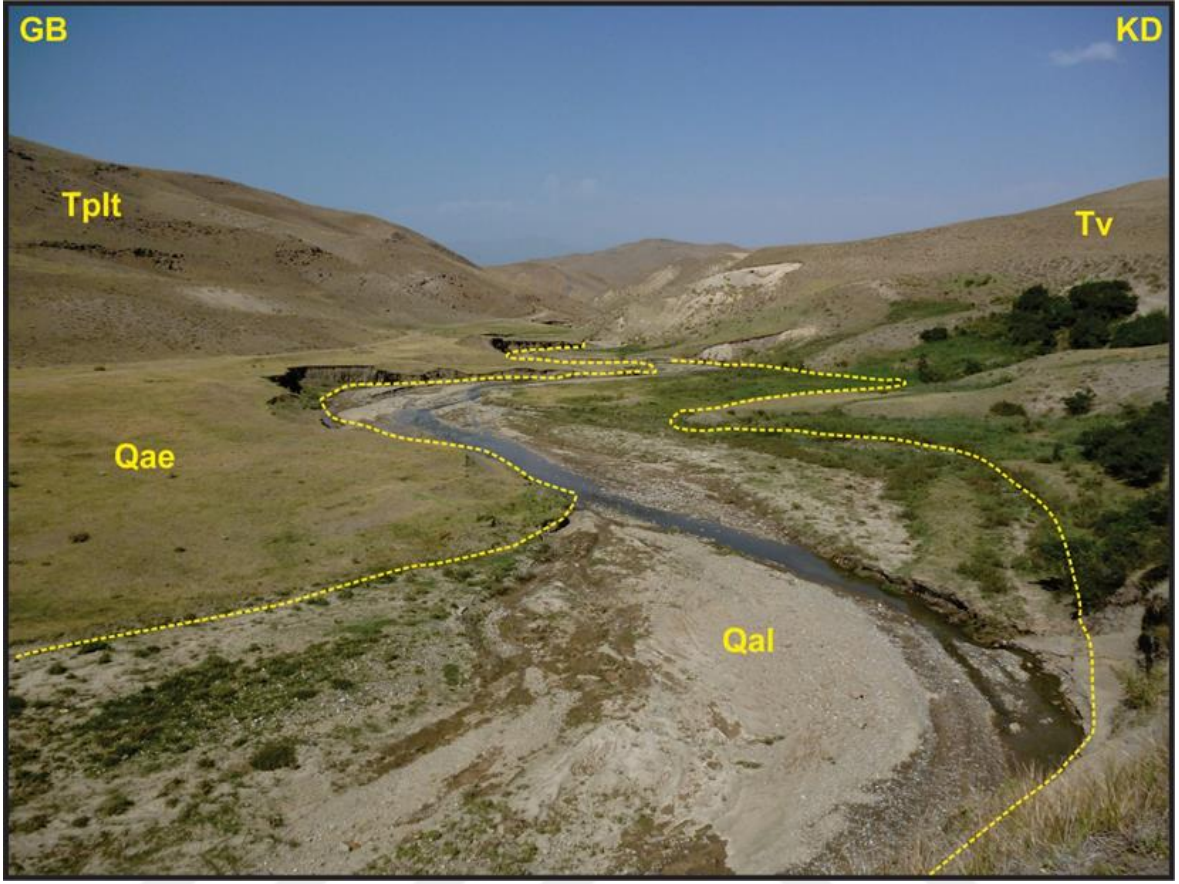
Alüvyal yelpaze çökelleri, inceleme alanı içerisinde, çok zayıf - zayıf tutturulmuş, kötü boylanmış, kum çakıl yer yer bloklu çökellerden oluşmaktadır. İnceleme alanı kuzeyinde Etrüsk Volkan kalderası güneyinde Alkasnak Köyü civarında, doğuda Ovapınar ve Uluşar Köyleri'nin KD'sunu kaplayacak şekilde çökelmiş kaba kırıntılardan oluşmaktadır (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. Eski alüvyal yelpaze ve göl çökelleri ardalanması, Timar Köyü kuzeyi, bakış yönü KD.

Alüvyon (Qal)

Van Gölü'ne dökülen ana akarsu yataklarında, özellikle kuzeyde Erciş civarında, Zilan Çayı, İrşat Suyu ve kolları boyunca, doğuda menderesli Bendimahi Çayı boyunca çökelmiş çakıl, kum, silt ve kil boyutlu kırıntılı malzemenin tutturulmamış çökelimlerini oluşturmaktadır (Şekil 4.27, EK-1). Kalınlığı Erciş Ovasında 100 metrenin üzerindedir (Özvan ve diğ. 2008).

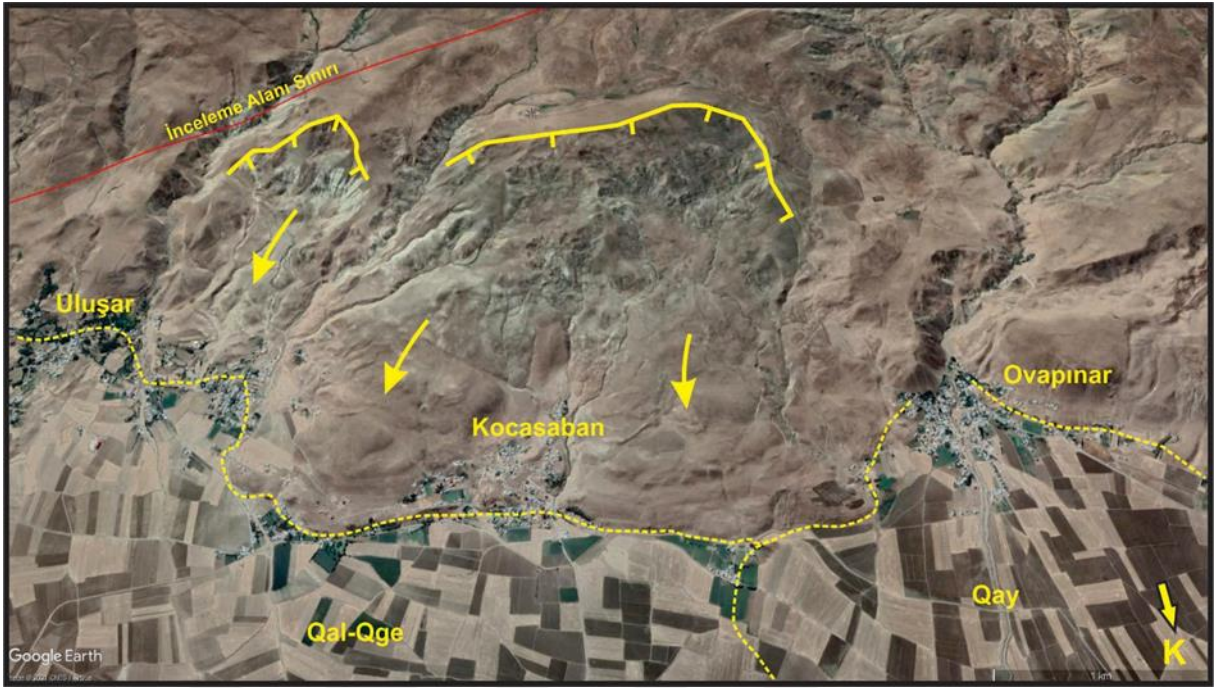


Şekil 4.27. Timar Köyü güneyi alüvyal çökeller, bakış yönü KB.

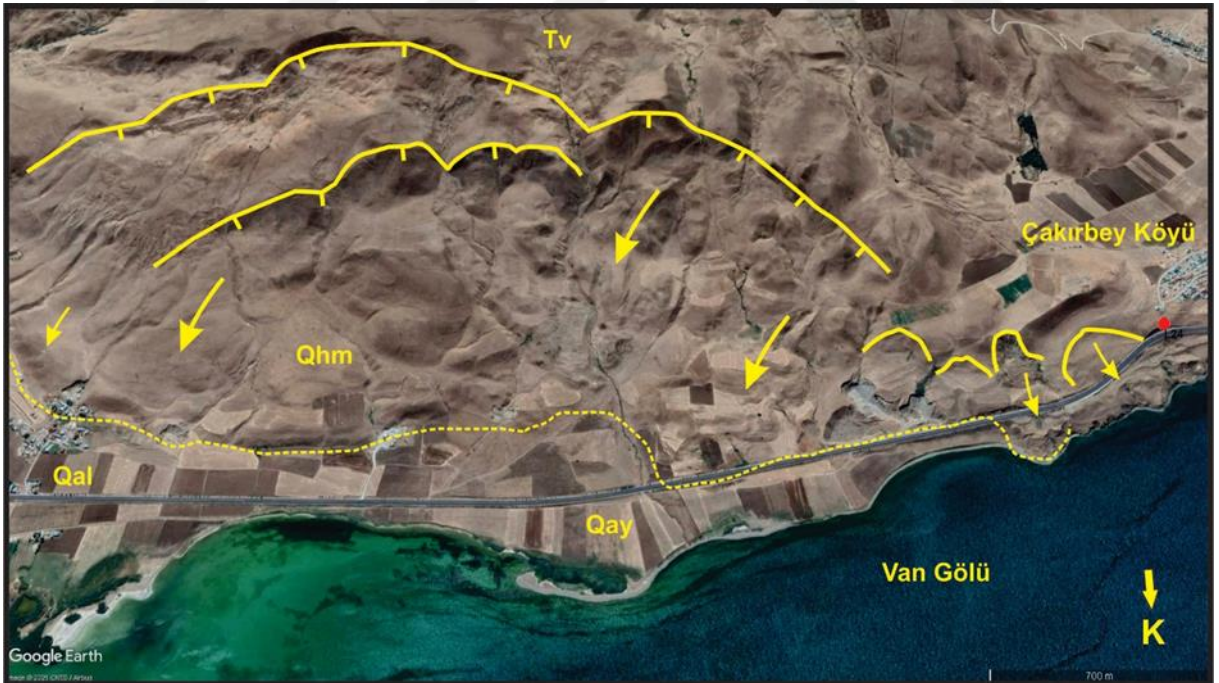
Heyelan Malzemesi (Qhm)

İnceleme alanının güney kesimlerinde, morfolojik yükselmeye ve de bölgedeki su çıkışlarına bağlı olarak, dayanımı zayıf litolojik birimlerin içsel sürtünme kuvvetlerini yenmesi sonucunda gelişmiş farklı boyutlarda kütle hareketleri (heyelan) gözlenmektedir (Şekil 4.28, EK-1). Bu heyelanlar özellikle Van Formasyonu'na ait kiltası, marn, çamurtaşı seviyelerinin olduğu kesimlerde yoğunlaşmaktadır. Graviteye bağlı olarak yüksek kotlardan Van Gölü seviyesine doğru hareket eden birim litolojik olarak karmaşık bir yapıya bürünmekle birlikte, hareket eden kütleler göl seviyesine yakın kesimlerde üzerine çökmüş Geç Kuvaterner dönemi çökellerinin de sürüklenmesine, yerdeğiştirmesine neden olmuştur (Şekil 4.29).

Heyelanların bir bölümü pasif, çoğunluğu aktif durumdadır. Mevcut karayolu dâhil olmak üzere, yeleşim yerleri ve bazı üstyapı ürünleri kütle hareketi tehdidi altındadır. Heyelan kütlesi içine yerleşmiş en büyük birim Ermişler Köyü'dür (EK-1).



Şekil 4.28. İnceleme alanı doğusunda Ovacınar ve Kocasaban Köyleri civarında gözlenen büyük boyutlu kütle hareketleri, Qal-Qge: Alüvyon-Eski Göl Çökeli, Qay: Alüvyal Yelpaze Çökeli (altlık Googleearth görüntüsü).



Şekil 4.29. İnceleme alanı güneyinde, Çakırbey Köyü doğusunda, göle bakan yamaçlarda gerçekleşen kütle hareketleri, Tv: Van Fm., Qal: Alüvyon, Qay: Alüvyal Yelpaze, Qhm: Heyelan Malzemesi (altlık Googleearth görüntüsü).

4.2. YAPISAL JEOLJİ

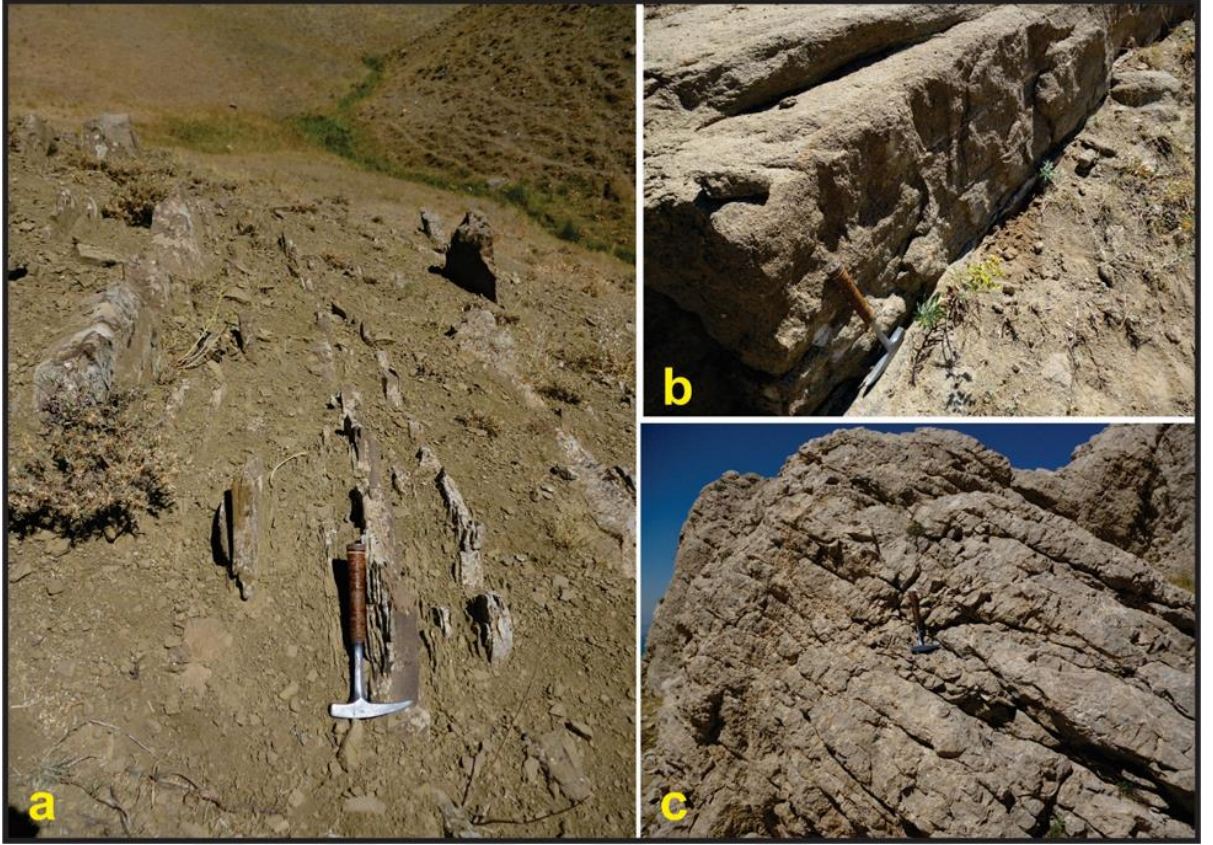
Bu bölüm altında birimlerin konumları, içerdikleri yapısal unsurlar, bölgedeki ana ve tali fay zonları saha verileri ve analizleriyle birlikte aktarılmıştır. Birimlerin tabaka konumları, kıvrım yapıları ve de birimler içerisinde gelişmiş eklem setlerinin projeksiyonu yapılmış, veriler ayrı ayrı ve bütünleşik olarak değerlendirilmiştir. Sahada gözlenen ana fay zonları ayırtlanmış, fay düzlemlerinden alınan ölçüler ile fayların kinematik analizleri yapılmış, özellikleri belirlenmiş ve bölge tektoniği içerisindeki konumu aktarılmıştır.

4.2.1. TABAKALAR

Bu bölümde, tez alanı dâhilinde gözlenen sedimanter birimlere ait tabakalanma yapıları analiz edilmiştir. Tabaka konumlarının stereografik projeksiyonu yapılmış ve gül diyagramları hazırlanmıştır. Analiz sonucunda tabakalarda gelişen eğimlenme (tiltlenme) yönleri, kıvrım yapıları ve etki eden stres yönlerinin durumu tartışılmıştır. Çalışma alanı dâhilinde dört temel sedimanter birim gözlenmektedir. Bunlar yaşlıdan gece doğru sırasıyla Oligo-Miyosen yaşlı Van Formasyonu, Alt Miyosen yaşlı Adilcevaz Kireçtaşı, Üst Miyosen yaşlı Kurtdeliği Formasyonu ve de Kuvaterner birimleri temsilen Eski Göl ve Akarsu çökelleridir.

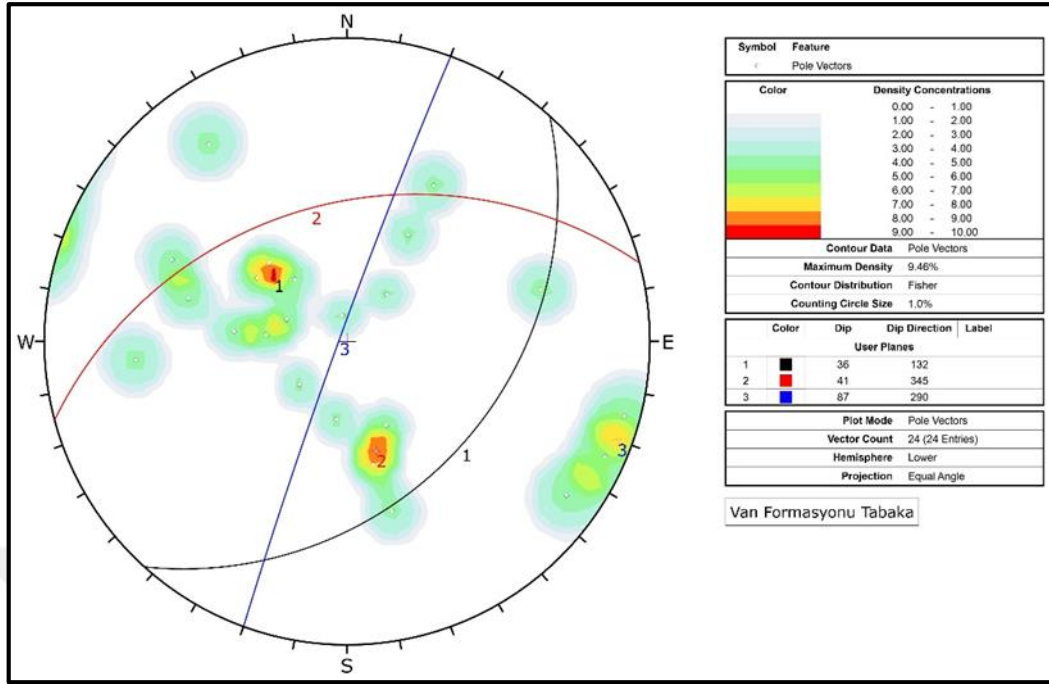
4.2.1.1. Van Formasyonu

Van Formasyonu çoğunlukla kırıntılı sedimanter kayalardan ve farklı yaş konaklarına sahip karbonatlı olistolitlerden oluşmaktadır. İnceleme alanının doğu ve güney kesimlerinde yaygınca yüzeylenmektedir. Birim ağırlıklı olarak ince orta tabakalı yer yer kalın tabakalıdır (Şekil 4.30).

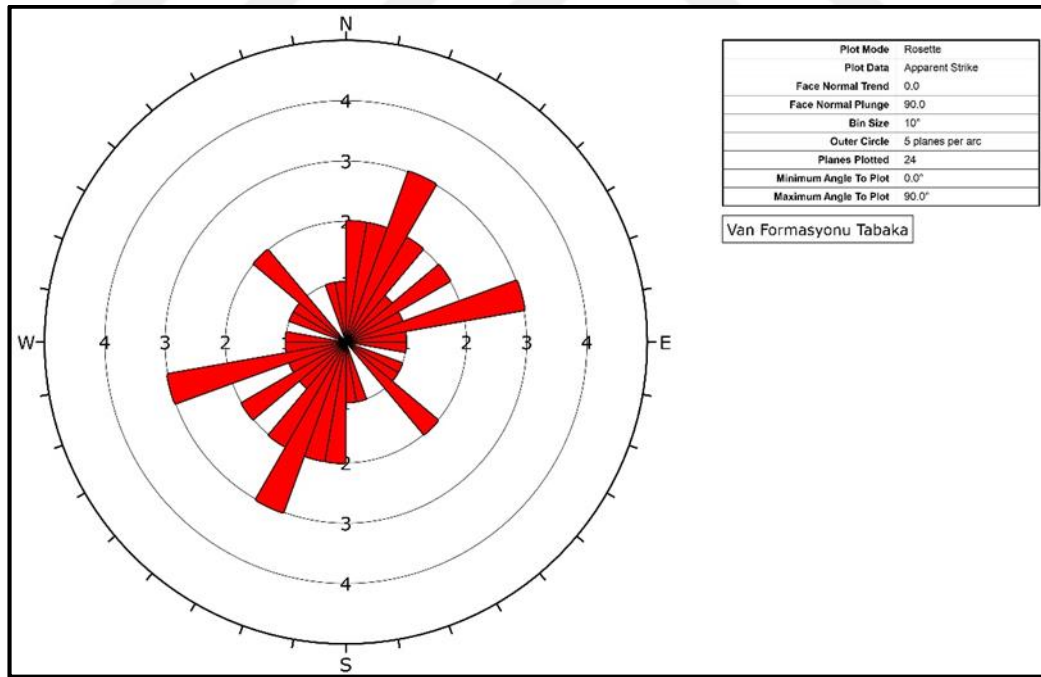


Şekil 4.30. Van Formasyonuna ait tabakalı birimler, a) düşey eğimli çok ince silttaşı-kumtaşı ve ince orta tabakalı kumtaşı ardalanması (Yukarı Çolpan Köyü güneyi, bakış yönü K) b) kalın tabakalı ince çakıllı çakıltaşı seviyesi (Sağlamtaş Köyü güneyi) c) Jura yaşlı neritik kireçtaşı olistoliti (Yukarı Çolpan Köyü güneyi).

Van Formasyonu içerisinde yer alan olistolitler ilksel konumlarında olmamaları nedeniyle analizleri yapılmış olmasına karşın dikkate alınmamıştır. Ancak yine de bazı düzlem yoğunlukları kırıntılı birimler ile uyumlu olarak gözlenmektedir. Van Formasyonu içerisinde 24 ayrı tabaka verisine ait stereografik projeksiyon ve kontür diyagramı Şekil 4.31’de, tabaka doğrultu gül diyagramı ise Şekil 4.32’de sunulmuştur.



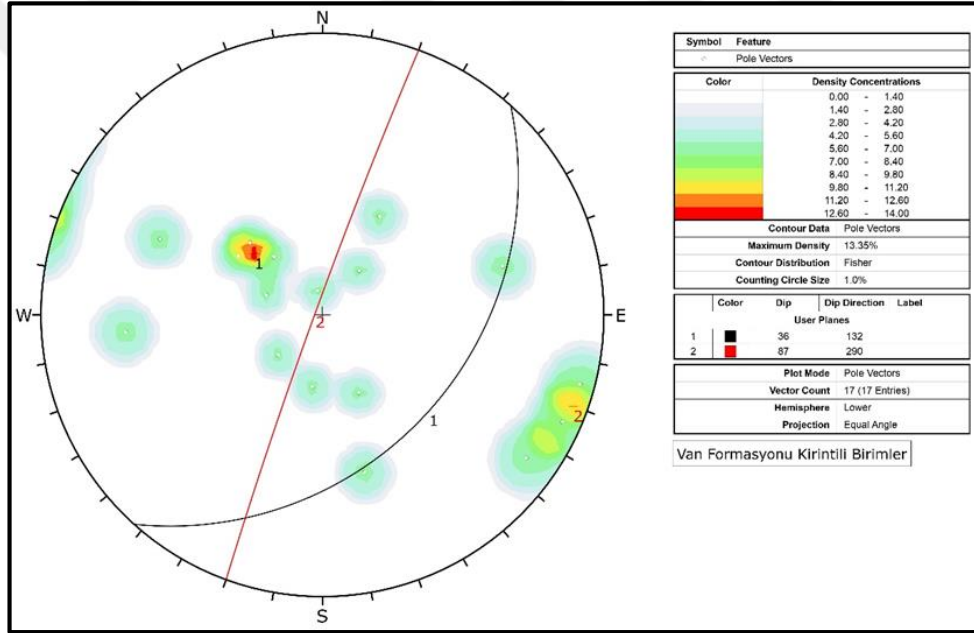
Şekil 4.31. Van Formasyonu'na ait tabaka ölçümlerinin stereografik projeksiyonu, kontür diyagramı ve ana düzlemler.



Şekil 4.32. Van Formasyonu'na ait tabaka doğrultu gül diyagramı.

Analiz sonucunda üç adet tabaka düzlemi kümelenmesi gözlenmiştir. Bunlar eğimyönü/eğim derecesi cinsinden sırasıyla 132/36, 345/41 ve 290/87 dir. Son düzlemin eğim miktarının neredeyse düşeye yakın olması bir fay düzlemi etkisiyledir. Gül diyagramına da bakıldığında aslında Van Formasyonu'na ait tüm birimlerin dağınık şekilde konumlandığı görülmektedir.

Van Formasyonu'na ait kırıntılı birimlerden elde edilen 17 adet tabaka düzleminin stereografik projeksiyon yöntemiyle yapılan analizinde ise temel olarak iki baskın kutuplaşma ve düzlem belirlenmiştir (Şekil 4.33). Bu düzlemler sırasıyla 132/36 ve 290/87 eğimyönü/eğim değerlerine sahiptir. Genel analizden de görüleceği üzere en yüksek eğim değerine sahip düzlem Van Formasyonu'nun kırıntılı çökel kaya birimlerinden elde edilmiştir.

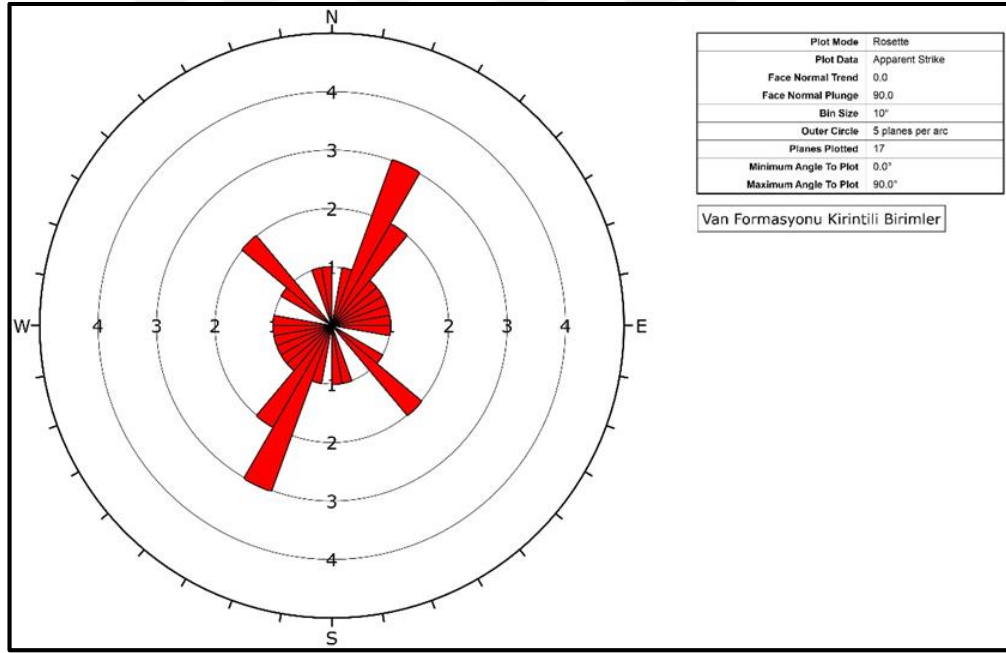


Şekil 4.33. Van Formasyonu kırıntılı çökel kayalarına ait tabaka değerlerinin stereografik projeksiyonu, kontür diyagramı ve ana düzlemler.

Bulunan ortalama tabaka düzlemlerin genel doğrultusuna göre birimler yaklaşık olarak K30D yönelimine sahiptir. Daha baskın olan 1 nolu düzlemin analiz edilen düzlemler içerisindeki yoğunluğu %13.35 olarak bulunmuştur. Bu haliyle bölge içerisinde Van Formasyonuna ait kırıntılı kaya birimlerinin genel olarak GD'ya eğimli olarak bulunmaktadır. Van Gölü'ne bakan yamaçlarda eğimler ise genellikle KB yönüne doğrudur. GD yönündeki eğimlerin iki temel anlamı bulunmaktadır. Bunlardan biri, çalışma alanı dışında, GD yönünde kalan kesimde yığılma karmaşığına ait kaya birimlerinin bir bölümü Van Formasyonu üzerine itilmiş konumdadır. Bu KB – B yönündeki bindirmenin etkisi, üzerlenen birimlerin bindirme yönü

tersine tiltlenmesini (eğimlenmesini) beraberinde getirmektedir. Bir diğer ve en önemli neden ise bölgenin çok büyük boyutlu heyelanlardan etkilenmiş olmasıdır. Bu heyelanların bir bölümü halen aktiftir. Yani aslında inceleme alanının doğu-güneydoğu kesiminde yüzeylenen hemen hemen tüm birimler bu kütle hareketlerinin etkilerine maruz kalmıştır. Bu nedenle Van Formasyonu'na ait tabaka ölçülerinin bir bölümünün ilksel konumlarında olmaması durumu sözkonudur.

Bu durum tabaka doğrultularına ait gül diyagramında da gözlenmektedir (Şekil 4.34). Buradan da görüleceği üzere farklı yönlerde birbirine yakın doğrultularda ölçülmüş birçok tabaka verisi mevcuttur. Bu durum aslında bölgesel olarak (küçük ölçekte) dönme (rotasyon) hareketlerinin etkisi olarak yorumlamıştır. Ancak genel ve baskın olarak gözlenen tabaka doğrultuları ve bunların eğim yönlerini dikkate aldığımızda K50-70B yönlü bir stres yönünün varlığından söz edebiliriz. Bu yönden etki eden kuvvetler neticesinde birimlerin konumlandığını söyleyebiliriz.

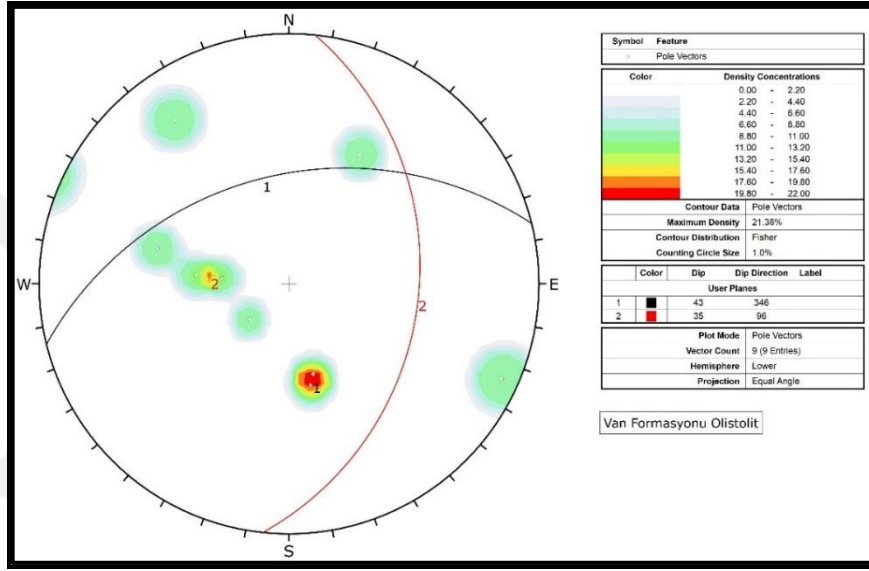


Şekil 4.34. Van Formasyonu kırıntılı kaya birimlerine ait tabaka doğrultu gül diyagramı.

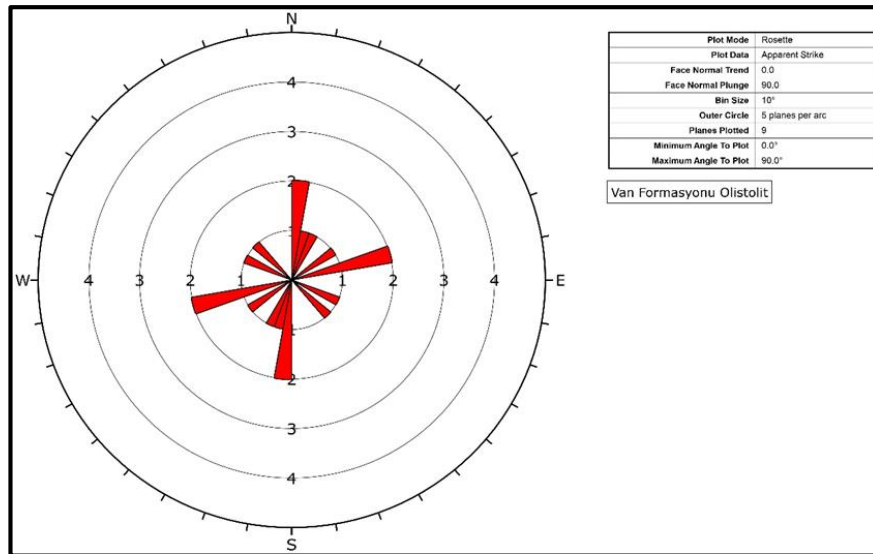
Van Formasyonu içerisindeki olistolit birimlerde yapılan tabaka analizlerinde ise temel olarak iki ana düzlem kümelenmesi belirlenmiştir (Şekil 4.35). Ancak yukarıda da bahsedildiği gibi ilksel konumlarından uzak olan bu litolojilerden elde edilen düzlemler sırasıyla 346/43 ve 096/35 eğim yönü/eğim değerlerine sahiptir. Analize girdi olarak tanımlanan tabaka verisi sayısı aslında yetersizdir. Bunun en temel nedeni sahada yapılan çalışmalarda özellikle Paleosen-

Eosen yaşlı kireçtaşı olistolitlerinin genellikle çok kalın tabakalı veya masif görünümde olması ve düzlem ölçülememiş olmasıdır. Bir diğer neden ise olistolitlerin bariz heyelan kütleleri içerisinde yer alması ve kütle hareketinin yönüne göre belirgin bir şekilde yeniden konum kazanmış olmasıdır. Bu nedenle bu kesimlerde tabaka ölçümü yapılmamıştır.

Birime ait tabaka doğrultu gül diyagramında ise ana düzlem yönleri belirgin bir şekilde olmasına karşın farklı yönlerdeki tali düzlemler de gözlenmektedir (Şekil 4.36).



Şekil 4.35. Van Formasyonu içerisindeki olistolitlere ait tabaka değerlerinin stereografik projeksiyonu, kontür diyagramı ve ana düzlemler.



Şekil 4.36. Van Formasyonu içerisindeki olistolitlere ait tabaka doğrultu gül diyagramı.

4.2.1.2. Adilcevaz Kireçtaşı

Alt Miyosen yaşlı Adilcevaz Kireçtaşı birimi inceleme alanının KB ucunda Erciş İlçesi civarında geniş alanda yüzeilenmektedir. Birim farklı kalınlıklarda tabakalanma sergilemektedir, genellikle orta – kalın katmanlıdır (Şekil 4.37). Üst seviyelerinde ise çok kalın katmanlı olarak görülmektedir.

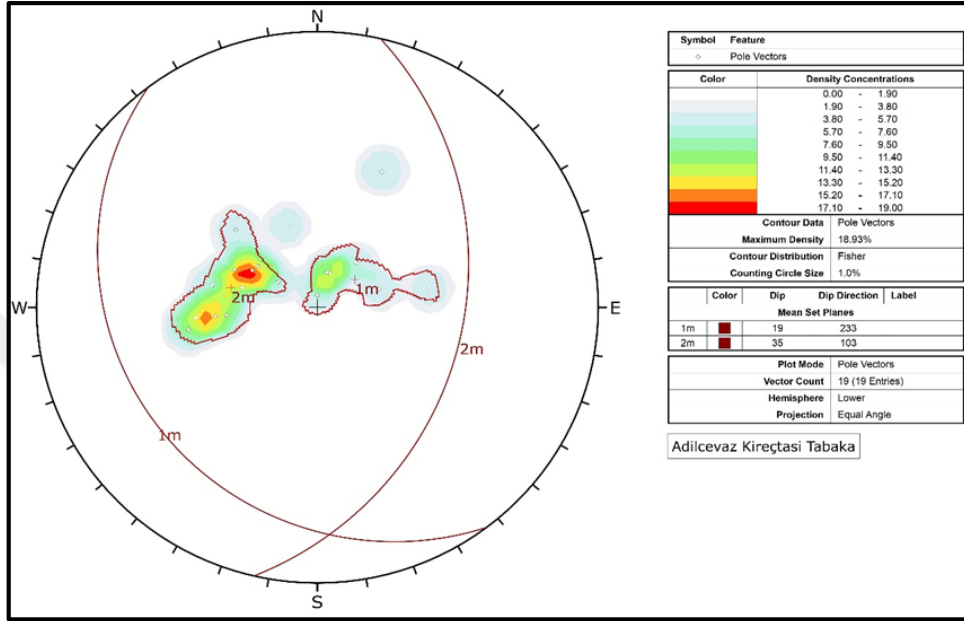


Şekil 4.37. Adilcevaz Kireçtaşı birimine ait kalın tabakalanma seviyeleri, Yukarı Işıklar Köyü güneyi, bakış yönü D-GD

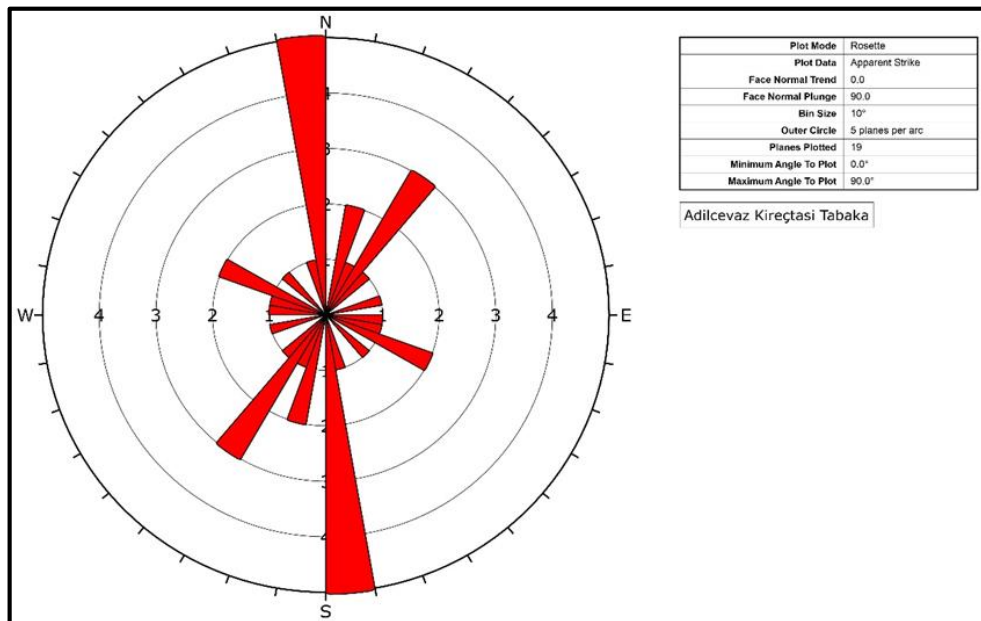
Birim içerisinde toplam 19 lokasyonda tabakaların konumları ölçülmüştür. Tabakalara ait stereografik projeksiyonda iki ana tabaka düzlemi etrafında yönelimlerin dağıldığı belirlenmiştir (Şekil 4.38). Bu düzlem setleri eğimyönü/eğim derecesi cinsinden sırasıyla 233/19 ve 103/35'tir. Tabaka düzlemlerinde baskın olan düzlem grubu ikinci düzlem grubudur, yani kaya birimi genel olarak DGD'ya doğru eğim kazanmıştır. Ancak her iki düzlem setini dikkate aldığımızda, Adilcevaz Kireçtaşı biriminin güneye dalımlı bir antiklinal yapısı sergilediği görülmektedir.

Tabaka doğrultu verileri ile yapılan gül diyagramında da yaklaşık K-G doğrultu tabakalanmanın baskın olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.39). Adilcevaz Kireçtaşı biriminde tabaka eğimleri genellikle 35^0 nin altındadır. Eğim derecesinin 45 ve üzerine çıktığı sadece 5 lokasyon

bulunmaktadır ve en fazla eğim derecesi 205/57 eğimyönü/eğim değerine sahip tabakaya aittir. Bu anlamda dikleşen tabakaların olduğu kesimler daha çok fay düzlemlerine yakın olan lokasyonlardır ve doğrudan bu fayların hareketinden etkilendiği şeklinde yorumlanmıştır.



Şekil 4.38. Adilcevaz Kireçtaşı birimine ait tabaka değerlerinin stereografik projeksiyonu, kontür diyagramı ve ana düzlemler.



Şekil 4.39. Adilcevaz Kireçtaşı birimine ait tabaka doğrultu gül diyagramı.

4.2.1.3. Kurtdeliği Formasyonu

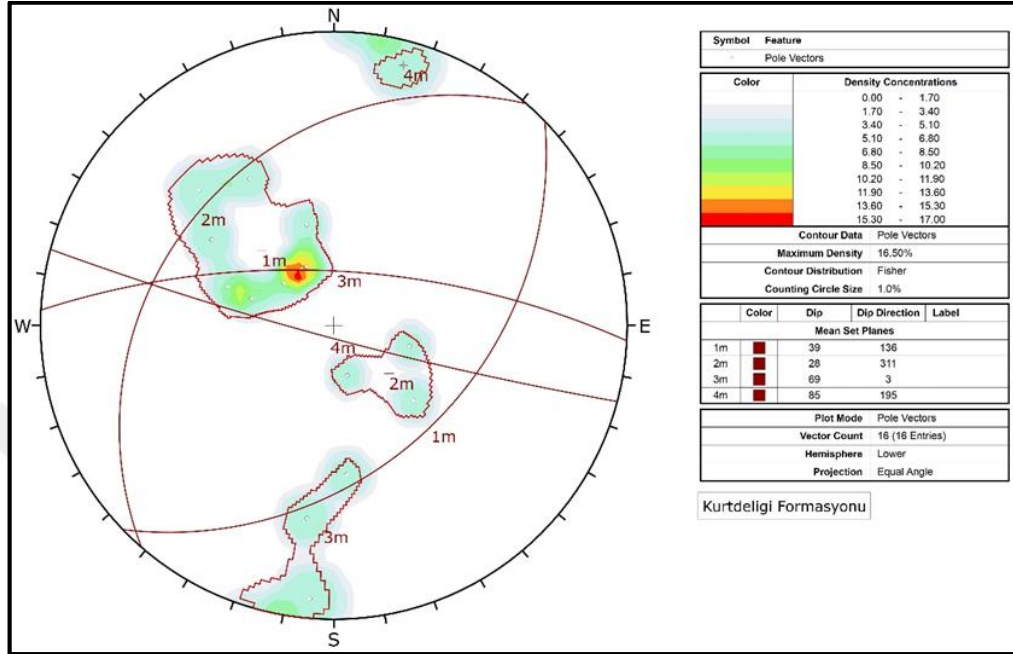
Yaşı Üst Miyosen (Acarlar ve diğ. 1991) olan bu formasyon inceleme alanının güneyinde yaygınca gözlenmektedir. Ağırlıklı olarak kaba kırıntılı, çimentolanmış kaya birimlerinden oluşmaktadır (Şekil 4.40). Tabaka kalınlıkları genellikle ince ve orta kalınlıktadır.



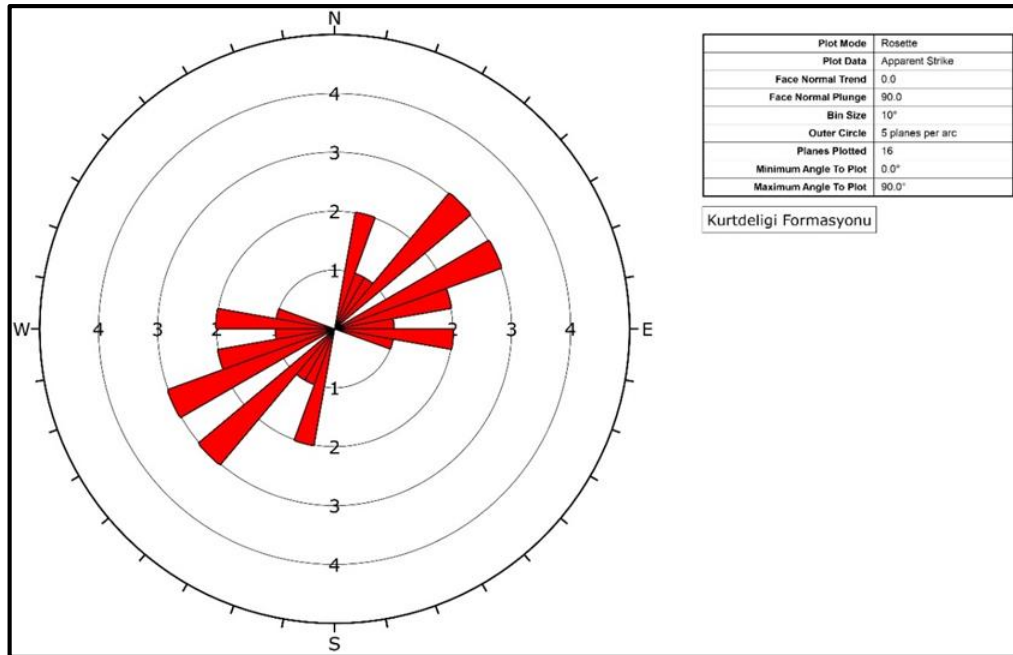
Şekil 4.40. Kurtdeliği Formasyonu'na ait ince - orta kalınlıktaki tabakalanma seviyeleri, Tutumlu Köyü civarı, bakış yönü GD.

Birim içerisinde toplam 16 lokasyonda tabakaların konumları ölçülmüştür. Tabakalara ait stereografik projeksiyonda iki ana doğrultunun farklı yönlerde eğimlenmiş düzlemleri belirlenmiştir. Bu nedenle kutuplaşan dört ana bölge için ayrı tabaka düzlemleri oluşturulmuş ve bu yönde değerlendirme yapılmıştır (Şekil 4.41). Bu düzlem setleri eğimyönü/eğim derecesi cinsinden sırasıyla 136/39, 311/28, 003/69 ve 195/85'tir. Tabaka düzlemlerinde baskın olan düzlem grubu birinci düzlem grubudur, yani kaya birimi genel olarak GD'ya doğru eğim kazanmıştır. Birimin bölgede yüzeylendiği kesimler aktif heyelan bölgelerinden kısmen uzaktır. Bu nedenle gelişen farklı yönlerdeki tabaka düzlemlerinin ana süreksizlikler ve etkin stres yönleri ile ilişkisi Van Formasyonu birimlerine oranla daha fazladır. Bu nedenle 3 ve 4 nolu dikleşmiş tabakalanmanın şekillenmesini sağlayan yaklaşık K10-20D yönündeki etkin kuvvet ve de KB-GD yönlü eğimlenmenin (bu yönde tabakalar $30^0 - 40^0$ civarındadır) varlığı neotektonik dönem için belirgin veri kaynağıdır.

Tabaka düzlemleri için aynı zaman doğrultu gül diyagramı da hazırlanmış olup Şekil 4.42’de sunulmuştur. Baskın doğrultu yönlerini gül diyagramından da takip etmek mümkündür.



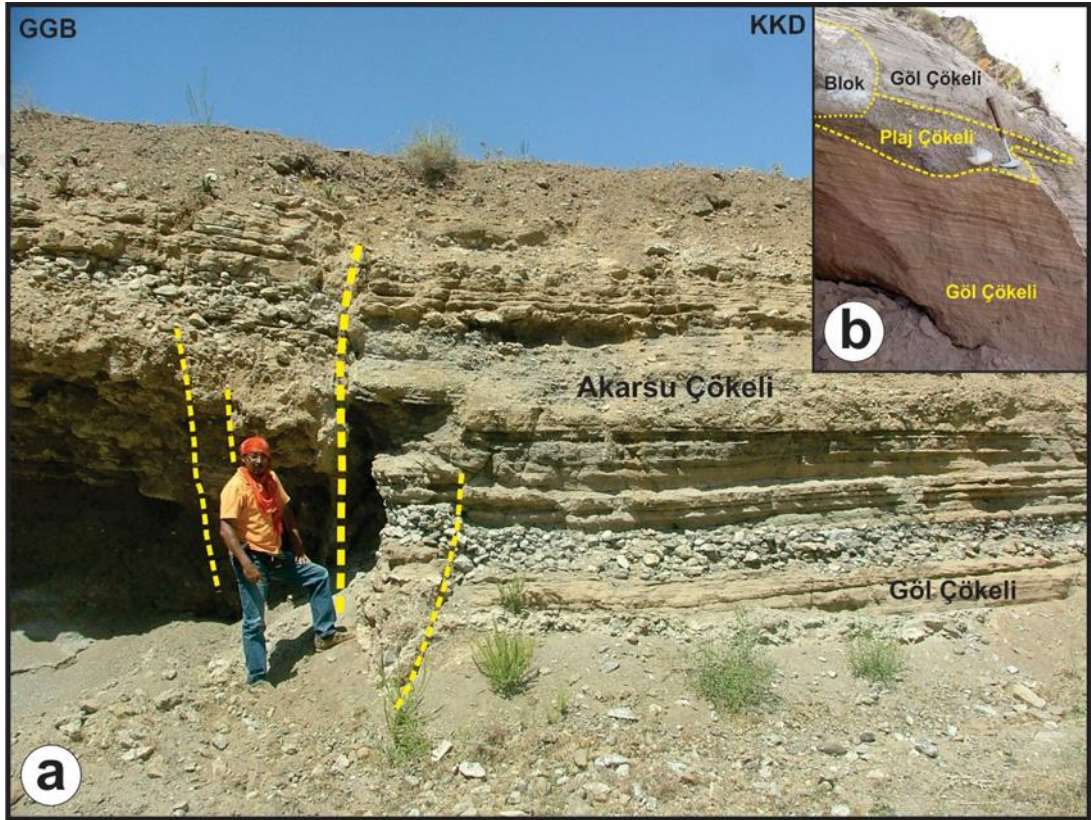
Şekil 4.41. Kurtdeliği Formasyonu’na ait tabaka değerlerinin stereografik projeksiyonu, kontür diyagramı ve ana düzlemler.



Şekil 4.42. Kurtdeliği Formasyonu’na ait tabaka doğrultu gül diyagramı.

4.2.1.4. Eski Göl ve Akarsu Çökelleri

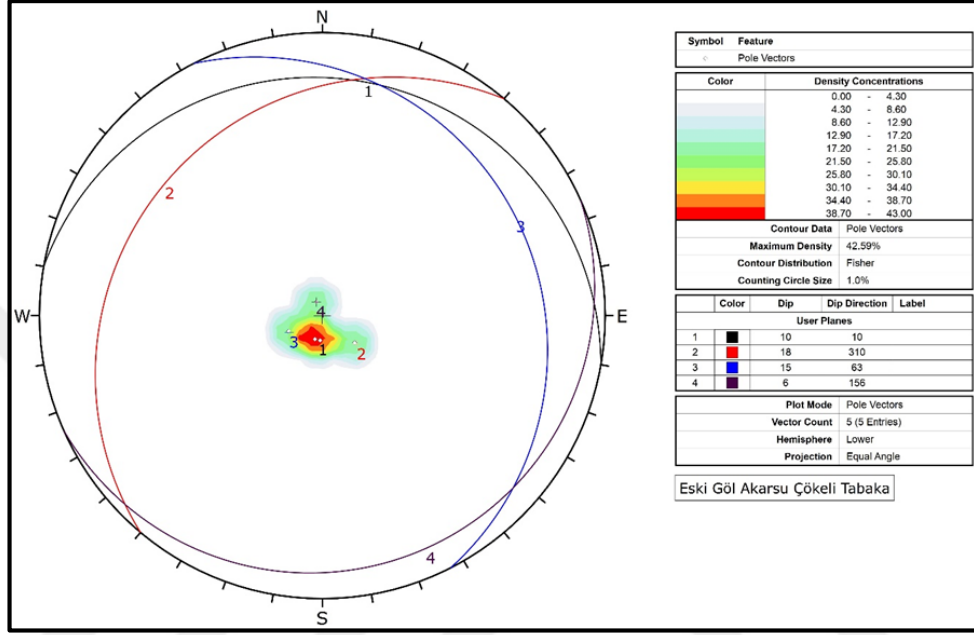
Bu birimler Van Gölü Havzası içerisinde ve özellikle inceleme alanının kuzey kesimlerinde göle yakın kesimlerde yüzeylemektedir. Genellikle yatay tabakalanma gösteren birimler farklı tane boylarındaki kırıntılı malzemenin yarı çimentolanmış veya çimentolanmış tabakaları halinde, ardalanmalı olarak yüzlek vermektedir (Şekil 4.43). Göl çökelleri genellikle çok ince – ince tabakalanma göstermektedir.



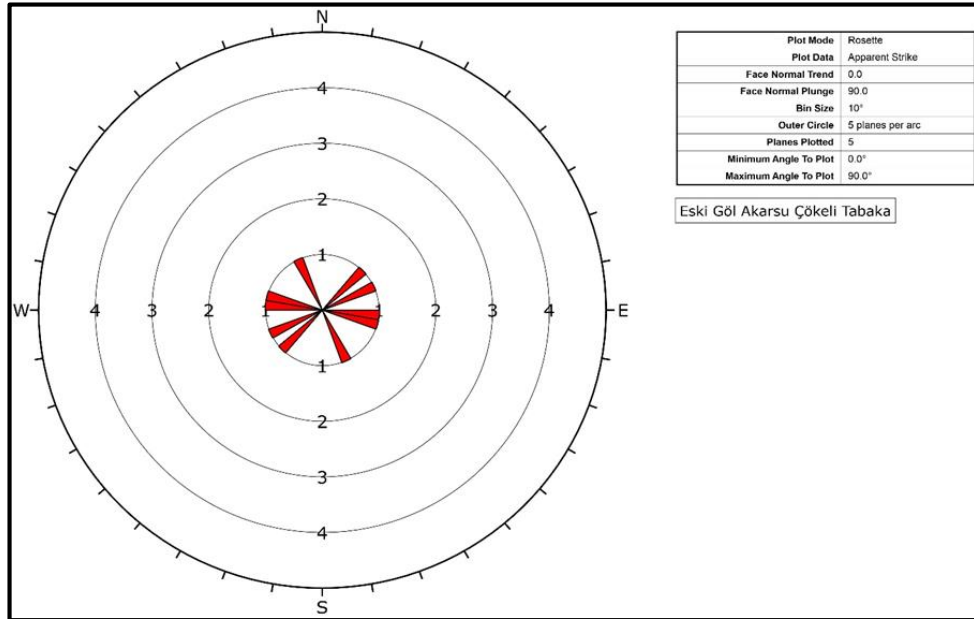
Şekil 4.43. Eski akarsu ve göl çökelleri ardalanması, a) Erciș Yolu üzeri Karahan Köyü ilerisi, göl ve akarsu çökelleri ardalanması, Erciș Fayı (sarı renkli kesikli çizgiler), b) lamine göl çökeli ve volkanik kökenli blok içeren plaj çökeli ardalanması, Timar Köyü batısı.

Geç Pleyistosen – Holosen dönemi çökelleri olan bu kırıntılı birimlerde tabakalar genellikle yatay konumda olduğundan pek az yüzlekte doğrultu eğim ölçümü yapılabilmektedir. Bu yüzleklerin hepsi inceleme alanının kuzey kesimlerinde bulunmaktadır. İki ana lokasyon nispeten genç (Holosen dönemi) fay düzlemleri içeren bölge içerisinde kalmaktadır. Toplamda 5 adet düzlemin stereografik projeksiyonu yapılmış ve kontür diyagramı hazırlanmıştır. Bu analizde düzlemlerden ikisi birbirine oldukça yakın konumda bulunmaktadır. Düzlemler sırasıyla 010/10, 310/18, 063/15 ve 156/06 eğim yönü/eğim değerlerine sahiptir (Şekil 4.44).

Görüldüğü üzere düzlemlerden biri hariç hepsi kuzey yönlerine doğru eğim kazanmıştır. Birbirine çok yakın lokasyonlarda ölçülmüş farklı doğrultudaki tabakalar, kıvrımlar bölümünde ayrıca değerlendirilecektir. Tabaka doğrultu gül diyagramında ise üç temel doğrultu boyunca yönelim takip edilmektedir (Şekil 4.45).

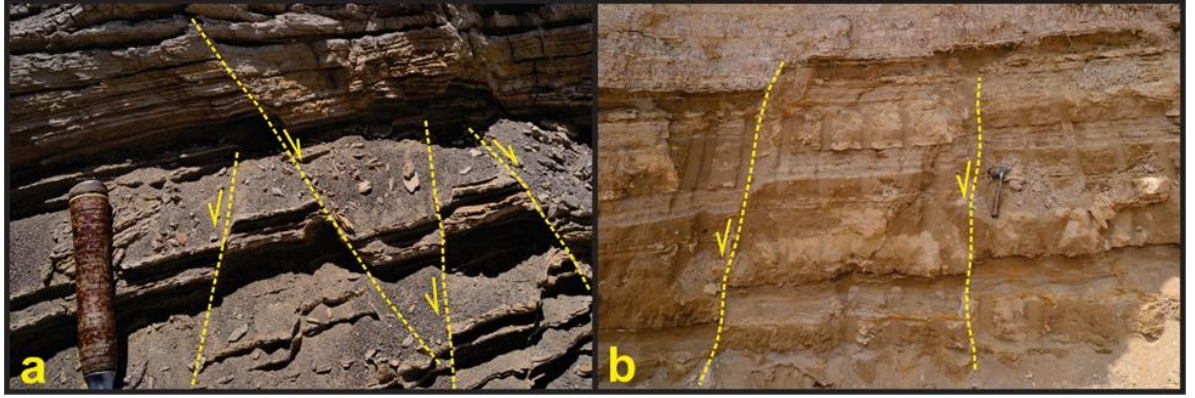


Şekil 4.44. Eski göl ve akarsu çökellerine ait tabaka değerlerinin stereografik projeksiyonu, kontür diyagramı ve ana düzlemler.



Şekil 4.45. Eski göl akarsu çökellerine ait tabaka doğrultu gül diyagramı.

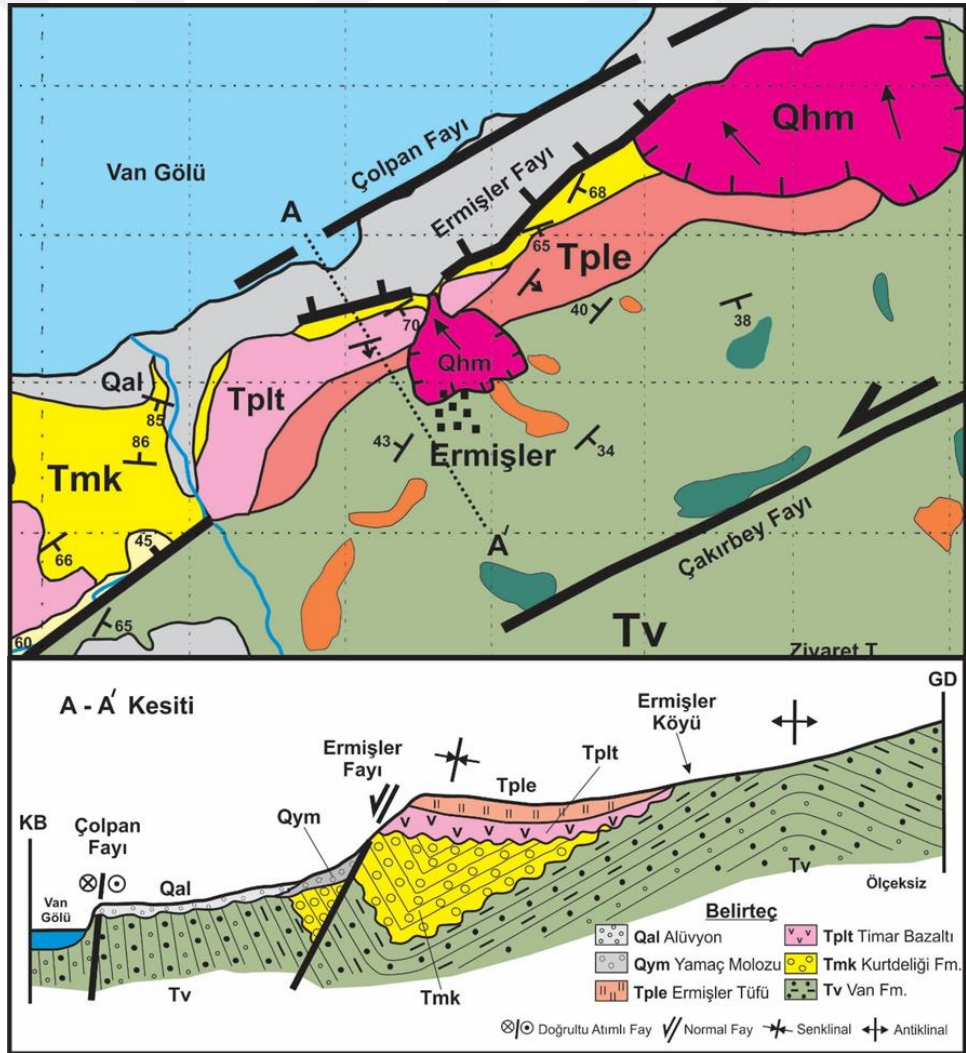
İnceleme alanının kuzeyinde yeralan bu genç çökellerdeki tabakalanmanın bölgedeki hâkim etki kuvvetlerinden fazla etkilenmediği gözlenmektedir. Yani bir başka deyişle K yönlerinden etki eden sıkışma nedeniyle tiltlenmenin (eğimlenme), Geç Pleyistosen – Holosen dönemine ait eski göl ve akarsu çökelleri üzerinde etkili olmadığı görülmektedir. Bu tersi anlamda çekme gerilmelerinin etkin olabileceği ve çok daha düşük eğimler ile vadi tabanlarına doğru, havza içlerine doğru tiltlenmenin etkin olabileceğini ve bu hareketlerin de hızlarının oldukça yavaş olduğu anlamına gelebilmektedir. Zira bu çökeller içerisinde çok fazla normal ve düşey fay karakterinde süreksizliklerin varlığı sözkonusudur (Şekil 4.46). Faylar bölümünde bu duruma tekrar değinilecektir.



Şekil 4.46. Çok ince tabakalı – laminalı eski göl çökelleri içerisinde gözlenen küçük ölçekli normal ve düşey faylar, a) Erciş Şeker Fabrikası karşısı, mikro ölçekli horst-graben yapıları, b) Haydarbey Köyü batısı, Erciş.

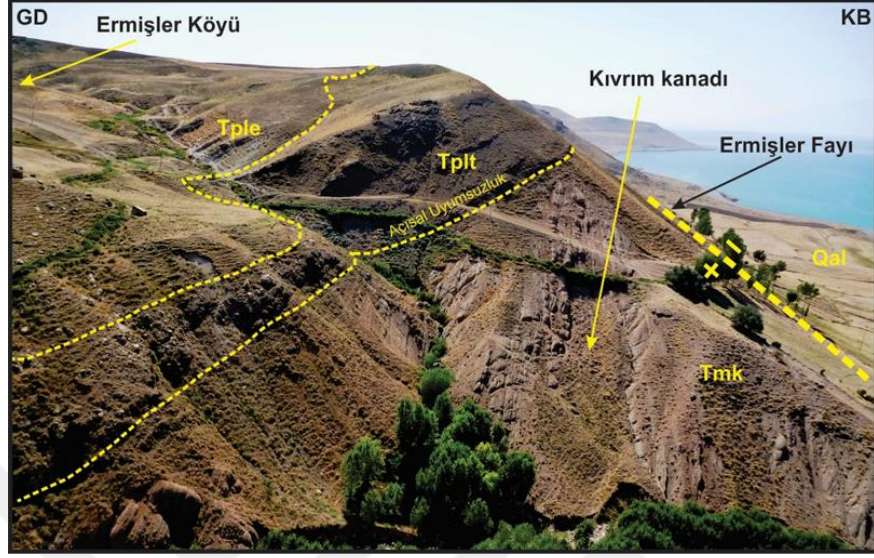
4.2.2. KIVRIMLAR

İnceleme alanı içerisinde Van Formasyonu genellikle güneydoğu yönünde eğim kazanmıştır. Daha güney kesimlerde, çalışma alanı dışında ise eğim yönü yine KB'ya doğrudur. Bölgesel stres rejiminin etkileri Van Formasyonuna ait birimlerin kıvrımlı yapısında kendini göstermektedir. Çalışma alanı dâhilinde en belirgin kıvrımlı yapı Ermişler Köyü civarında gözlenmektedir. Ermişler Köyü kuzeybatısından, Van Gölü sahilinden başlayacak şekilde yüksek açılı ile GD yönünde eğimli tabakalar Ermişler Fayı sarplığından güneyde aynı eğimle bir miktar devam edip köyün bulunduğu kesimde terslenmekte yani kuzeybatı yönüne eğimlenip bir senklinal yapısı oluşturmakta, sonrasında tekrar bir antklinal yapısı ile GD'ya doğru eğimlenmektedir (Şekil 4.47).



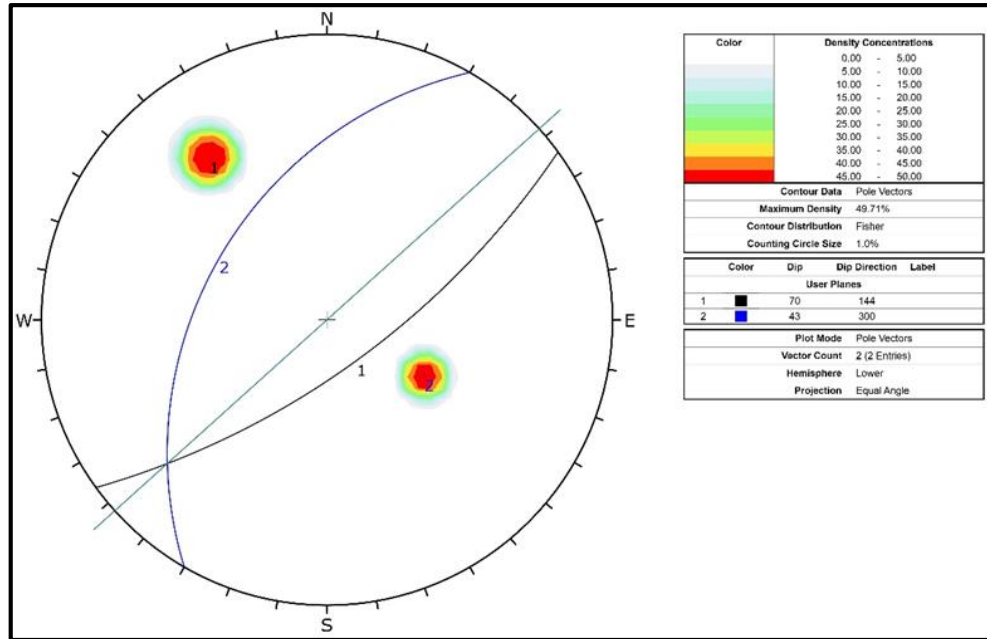
Şekil 4.47. Ermişler Köyü civarının jeolojisi ve kıvrım yapılarını gösteren enine kesit.

Kesitin KB yönünde kalan senklinal asimetrik özellikte olup KB kanadı 60^0 - 70^0 ile yüksek açılıdır (Şekil 4.48). Kıvrımın diğer kanadı ise yaklaşık 43^0 ile KB ya doğru eğimlidir.



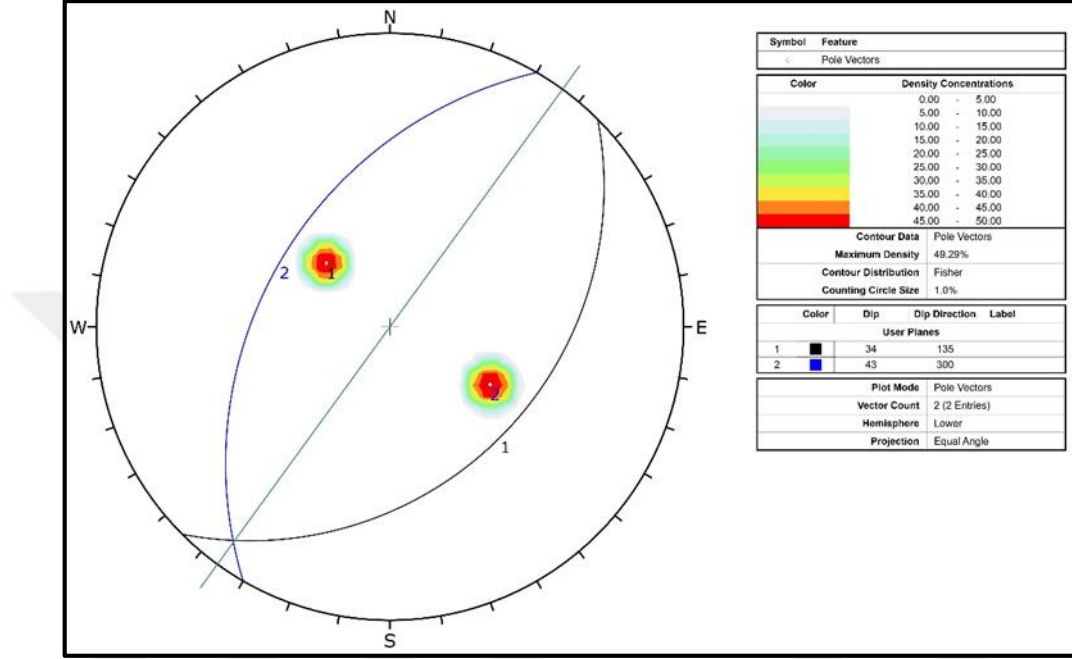
Şekil 4.48. Asimetrik senklinal yapısının KB kanadı ve bölgedeki birimler, bakış yönü GB.

Bu asimetrik senklinalın stereografik projeksiyon yöntemi ile yapılan analizinde kıvrım ekseninin gidiş ve dalım değerleri 228/15 olarak bulunmuştur (Şekil 4.49). Yani kıvrım, düşük açılı bir dalımla GB yönüne gidişlidir.



Şekil 4.49. Asimetrik kıvrım yapısının stereografik projeksiyonu ve kıvrım eksen.

Kesitin GD kesiminde kalan kıvrım ise senklinal yapısına oranla daha simetrik bir antiklinal yapısıdır. Kıvrım kanatları birbirine yaklaşık paralel doğrultudadır. Bu antiklinalin stereografik projeksiyon yöntemi ile yapılan analizinde kıvrım ekseninin gidiş ve dalım değerleri 216/05 olarak bulunmuştur (Şekil 4.50). Yani kıvrım, çok düşük açılı bir dalımla GB yönüne gidişlidir.

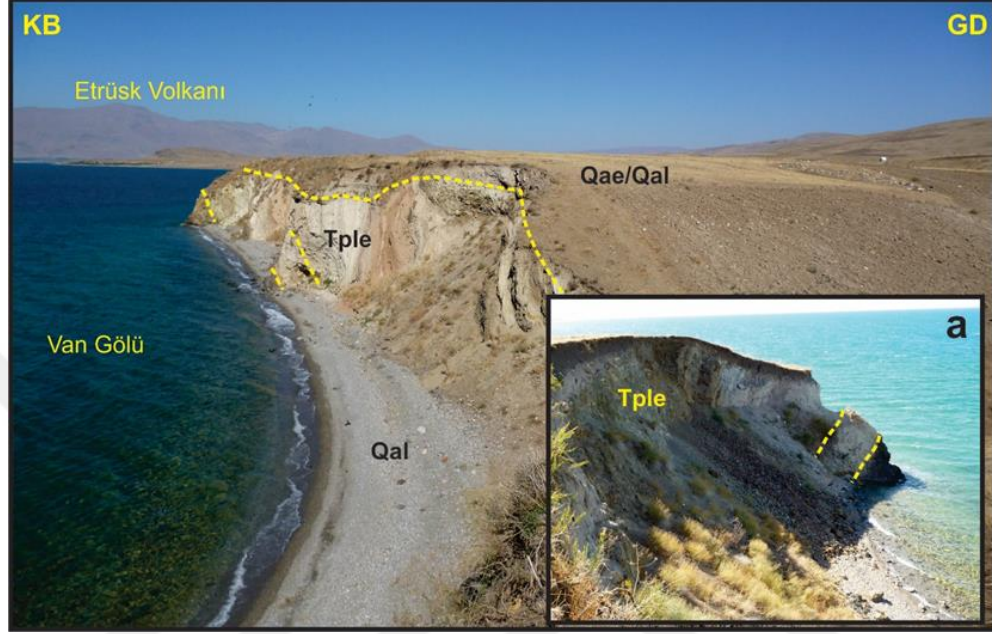


Şekil 4.50. Antiklinal yapısının stereografik projeksiyonu, kıvrım eksenini.

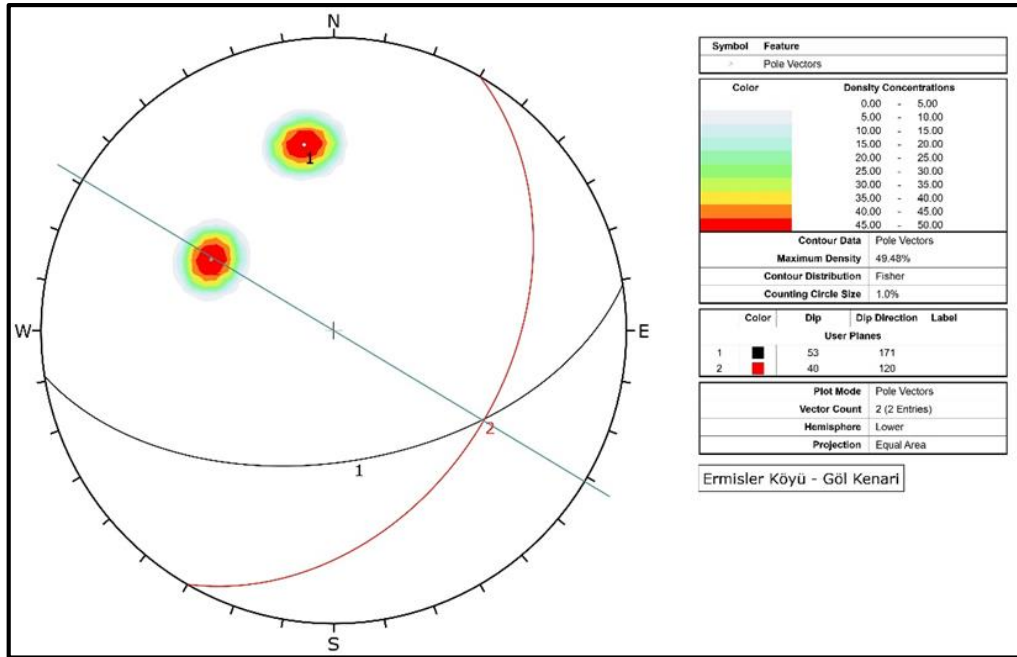
Genel olarak elde edilen kıvrım eksenlerinin gidişi bölgede hâkim olan sıkışmalı tektonik rejimin etkileriyle uyumludur. Bununla birlikte Van Formasyonuna ait birimlerin, yüksek kotlarda, Van Gölü'ne bakan kesiminde, eğim yönlerinin KB ya doğru olması bölgede büyük hacimlerde gözlenen kütle hareketlerinin nedenlerinden biri olarak da kendini göstermektedir. Antiklinal yapısının KB'ya bakan kanadı boyunca birimler kayma mukavemetini daha kolaylıkla yitirip, graviteye bağlı hareket etmiştir. Heyelanların büyük çoğunluğu Van Formasyonuna ait birimler içerisinde gözlenmektedir.

İnceleme alanı içerisinde bazı birimlerde tabaka doğrultularının yersel olarak açılı farkıyla dönerek çanağa benzer bir yapı oluşturduğu da gözlenmiştir. Bu yapılara en iyi örnek, inceleme alanı güneyinde Kuvaterner yaşlı eski göl ve akarsu çökellerinin altında, sahil falezlerinde yüzeylenen volkanosedimenter birimlerin içerisinde (Şekil 4.51). Birime ait tabakalarda yapılan ölçümlerde 171/53 ve 120/40 eğim yönü/eğim değerleri elde edilmiştir. Bu veriler doğrultusunda yapının stereografik projeksiyon yöntemi ile analizi yapılmış ve çanak yapısı

şeklindeki geometrinin ekseninin 121/39 gidiş ve dalım değerlerine sahip olduğu görülmüştür (Şekil 4.52). Yapının oluşumunda etken kuvvetler bölgedeki ana süreksizlik yapıları olan Çolpan ve Ermişler Fayları olmalıdır (EK-1).



Şekil 4.51. Ermişler Köyü kuzeyindeki falezde volkanosedimenter birimlerde gözlenen yapı, a) çanağa benzeyen yapının GB kesiminden görünüm.



Şekil 4.52. Yapının stereografik projeksiyonu ve eksen.

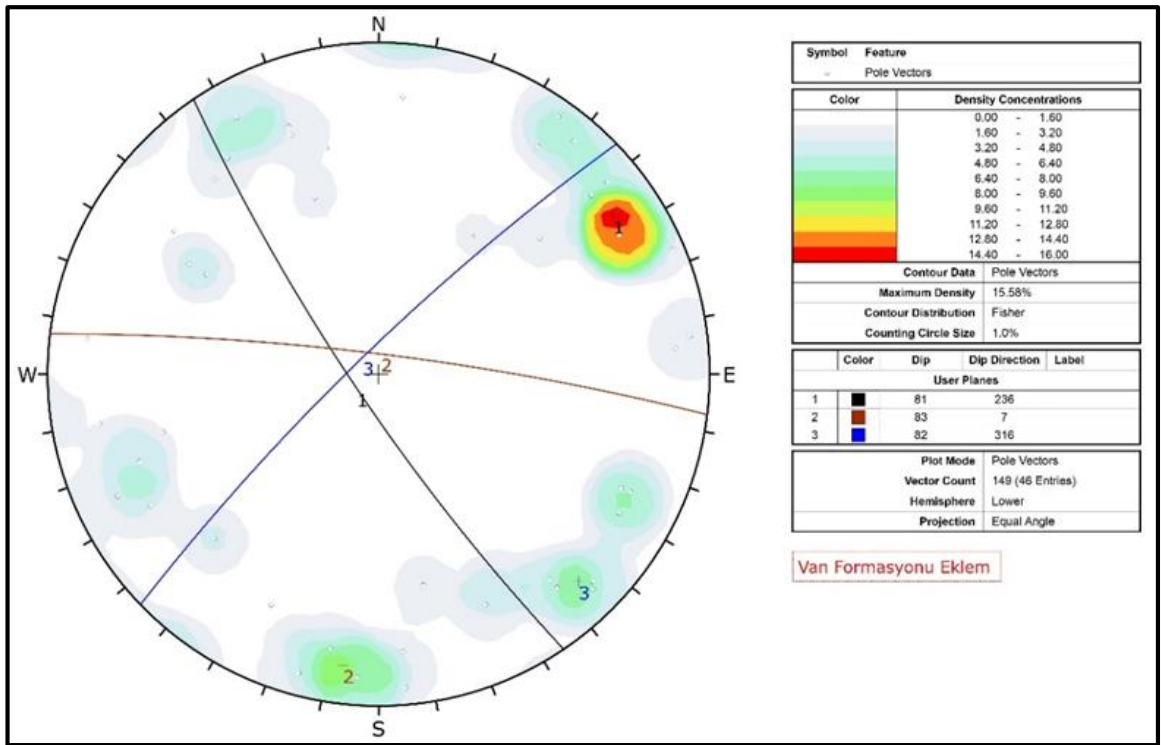
4.2.3. EKLEMLER

Çalışma alanı dâhilinde gözlenen birimler Üst Oligosen Alt Miyosen yaş aralığından itibaren oluşmuş kırıntılı ve karbonatlı çökeller ve geniş alanlarda yüzeyleyen, Erken Pliyosen'den itibaren yerleşen volkanik birimlerdir. Bütün bu birimlerin üzerinde ise Kuvaterner yaşlı karasal kırıntılılar yer almaktadır. Bölgedeki hâkim tektonik rejimlerin etkisi altında bu birimler içerisinde gelişen süreksizliklerin başında eklem setleri yer almaktadır. Bu kapsamda 190 farklı lokasyonda eklem ölçümleri yapılmış ve stereografik projeksiyon yöntemi ile baskın yönelimler ve buna bağlı stress yönleri belirlenmeye çalışılmıştır (EK-2).

Analizlerde lisanslı Rocscience Dips 8.0 yazılımı kullanılmıştır. Stereografik projeksiyon yönteminde alt yarıküre, Fisher abağı kullanılmış olup eşit açı dağılımına göre projeksiyon yapılmıştır. Eklem dağılımları aynı zamanda gül diyagramları ile de gösterilmiştir. Gül diyagramlarında kullanılan ölçülerde en düşük eğim açısı 45 derece olarak alınmıştır.

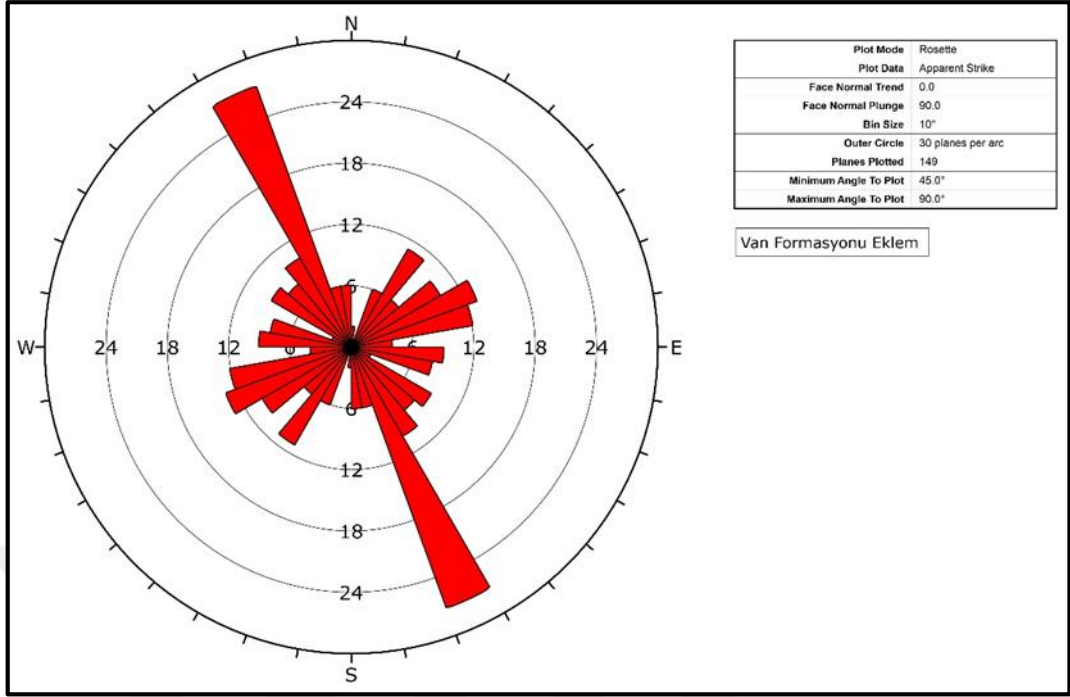
4.2.3.1. Van Formasyonu

Van Formasyonu genel olarak kırıntılı denizel çökellerden oluşmaktadır. Formasyon ağırlıklı olarak kumtaşı – silttaşı ve çakıtaşı birimlerinin ardalanması şeklinde gözlenmektedir. Ancak birimin içerisinde Jura – Triyas yaşlı neritik karbonatlar, Üst Kretase yaşlı ultrabazik kayalar, Paleosen – Eosen yaşlı karbonatlar ve kırıntılılar, olistolitler halinde gözlenmektedir. Özellikle inceleme alanının doğu ve güneydoğu kesimlerinde bu olistolitler oldukça yaygındır. Eklem ölçümleri tüm kaya birimlerinde gerçekleştirilmiştir. Ancak, farklı yaş konaklarına sahip olistolitlerdeki tektonik etki ile matriks kaya grubunda gözlenen etki hem birlikte hem de ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Buna göre, Van Formasyonu içerisinde gözlenen tüm eklemlerin projeksiyonu Şekil 4.53'de verilmiştir.



Şekil 4.53. Van Formasyonu'nda gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı ve ana düzlemler.

Analiz, 46 lokasyondan alınan 149 ölçü ile yapılmıştır. Kontur diyagrama göre düzlem kutuplarının yoğunlaştığı 3 ana bölge ve buna bağlı ana düzlemler belirlenmiştir. Düzlemlerin eğimleri 80^0 nin üzerindedir. Bu haliyle sahada alınan ölçülerin bir bölümü aynı doğrultuyu temsil etmesine karşın tam aksi yönde kutuplaşma göstermektedir. Yapılan projeksiyona göre belirlenen ana düzlemler eğim yönü ve eğim derecesi cinsinden sırasıyla, 236/81, 007/83 ve 316/82 olarak belirlenmiştir. Bu düzlemler içerisinde en fazla yoğunluğa sahip olan 236/81 eklem düzlemidir. Bu durum gül diyagramında da gözlenmektedir (Şekil 4.54).

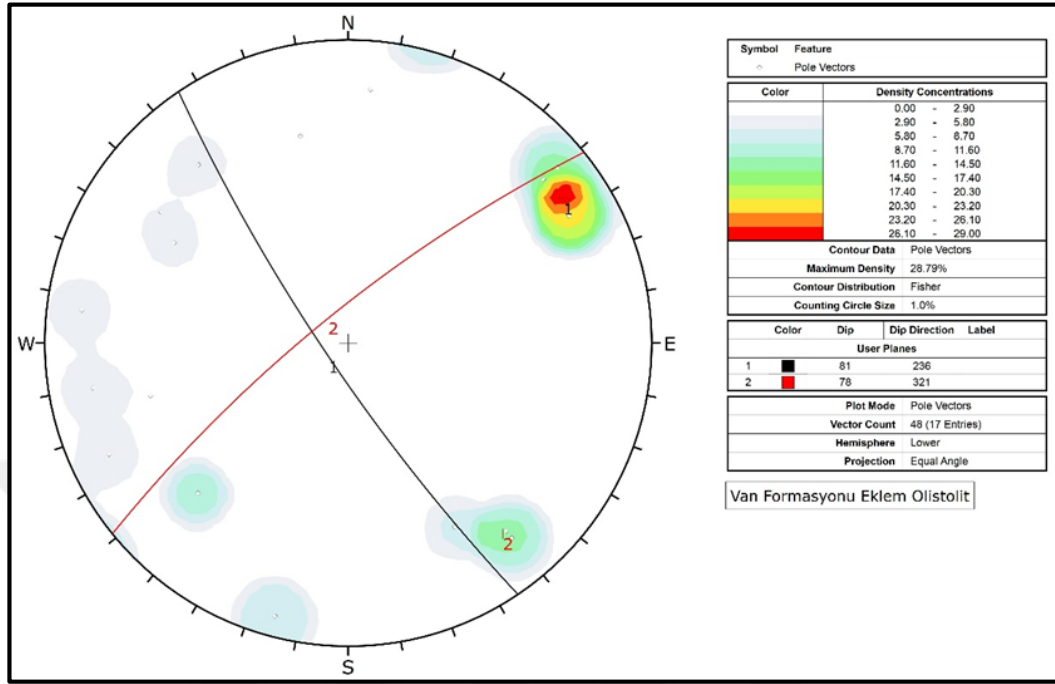


Şekil 4.54. Van Formasyonu'nda gözlenen eklem doğrultularına ait gül diyagramı.

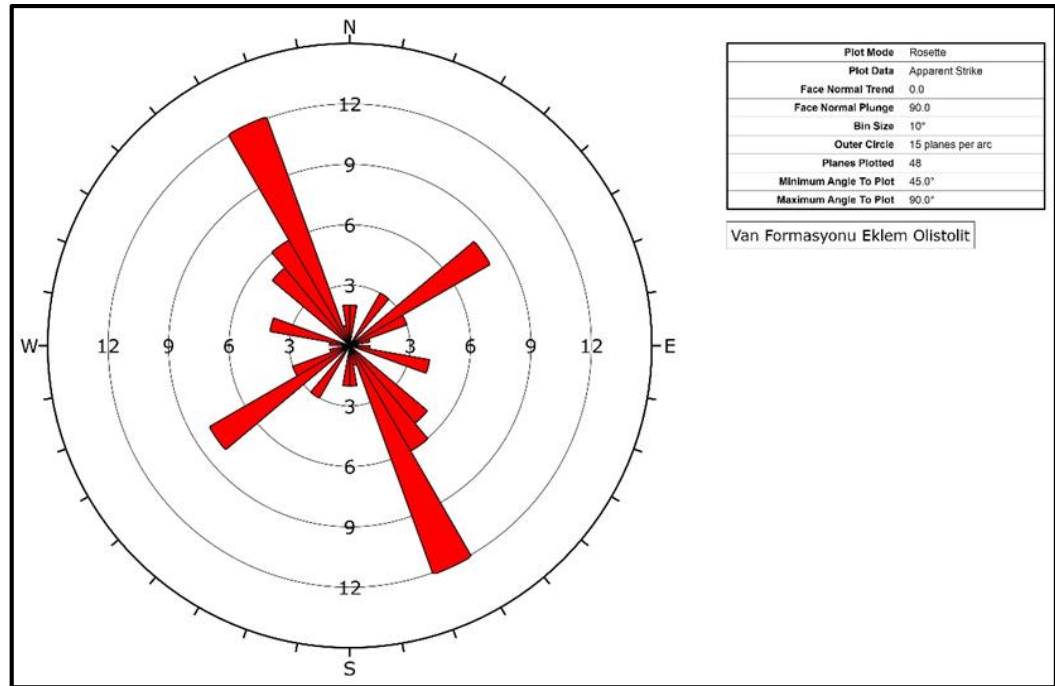
Baskın olarak gözlenen düzlemin doğrultusu yaklaşık olarak K30B, ikincil baskın düzlem ise K60-70D yönelimdedir. Bu haliyle eklem gelişiminde etkin olan genel sıkışma stres yönü yaklaşık K20D gibidir. Stereografik projeksiyonda belirlenen 2 nolu bölgedeki kutuplaşma, yani 007/83 yönelimli düzlem, gül diyagramında düzlem dağılımlarına ve gruplaşmalarına baktığımızda aslında belirgin değildir. Diyagramda, yoğunluğun - kümelenmenin 1 ve 3 nolu düzlemler civarında geliştiğini görmekteyiz.

Van Formasyonu içerisindeki olistolitlerde yapılan eklem ölçümlerinde ise benzer düzlemler elde edilmiştir (Şekil 4.55). Toplamda 17 lokasyondan alınan 48 ölçü ile yapılan analizde baskın olan düzlemler sırasıyla 236/81 ve 321/78 eğim yönü / eğim derecesi'ne sahiptir. Kutuplaşma yoğunluğu ise %28.79 luk bir değer ile ilk düzleme yani 236/81'e aittir.

Düzlem doğrultularından yapılan gül diyagramı ise Şekil 4.56'da sunulmuştur. Burada baskın olan düzlem yaklaşık K30B doğrultusunda oldukça belirgindir. İkinci düzlem ise yine yaklaşık K50D doğrultusunda bulunmaktadır. Bu yönelimler ile olistolitler üzerinde etkin olan genel sıkışma yönü yine yaklaşık K10-20D doğrultusu boyunca gelişmiştir.

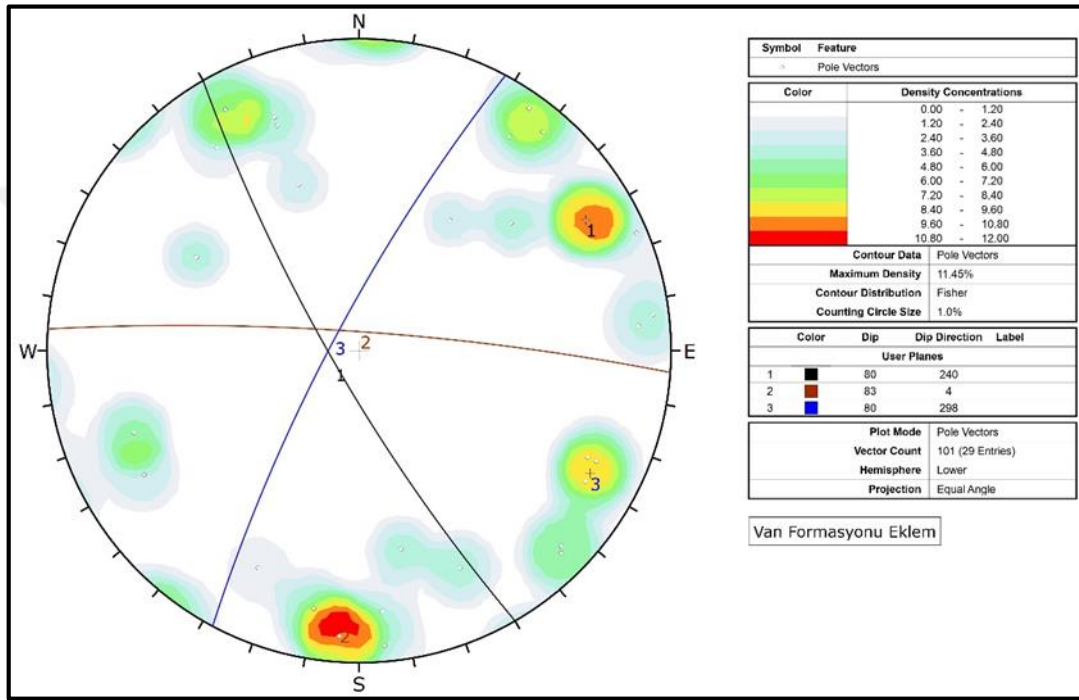


Şekil 4.55. Van Formasyonu içerisinde gözlenen olistolit birimi eklemlerine ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı ve ana düzlemler.

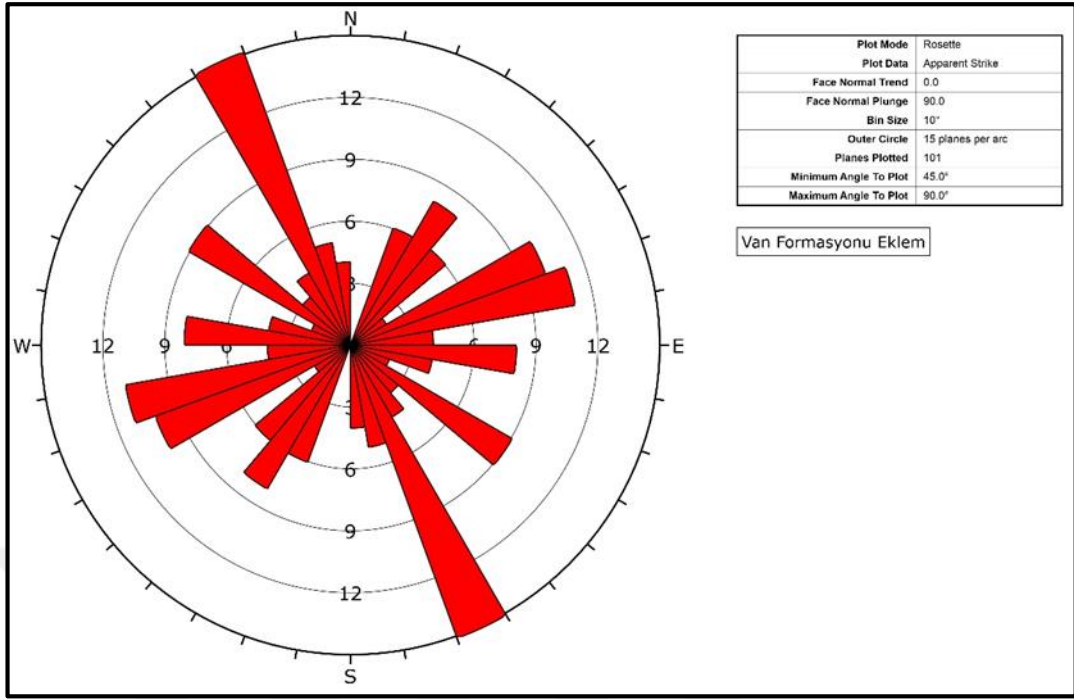


Şekil 4.56. Van Formasyonu içerisinde gözlenen olistolit birimlere ait eklemlerinin doğrultu gül diyagramı.

Van Formasyonu ana litolojik birimleri olan kumtaşı – çakıltası ve silttaşı birimleri içerisinde ölçülen eklem düzlem yönelimlerine ait stereografik projeksiyona göre yine üç ana düzlem etrafında kutuplaşma gözlenmiştir. Toplamda 29 lokasyonda yapılan 101 düzlem ölçümü ile yapılan analizlerde baskın olan düzlemler sırasıyla 240/80, 004/83 ve 298/80 eğim yönü/eğim derecesine sahiptir. Kutuplaşma yoğunluğu ise %11.45 luk bir değer ile ikinci düzleme yani 004/83’e aittir (Şekil 4.57). Eklem doğrultularına ait gül diyagramı Şekil 4.58’de sunulmuştur.



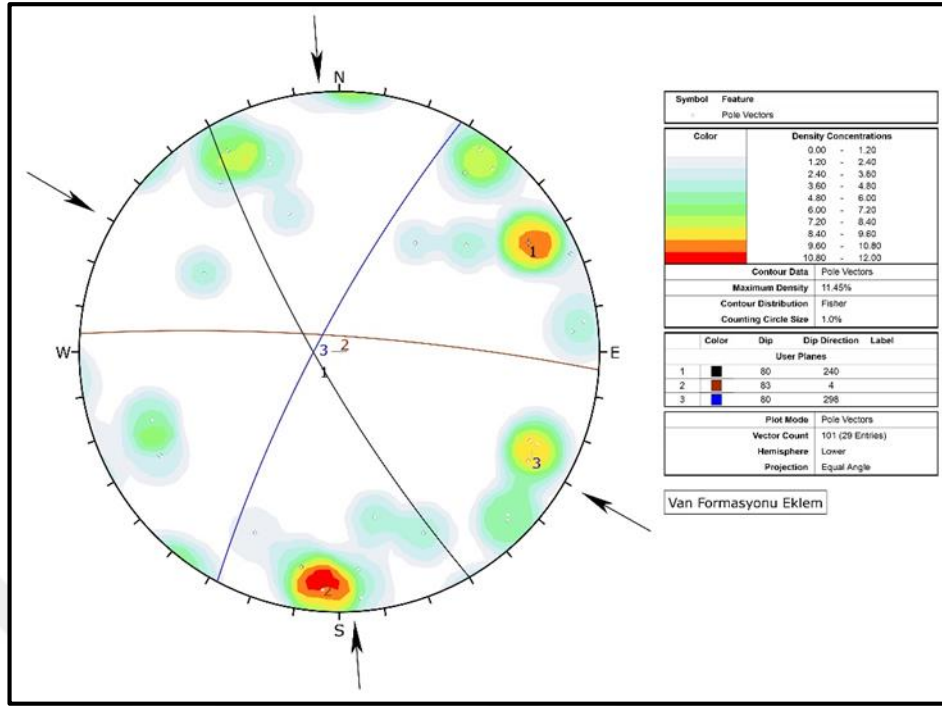
Şekil 4.57. Van Formasyonu kırıntılı kaya birimlerinde gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı ve ana düzlemler.



Şekil 4.58. Van Formasyonu kırıntılı kaya birimlerinde gözlenen eklemlere ait doğrultu gül diyagramı.

Bu veriler doğrultusunda bakıldığında, Van Formasyonu kaya birimlerinde Üst Oligosen Alt Miyosen yaş aralığı sırası ve sonrasında günümüze değin gelişen eklem takımları ana iki düzlem etrafında yoğunlaşmaktadır. Birim içerisinde gözlenen olistolitlerin allohton olduğunu ve ilksel konumlarını bölgesel tektonizma ile yitirdiğini düşünürsek olistolitler içerisinde gözlenen eklemlerin hem paleotektonik hem de neotektonik dönem izlerini taşıdığını görürüz. Ancak Van Formasyonu'nun kırıntılı birimlerinde gözlenen eklem takımlarından biri olistolitlerde de gözlenmektedir. Bu düzlem yukarıda verilen tüm analizlerde 1 nolu kutup bölgesinin olduğu, yaklaşık 236/81 eğim yönü / eğim derecesine sahip düzlemdir. Tüm analizlerde dikkat çeken bir diğer düzlem ise kırıntılı birimlerde baskın olan 004/83 yönelimli düzlemdir. Bu düzlem olistolit bloklarında gelişmemiş denecek kadar az sayıda ölçülmüştür. Bu haliyle bakıldığında ana birimlerin en ayırtman düzlemi bu düzlem olarak gözlenmektedir (Şekil 4.59).

Gelişmiş üç temel eklem takımı dikkate alındığında ve bunlardan 3 nolu alanda kutuplaşan düzlemlerin genellikle olistolitlerde baskın olduğu düşünüldüğünde Van Formasyonu için etkin sıkışma yönünün K60B doğrultusunda olduğu görülmektedir (Şekil 4.59). Bununla birlikte ikincil asal sıkışma yönü ise K05B yönündedir.



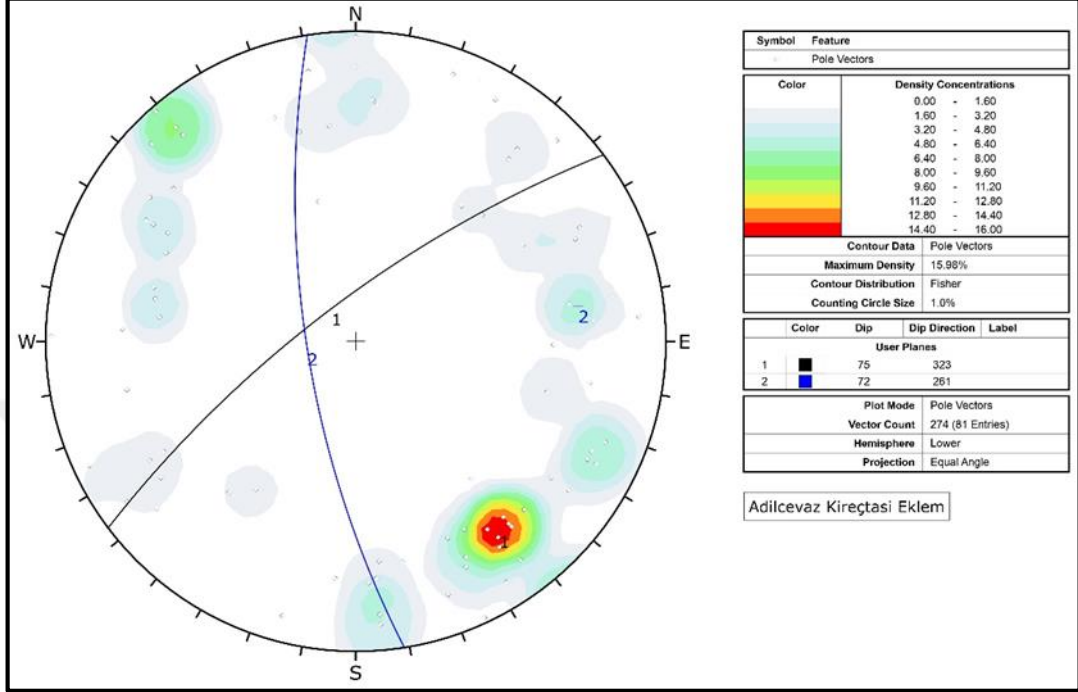
Şekil 4.59. Van Formasyonu kırıntılı kaya birimlerinde gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı, ana düzlemler ve etkin sıkışma yönleri (siyah oklar).

Van Formasyonu'nun yaş konağı ve günümüze kadar etkisi altında kaldığı tektonik süreçlerin geniş bir yaş aralığında olması nedeniyle elde edilen asal sıkışma yönlerinin diğer birimler ile ve karşılaştırılması, özellikle Kuvaterner yaşlı birimler ile birlikte değerlendirilmesi bölgenin Neotektonik evrimi açısından daha anlamlı olacaktır. Tüm eklemler takımları ve bunlarla birlikte fay düzlemleri birlikte değerlendirilerek genel stres yönelimleri bölüm sonunda ortaya konulacaktır.

4.2.3.2. Adilcevaz Kireçtaşı

Adilcevaz Kireçtaşı birimi inceleme alanının kuzeybatı kesiminde Erciş İlçesi'nde yüzeylenmektedir. Birimin yaşı fosil içeriğine göre Alt Miyosen – Burdigaliyen olarak tanımlanmıştır (Acarlar ve diğ. 1991). Her kireçtaşı biriminde olduğu gibi kaya birimleri oldukça gevrek bir yapıya sahip olduğundan bölgesel ve yerel deformasyonların izleri oldukça belirgin bir şekilde izlenebilmektedir. Kireçtaşı birimlerinin sertlik ve dayanımı düşük olması nedeniyle özellikle fay düzlemleri boyunca fay çizliği üretme potansiyeli yüksektir. Bu özellikleri nedeniyle Adilcevaz Kireçtaşı birimi sahada en fazla düzlem ölçüsünün alındığı

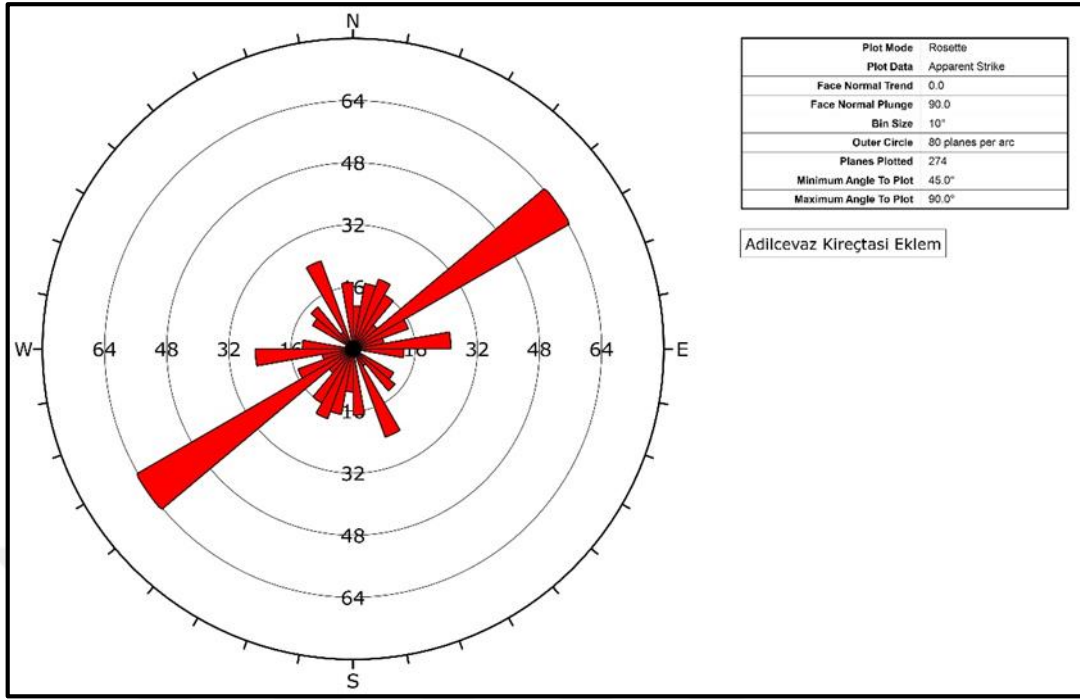
birim olmuştur. Toplamda 81 lokasyondan alınan 274 adet eklem ölçüsünün analizinde temel olarak iki baskın düzlem belirlenmiştir (Şekil 4.60).



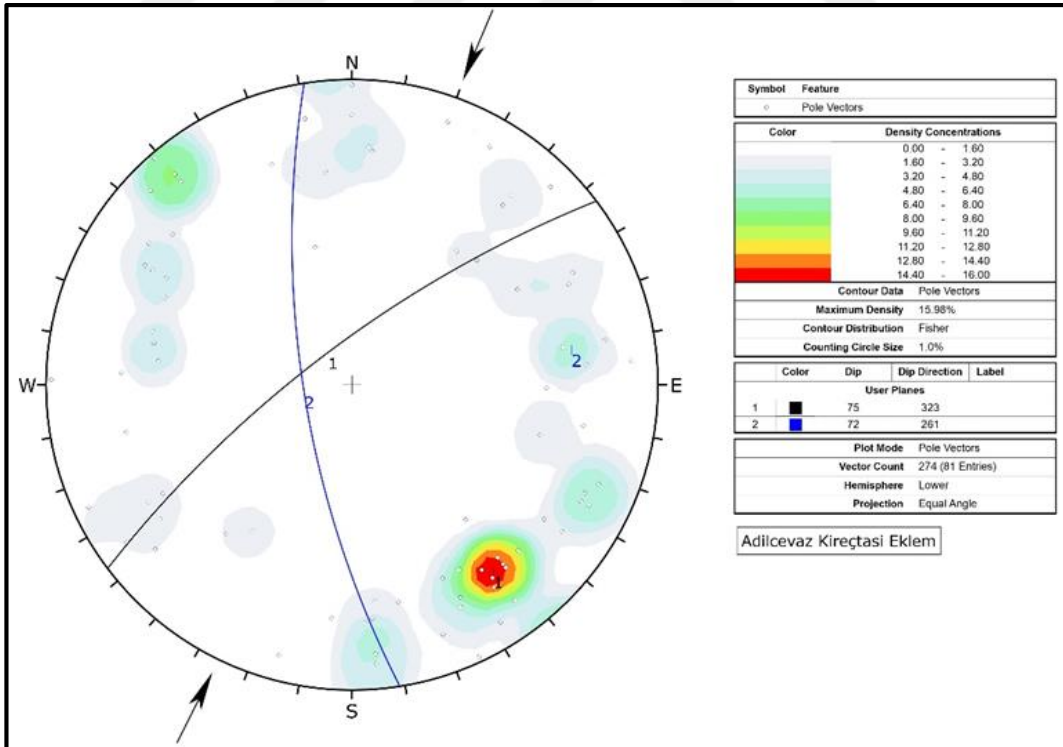
Şekil 4.60. Adilcevaz Kireçtaşı kaya birimlerinde gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı ve ana düzlemler.

Kireçtaşı biriminde eklemlerin kutuplarının yoğunlaştığı birinci bölge 323/75 eğimyönü/eğim düzlemini temsil etmekte, ikincil kutup yoğunluğu ise biraz da saçınımlı olarak 261/72 eğimyönü/eğim düzlemini temsil etmektedir. Birinci düzlemin yoğunluğu %15.98'dir (Şekil 4.60). Bunların dışında birçok farklı yönde gelişmiş eklemin saçılmış halde konumlandığı da yine analizlerde ve gül diyagramında görülmektedir.

Eklem doğrultu gül diyagramında baskın düzlem K60D doğrultulu düzlemdir. Bununla birlikte K20B doğrultulu düzlem ikincil olarak baskın düzlemdir (Şekil 4.61). Gül diyagramında da görüleceği üzere yaklaşık K10-30D doğrultu aralığında çok sayıda eklem düzlemi yer almaktadır. Aynı şekilde yaklaşık doğu-batı yönelimli düzlemler de ağırlıkça yer tutmaktadır. Belirlenen iki ana düzlemin yönelimine uygun etkin sıkışma yönü yaklaşık K20D olarak belirlenmiştir (Şekil 4.62). Adilcevaz Kireçtaşı birimi Paleotektonik dönemin birimi olmakla birlikte Neotektonik dönemde konum olarak Erciş Fay Zonu içerisinde yer almaktadır.



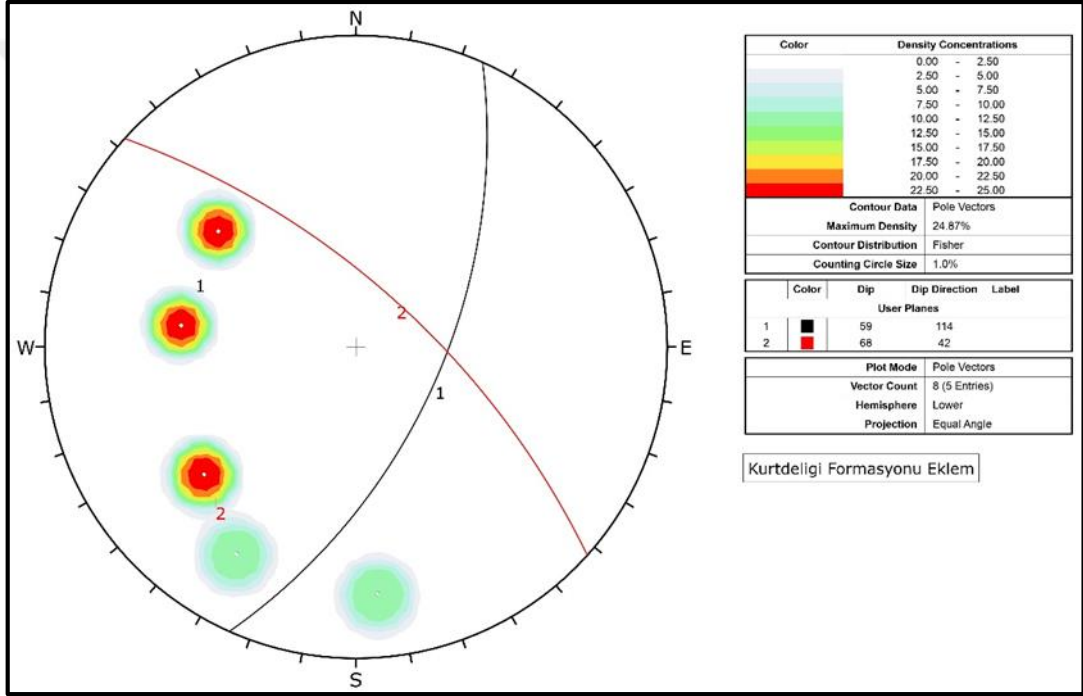
Şekil 4.61. Adilcevaz Kireçtaşı kaya birimlerinde gözlenen eklemlere ait doğrultu gül diyagramı.



Şekil 4.62. Adilcevaz Kireçtaşı kaya birimlerinde gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı, ana düzlemler ve etkin sıkışma yönleri (siyah oklar).

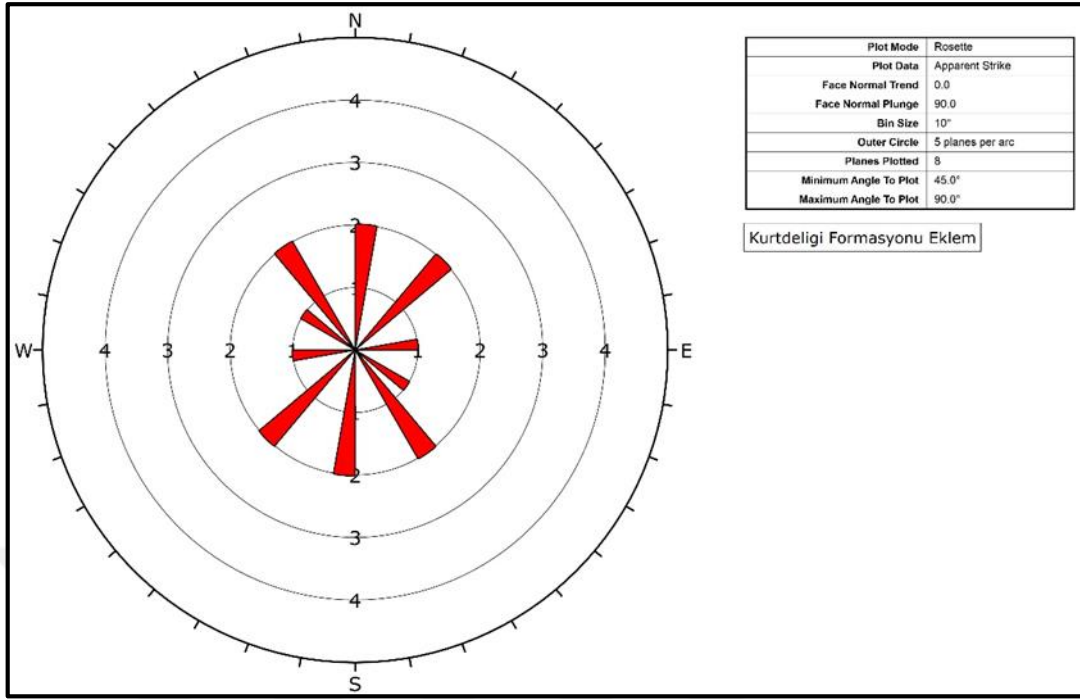
4.2.3.3. Kurtdeliği Formasyonu

Bu birimin yaşı Üst Miyosen'dir (Acarlar ve diğ. 1991). Ana litolojisi çakıltaşı ve kumtaşı arıalanmasıdır. Çakıltaşı seviyeleri kalın tabakalı ve polijeniktir yer yer az tutturulmuş özelliktedir. Birim inceleme alanının güney kesimlerinde dar bir alanda gözlenmektedir. Birim içerisinde toplam 5 lokasyonda 8 adet ölçüm yapılmış ve analiz edilmiştir (Şekil 4.63). Analiz için ölçü sayısı temsiliyet sağlamamaktadır. Ancak genel fikir vermesi açısından birimin tabaka düzlem verileri ile birlikte konumunu denetleyen etkin tektonik sistemin yönü ve eğilimi birlikte değerlendirilmiştir.

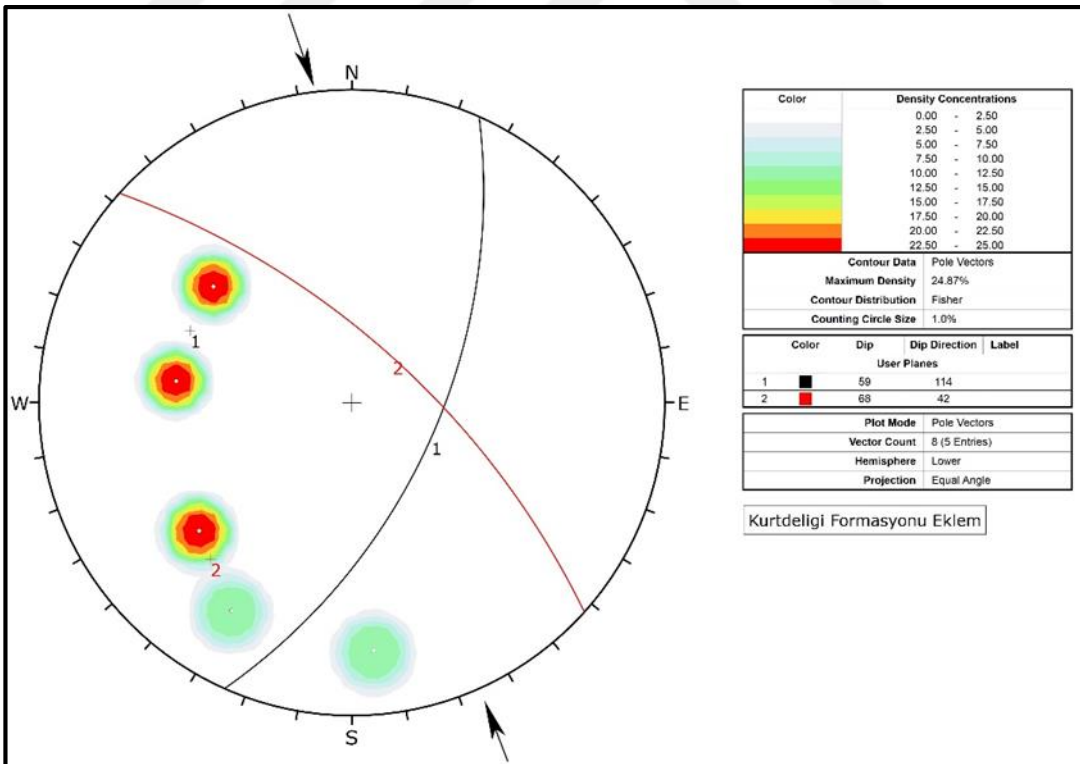


Şekil 4.63. Kurtdeliği Formasyonu kaya birimlerinde gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı ve ana düzlemler.

Analiz sonucunda belirlenen iki ana düzlemin yönelimleri eğim yönü/eğim cinsinden sırasıyla 114/59 ve 042/68 dir. Etkin düzlemlerin en yüksek yoğunluğu ise %24.87 olarak belirlenmiştir. Doğrultu verilerinden elde edilen gül diyagramında ise daha saçılmış bir görünüm bulunmaktadır (Şekil 4.64). Yukarıda da bahsi geçtiği gibi genel değerlendirme tabakaların eğim yönlerine, eğimlenme (tiltlenme) durumlarına bağlı olarak yapılacaktır. Ancak eldeki mevcut veriler ile ana düzlemlerin konumlarına göre etkin sıkışma yöneliminin yaklaşık K10B doğrultulu olduğunu söyleyebiliriz (Şekil 4.65).



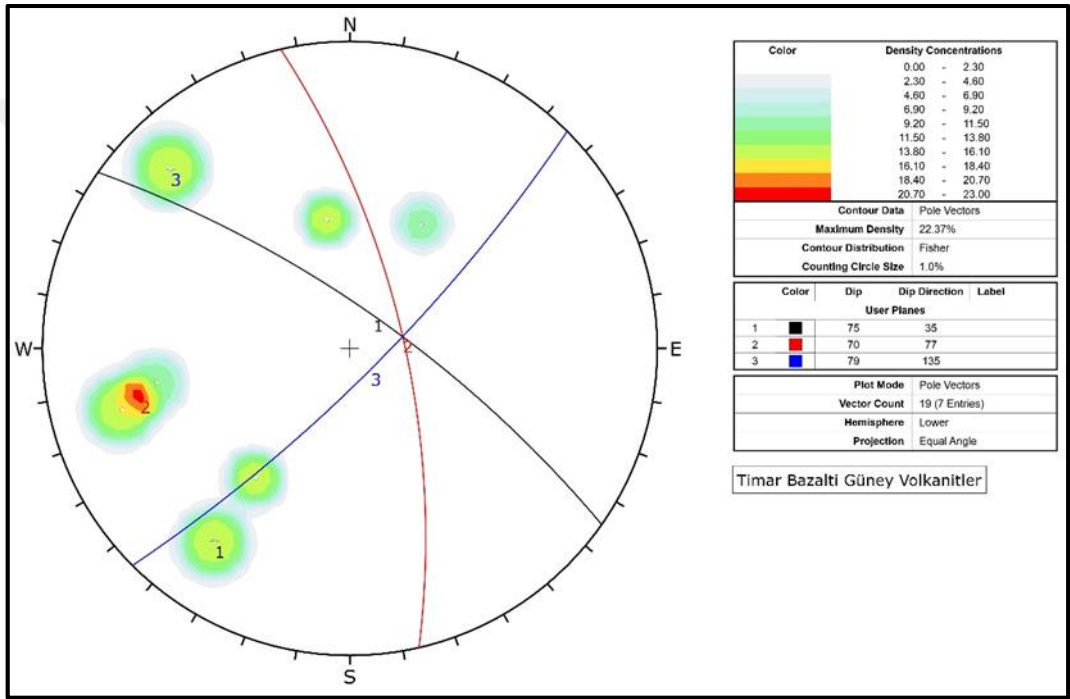
Şekil 4.64. Kurtdeliği Formasyonu kaya birimlerinde gözlenen eklemlere ait doğrultu gül diyagramı.



Şekil 4.65. Kurtdeliği Formasyonu kaya birimlerinde gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı, ana düzlemler ve etkin sıkışma yönleri (siyah oklar).

4.2.3.4. Timar Bazaltı – Güney Volkanitler

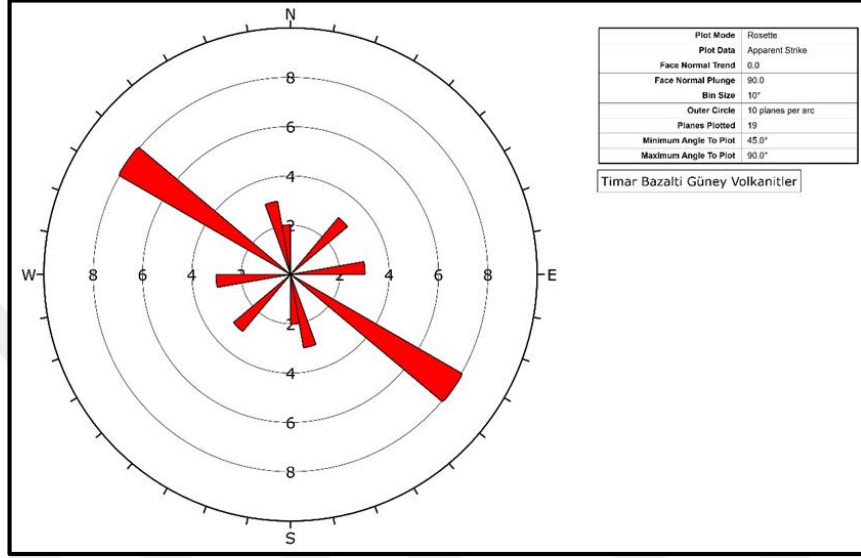
Bu birimler çalışma alanının güney ve güneydoğu kesimlerinde yüzeylenmektedir. Yaşı Alt Pliyosen olarak belirlenmiştir (Lebedev ve diğ. 2010 ve bu çalışma). Ağırlıklı olarak Bazalt birimlerinden oluşmakla birlikte yer yer ignimbritler de yüzeylenmektedir. Analizde kullanılmak üzere toplamda 7 lokasyondan 19 ölçü alınmıştır (Şekil 4.66). Birim içerisinde yoğun miktarda soğuma çatlakları ve akma gözlemlendiğinden bu veriler analize dâhil edilmemiştir.



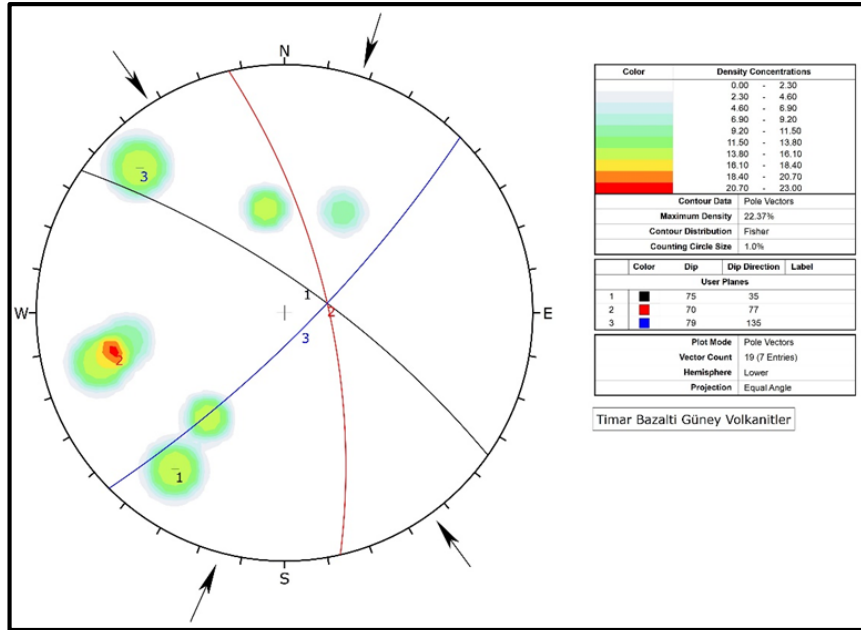
Şekil 4.66. Timar Bazaltı kaya birimlerinde gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı ve ana düzlemler.

Değerlendirme açısından eldeki ölçüm sayısı çok yeterli değildir. Ancak bölgede özellikle kuzey kesimlerde Etrüsk Volkanı'na ait Erken Pliyosen dönemi volkanik birimlerden alınan ölçümler ile birlikte bütüncül bir Erken Pliyosen ve sonrası değerlendirmesi yapmak olanaklıdır. Ancak bu haliyle de asal olarak üç ana düzlem boyunca eklemler yoğunlaşmıştır. Bunlar sırasıyla 035/75, 077/70 ve 135/79 eğim yönü/eğim değerlerine sahiptir. Bu düzlemlerden ikincisi en fazla yoğunluğa sahip olan düzlemdir. Bu yoğunluk %22.37 olarak belirlenmiştir.

Doğrultu gül diyagramında ise 1 nolu düzlem öne çıkmaktadır (Şekil 4.67). Bu düzlemi takiben nispeten daha yoğun olan düzlem grubu 2 nolu olandır. Bu haliyle bakıldığında ise bölgedeki etkin sıkışma yönü, bu iki ana düzlem temel alındığında yaklaşık K30B olarak belirlenebilir (Şekil 4.68). Diğer 3 nolu düzlem dikkate alınır ise, en yoğun olan ikinci düzlem ile birlikte değerlendirildiğinde etkin sıkışma yönü yaklaşık K20D gibi belirlenebilir.



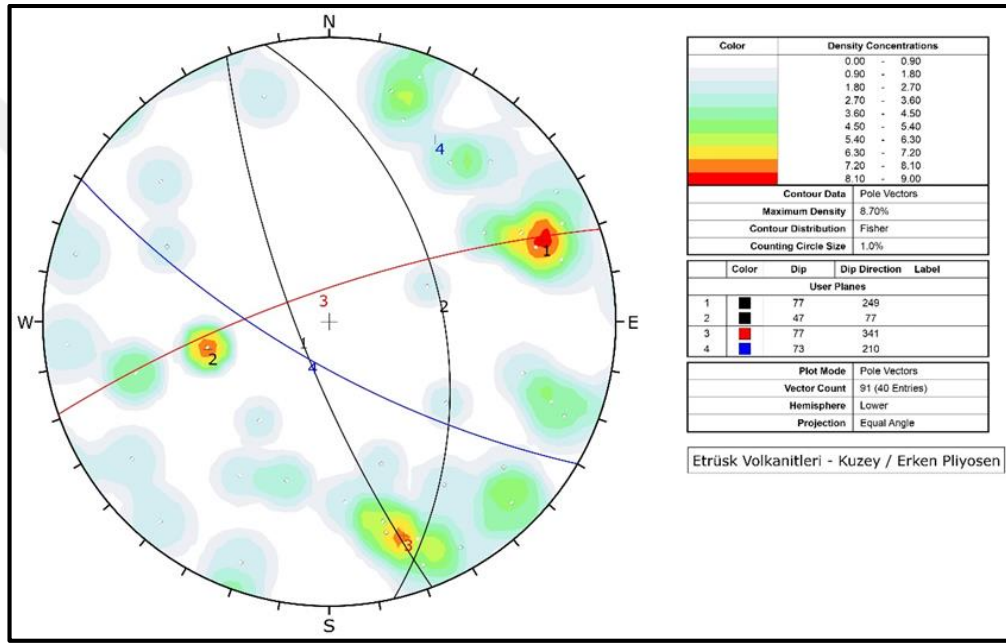
Şekil 4.67. Timar Bazalt biriminde gözlenen eklemlere ait doğrultu gül diyagramı.



Şekil 4.68. Timar Bazalt biriminde gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı, ana düzlemler ve etkin sıkışma yönleri (siyah oklar).

4.2.3.5. Etrüsk Volkanitleri – Erken Pliyosen

Çalışma alanının çoğunlukla kuzey kesiminde bulunan Etrüsk Volkanı'na ait başlıca Trakit ve Trakiandezit birimlerinden oluşmaktadır. Birimlerin oluşma yaşı Erken Pliyosen dönemine aittir (Lebedev ve diğ. 2010). Birimler geniş bir alanda gözlenmektedir. Kuzey kesimlerdeki bu birimler ağırlıklı olarak Erciş Fay Zonu içerisinde yer almaktadır. Bölge genelinde toplamda 40 lokasyondan 91 adet ölçü alınmış ve analiz edilmiştir (Şekil 4.69). Birim içerisinde gözlenen soğuma çatlakları ve akma düzlemleri analize dâhil edilmemiştir.

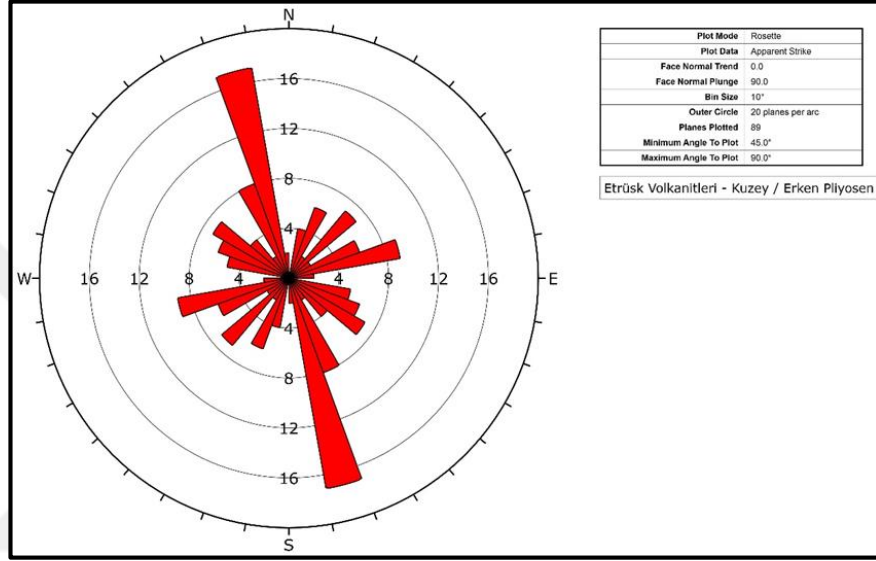


Şekil 4.69. Etrüsk Volkanitlerinde gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı ve ana düzlemler.

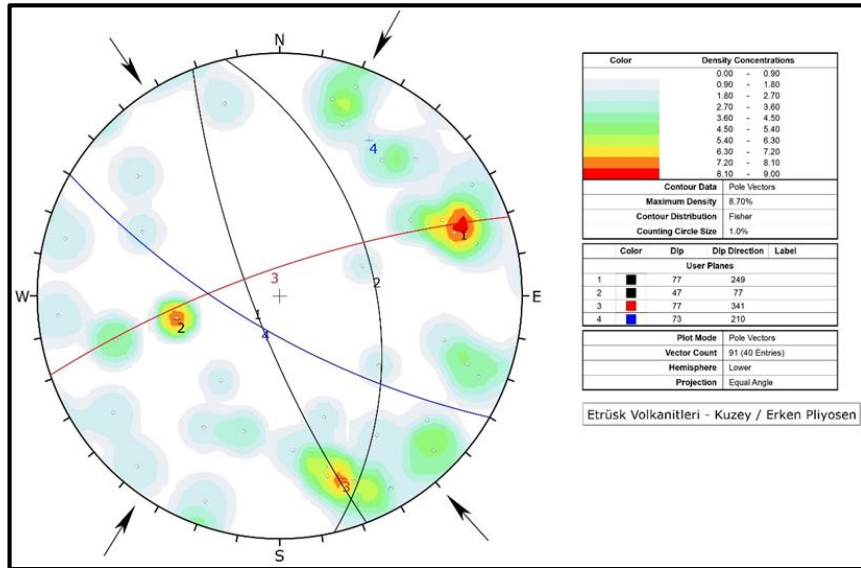
Analiz sonucunda 4 temel bölgede düzlem kutuplarının yoğunlaştığını görmekteyiz. Bunlar sırasıyla 249/77, 077/47, 341/77 ve 210/73 eğim yönü/eğim değerlerine sahiptir. Ölçülen ilk iki düzlem yaklaşık aynı doğrultuda olup eğim değerleri farklıdır. Bu nedenle değerlendirmede bu iki yönelim birbirinin eşleniği olacak şekilde tek bir düzlemmiş gibi değerlendirilmiştir. Stereografik projeksiyondan da görüleceği üzere dağınık şekilde birçok tali düzlem de bulunmaktadır. Bunların bir bölümü eğim yönü farklılıkları nedeniyle ters yönde kutuplaşmış olan düzlemlerdir.

Doğrultu gül diyagramında ise 1 nolu düzlem daha baskın olarak gözlenmektedir (Şekil 4.70). Bu düzlemi takiben nispeten daha yoğun olan düzlem grubu 4 nolu olandır. Bu haliyle

bakıldığında ise bölgedeki etkin sıkışma yönü, bu iki ana düzlem temel alındığında yaklaşık K35B olarak belirlenebilir (Şekil 4.71). Diğer 3 nolu düzlem dikkate alınır ise, en yoğun olan birinci düzlem ile birlikte değerlendirildiğinde etkin sıkışma yönü yaklaşık K20D gibi belirlenebilir. Bu haliyle sahanın güney kesimlerinde gözlenen aynı yaş konağından günümüze neotektonik dönemin etkilerine maruz kalan Timar Bazalt birimi ile yaklaşık aynı doğrultulu deformasyonları gözlemek mümkündür



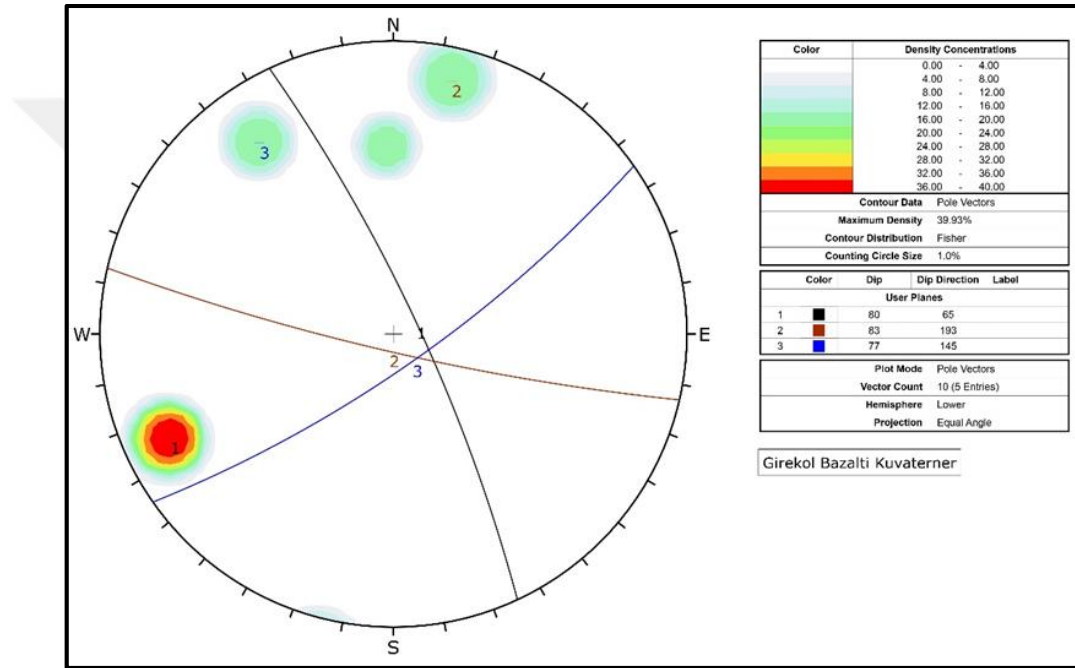
Şekil 4.70. Etrüsk Volkanitlerinde gözlenen eklemlere ait doğrultu gül diyagramı.



Şekil 4.71. Etrüsk Volkanitlerinde gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı, ana düzlemler ve etkin sıkışma yönleri (siyah oklar).

4.2.3.6. Girekol Volkanitleri-Kuvaterner

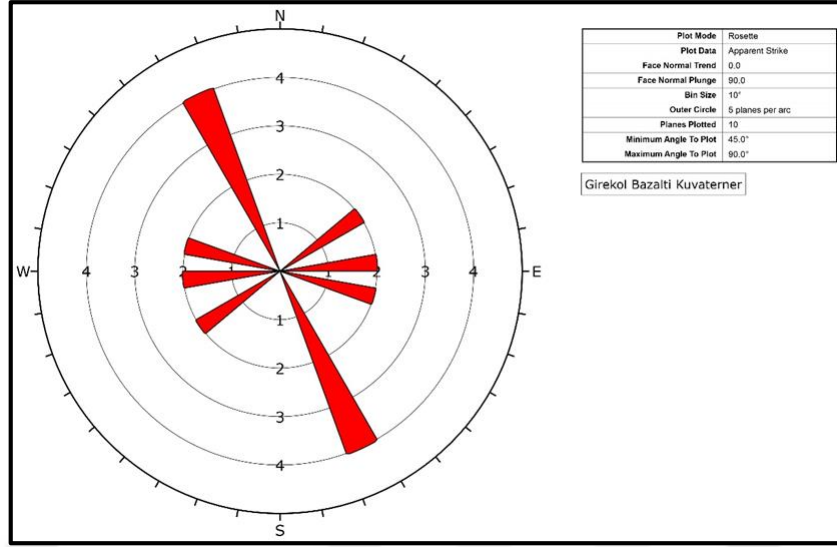
Çalışma alanının kuzeyinde bulunan Girekol Volkanı'na ait bazalt birimleridir. Birimin yaşı Geç Pleyistosen'dir (Lebedev ve diğ. 2010). Birim Erciş kuzeyinde geniş bir alanda gözlenmektedir. Bu kesim Erciş Fay Zonu içerisinde yer almaktadır. Bölge genelinde toplamda 5 lokasyondan 10 adet ölçü alınmış ve analiz edilmiştir (Şekil 4.72). Birim içerisinde gözlenen soğuma çatlakları ve akma düzlemleri analize dâhil edilmemiştir. Bu haliyle ölçüm sayısı oldukça yetersiz olup değerlendirme çok yüzeysel şekilde yapılmıştır.



Şekil 4.72. Girekol Bazalt biriminde gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı ve ana düzlemler.

Belirlenen ana düzlemler sırasıyla 065/80, 193/83 ve 145/77 eğimyönü/eğim değerlerine sahiptir. Bu düzlemlerden ilki daha baskın olup yukarıda verilen Erken Pliyosen yaşlı volkanitler içerisinde gözlenen ana süreksizlik düzlemi ile aynı doğrultudadır. Yine aynı şekilde burada gözlenen 3 nolu düzlem geometrisi, Erken Pliyosen yaşlı volkanitlerde gözlenen 3 nolu düzlem ile uyumaktadır. Buradan çıkarılabilecek en genel değerlendirme volkanik birimlerde Erken Pliyosenden sonra gözlenen deformasyon Geç Pleyistosen dönemi sonrasında da devam etmiştir.

Düzlemlere ait doğrultu gül diyagramında ise hali ile 1 nolu düzlem baskın şekilde kendini göstermektedir (Şekil 4.73). Diğer düzlemler ise saçılmış halde bulunmaktadır.

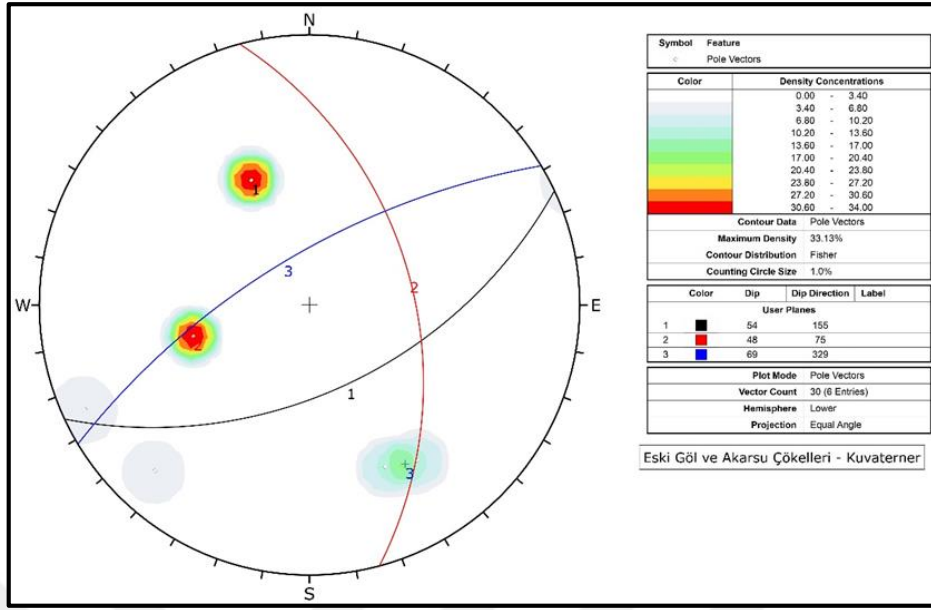


Şekil 4.73. Girekol Bazalt biriminde gözlenen eklemlere ait doğrultu gül diyagramı.

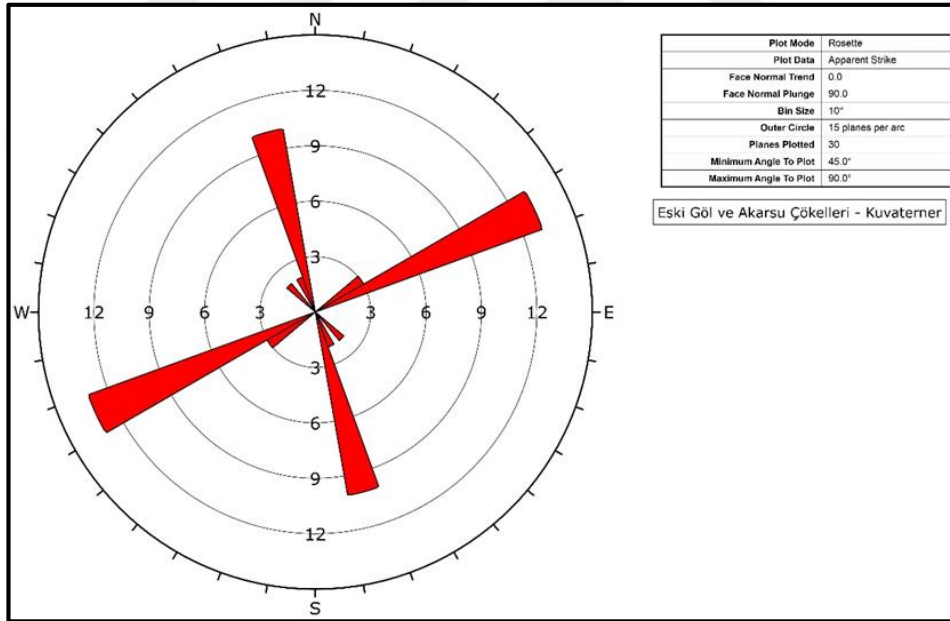
4.2.3.7. Eski Göl – Akarsu Çökelleri – Kuvaterner

Bu birimler çalışma alanında geniş düzlüklerde ve Van Gölü kıyı çizgisi civarında yüzeylenmektedir. Farklı tane boyutlarındaki kırıntıların farklı sedimanter ortamlarda (delta, akarsu, göl) çökmesi ve zamanla tutturulmasıyla, gevşek çimentolanmasıyla oluşmuştur. Birim içerisinde özellikle eski göl çökellerinde, silttaşı ince kumtaşı seviyelerinde deformasyonlar oldukça belirgin ancak seyrek orandadır. Eski akarsu taraçalarında ise deformasyon izleri yok denecek kadar azdır. Bazı ana fay düzlemlerinin dışında (Erciş Fayı) bu birimlerde inceleme alanı dâhilinde eklem gözlenmemiştir. Erciş Fayı deformasyon zonu içerisinde kalan kesimde ise özellikle eski göl çökellerinde yoğunca mikro faylar ve eklemler bulunmaktadır.

Bölge genelinde toplamda 6 lokasyondan 30 adet ölçü alınmış ve analiz edilmiştir (Şekil 4.74). Yapılan analiz sonucunda 3 temel eklem düzlemi yoğunlaşması belirlenmiştir. Bunlar sırasıyla 155/54, 075/48 ve 329/69 eğim yönü/eğim değerlerine sahiptir. Bu düzlemlerden baskın olan 1 ve 2 nolu düzlemlerin dağılım yoğunluğu %33.13 dür. Düzlemlerden 3 nolu olanı ise 1 nolu baskın düzlemin ters yöndeki kutuplaşması olarak yansıtmaktadır. Bu haliyle aslında etkin olan iki ana düzlem doğrultusu neotektonik dönemin etkisini göstermektedir. Eklem doğrultuları ile yapılan gül diyagramı da aşağıda Şekil 4.75’de sunulmuştur.



Şekil 4.74. Eski göl akarsu çökellerinde gözlenen eklemlere ait stereografik projeksiyon, kontür diyagramı ve ana düzlemler.



Şekil 4.75. Eski göl akarsu çökellerinde gözlenen eklemlere ait doğrultu gül diyagramı.

Bu yoğun eklem düzlemleri sahanın güneyinde Timar (Gedikbulak) Köyü'nün kuzeyinde Erciş karayolunun hemen kenarında yüzeylenen eski göl çökelleri içerisinde ölçülmüştür. Aynı lokasyonda 015/16 eğimyönü/eğim derecesine sahip ters faylanma da gözlenmektedir. Gerek gül diyagramındaki dağılım gerekse bölgedeki ters faylama geometrisi birbiri ile uyumlu olup bölgedeki Kuvaterner dönemi sıkışma yönünün K20-30D yönünde olduğu görülmektedir.

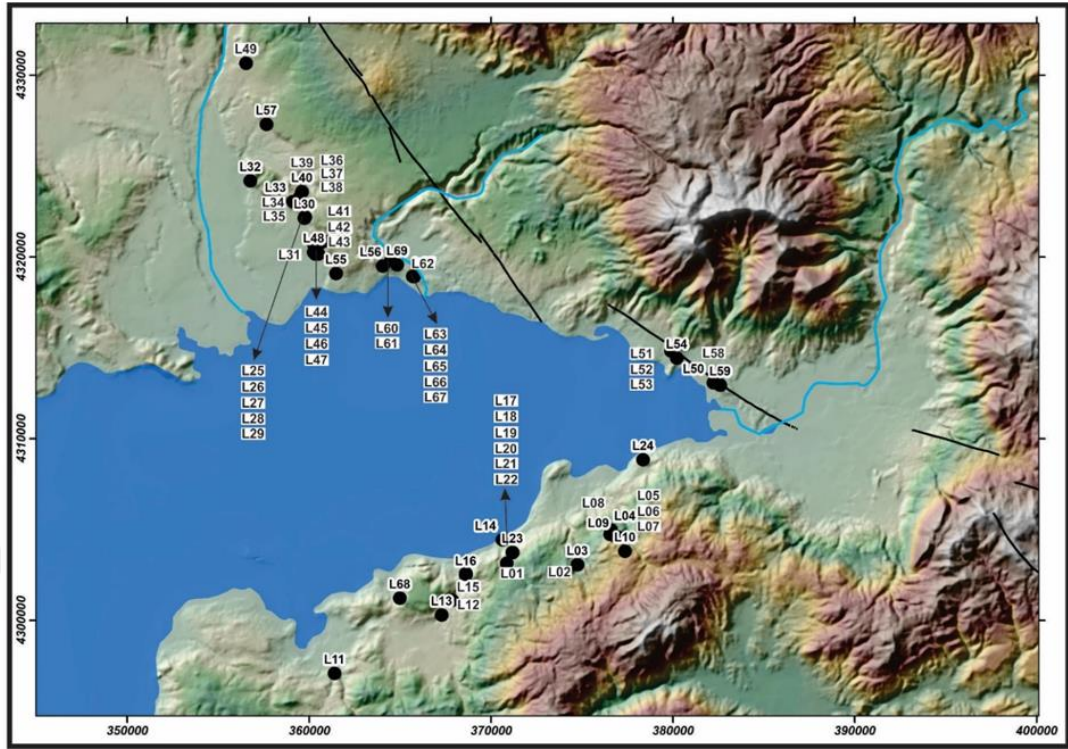
4.2.4. FAYLAR

Tez kapsamında çalışılan bölge dâhilinde ve genel olarak Van Gölü Havzası içerisinde kalan alanda, önceki çalışmalar kapsamında birçok fay ve fay zonu tanımlanmıştır. Bu fayların başında 1976 yılında $M=7.3$ büyüklüğünde deprem üretmiş olan Çaldıran Fayı gelmektedir. Ardından, 2011 yılında meydana gelen $M=7.1$ büyüklüğündeki depreme kaynaklık eden ve deprem ürettiği tarihe kadar varlığı bilinmeyen ve bu nedenle de üzerine çok çalışma yapılmış olan Van Fayı gelmektedir (Şekil 4.76).

Bölge genelinde geçmişten bu yana yapılan çalışmalarda MTA'nın 2013 yılında yayımladığı “Türkiye Diri Fay Haritası” dâhilinde haritalanmış diri fayların haricinde de faylar haritalanmıştır. Bu çalışmaların başlıcaları, Ketin (1977), Koçyiğit ve diğ. (2001), Özkaymak (2003), Özkaymak ve diğ. (2004), Karakanian ve diğ. (2004), Copley ve Jackson (2006), Özkaymak ve diğ. (2011), Doğan ve Karakaş (2013), Koçyiğit (2013), Üner (2019), Şengül ve diğ. (2019), Sağlam ve diğ. (2020) çalışmalarıdır. Şekil 4.76'da gözlenen fayların büyük bölümü düzlem verileri veya morfolojik veriler ile belirlenmiş faylardır. Ancak Holosen dönemi aktiviteleri konusunda çoğunda çalışma yapılmamıştır. Bazı faylara denk gelen tarihsel ve aletsel dönem depremler bulunmaktadır; ancak yüzey kırığı varlığı veya paleosismolojik veriler ile desteklenmediğinden “Diri Fay” olarak nitelendirilmeden haritalanmışlardır.

Çalışma alanında toplam 69 lokasyonda farklı türlere sahip fayların düzlem ölçümleri yapılmıştır (Şekil 4.77). Bu düzlemlerin bir bölümünde çizgisel yapılar belirgin olup bu çizgiselliklerin gidiş ve dalım verileri de ölçülmüştür. Fay çizgileri genellikle Van Formasyonu'na ait kırıntılı kaya birimleri ve kireçtaşı olistolitleri ile Adilcevaz Kireçtaşı birimine ait karbonatlı kaya birimlerinde yaygınca gözlenmiştir. Bunların haricinde sahada geniş yayılımla yüzeylenen Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı volkanik kaya birimleri ile çok genç kırıntılı çökellerdeki fay düzlemlerinde çizgisel yapılara rastlanılmamıştır. Ancak fayın karakteri geometrik olarak düzlem verileri ile belirlenebilmiştir.

Fay düzlemi ölçümü yapılan yerleri üç temel alanda gruplandırabiliriz. Bunlardan ilki, kuzey kesimde Erciş İlçesi civarında yüzeylenen Adilcevaz Kireçtaşı birimi ve civarındaki bölge, diğeri Etrüsk Volkanı güneyinden geçen Erciş Fayı'na ait segmentin üzeri ve son olarak da Van Gölü'nün KD ucundan güneybatıya doğru, çalışma alanının doğu ve güneydoğu kesimlerini oluşturan bölgedir. Bu alanlardan ilk ikisi bu çalışma kapsamında da “Erciş Fay Zonu” olarak tanımlanmış ve detaylandırılmıştır (Şekil 4.78). Erciş Fay Zonu'na ait faylar özellikle Erciş İlçesi civarında Adilcevaz Kireçtaşı biriminde çok belirgin olup düzlem ölçümleri bu bölgede yoğunlaşmıştır. Çalışma alanının güneyindeki fay sistemi tali fayları ile birlikte değerlendirilerek “Timar - Çakırbey Fay Zonu” olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.78).



Şekil 4.77. Fay düzlemi ölçüm lokasyonlarının dağılımı (bu çalışma). Kalın siyah çizgiler diri fayları göstermektedir (Emre ve diğ. 2013).

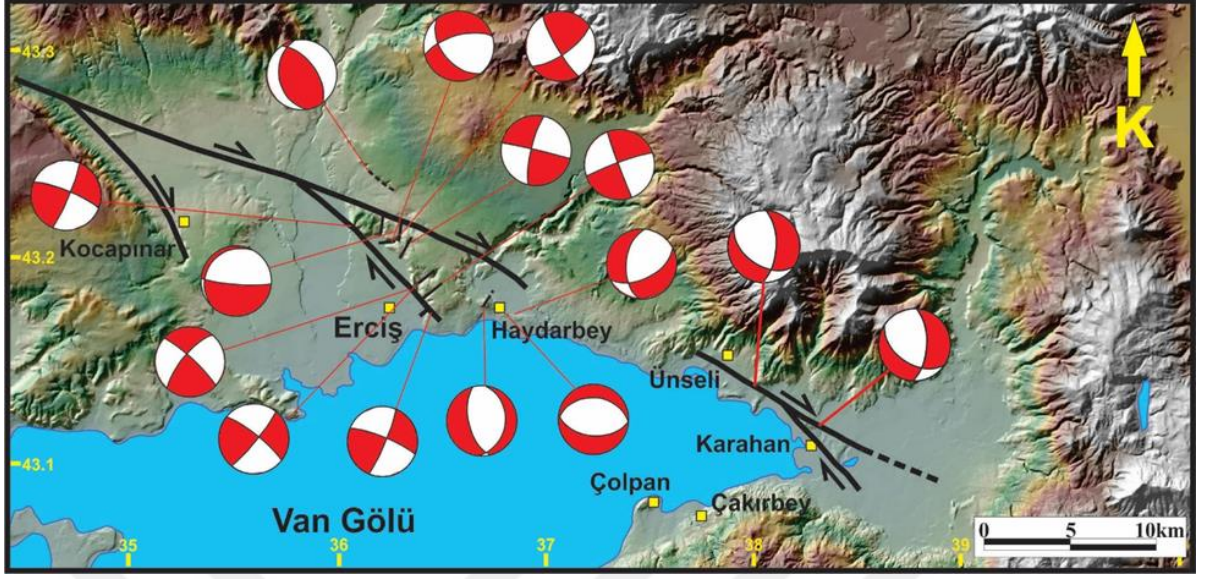
Bölgedeki fayların bir bölümü morfolojik olarak takip edilebilmektedir. Özellikle Adilcevaz Kireçtaşı biriminin yüksek kesimleri oluşturmada bu fayların etkisi bulunmaktadır. Bunun haricinde bazı faylar çok kısa uzanımlı olup yerel deformasyonu temsil etmektedir. Güney kesimde, Van Formasyonu içerisinde yer alan kireçtaşı olistolitlerinde çok fazla fay düzlemi ölçülmüştür. Ancak bu düzlemlerin geometrik ve litolojik olarak süreklilik anlamında bir devamlılığının olması durumu önemlidir. Yani olistolitler üzerindeki fay düzlemlerinin ana litoloji içerisinde yaklaşık aynı konum ile ölçülebilmiş olmasına dikkat edilmiştir. Bu anlamda fayların uzanımı da bu yönde değerlendirilmiştir. Bölgede daha önceden haritalanmış birçok tali fay olmasına karşın bunlar üzerinde gözlemsel olarak herhangi bir veriye ulaşılamadığından çalışmaya dâhil edilmemiştir. Belirlenen fay zonları ve kapsadıkları fayların temel özellikleri aşağıda sırasıyla açıklanmaktadır.



Şekil 4.78. İnceleme alanında gözlenen ana fay zonları, Erciş Fay Zonu (kuzey) ve Timar - Çakırbey Fay Zonu (güney).

4.2.4.1. Erciş Fay Zonu (EFZ)

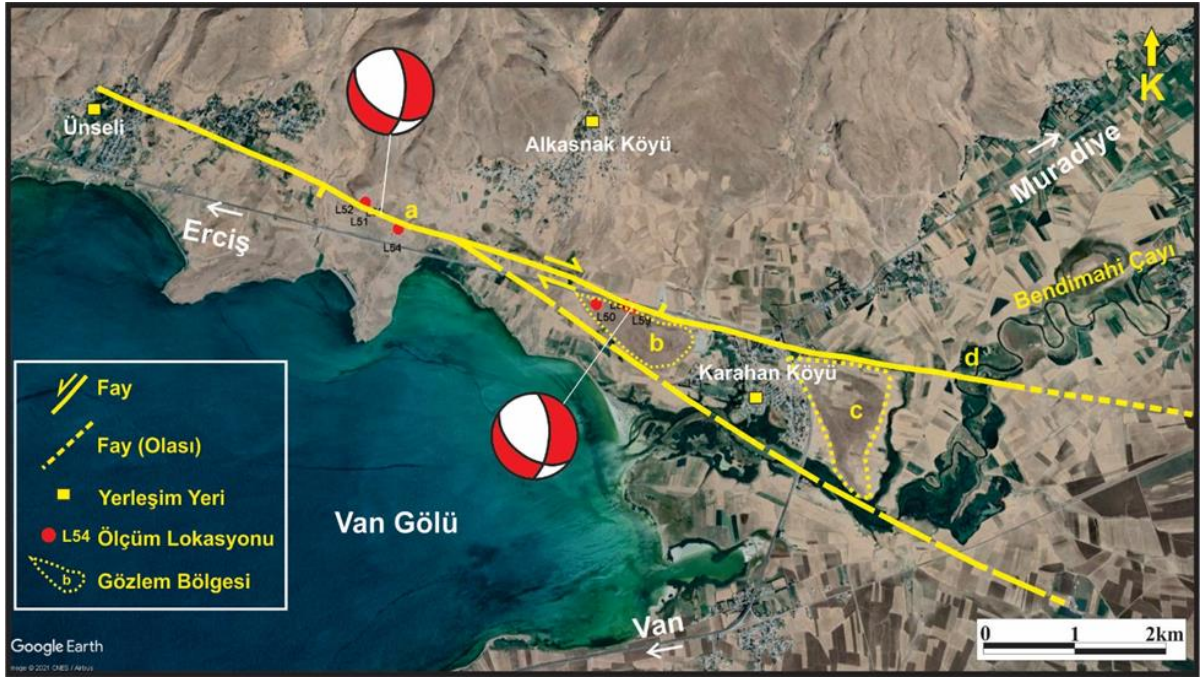
İnceleme alanının kuzey kesiminde bulunan Erciş İlçesi civarında ve doğu kesiminde hem morfolojik hem de düzlem olarak gözlenen sağ yönlü doğrultu atımlı karakterli yer yer normal atım bileşeni olan faylardan oluşmaktadır (Şekil 4.79). EFZ, en batıda inceleme alanının dışından yaklaşık K40-60B uzanım ile Erciş İlçe yerleşimi kuzeyini sınırlayarak gelmekte ve güneydoğuya doğru uzanmaktadır. Erciş doğusunda Haydarbey ve Ünseli Köyleri arasında yüzeylenen Pliyo-Kuvaterner yaşlı volkanik birimlerde gözlenememiştir. Daha doğuda ise Ünseli'den itibaren Karahan Köyünün doğusuna doğru Pliyosen yaşlı volkanik kayaları ve Kuvaterner yaşlı eski göl-akarsu çökellerini keserek daha doğudaki alüvyal düzlüğe ulaşmaktadır (Şekil 4.79).



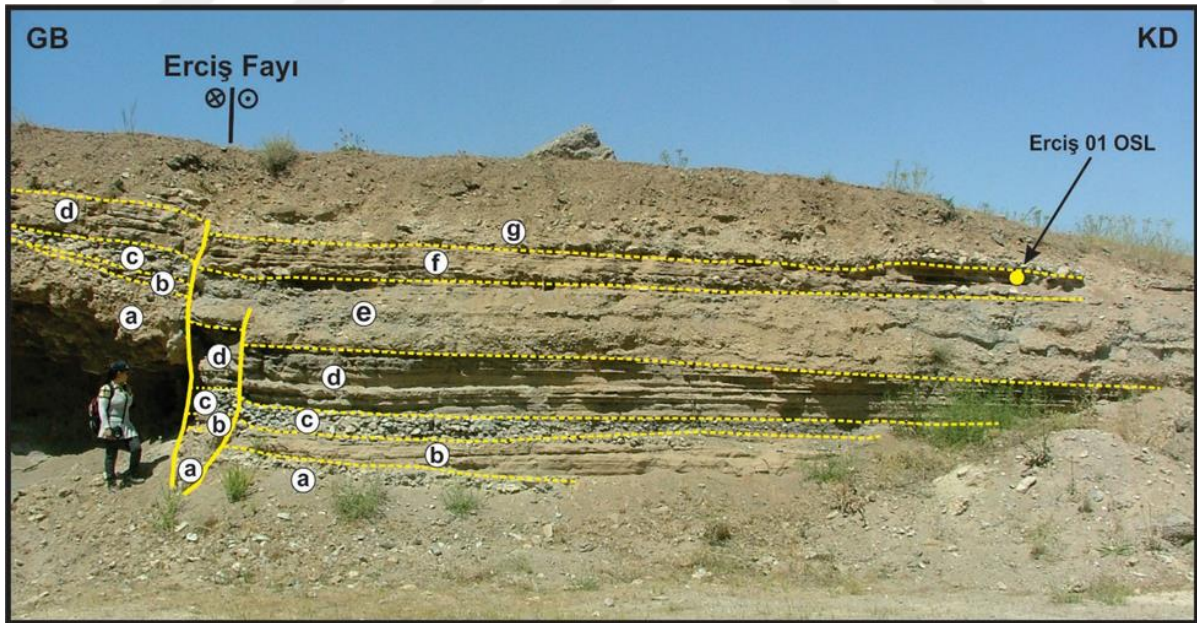
Şekil 4.79. Erciş Fay Zonu’nun da gözlenen faylar ve bu çalışma kapsamında elde edilen düzlem verilerine ait mekanizma çözümleri.

Erciş Fay Zonu, tez çalışması kapsamında, yukarıdaki geometri ve fayların da karakteri gereğince iki ana segmentte incelenmiş ve Ünseli – Karahan yerleşimlerini kateden kesime “Erciş Fayı Doğu Segmenti” adı verilmiştir. Bu segment aynı zamanda Emre ve diğ. (2013) çalışmasında Türkiye Diri Fay Haritası’nda da gözlenmektedir. Fayın mekanizma çözümü ve düzlem verileri bu çalışma kapsamına detaylandırılmıştır.

Doğu Segment yaklaşık 15 - 20 Km uzunluğunda, K50B uzanımlı, KD veya GB’ya eğimli normal bileşen gösteren sağ yönlü doğrultu atımlı karakterli bir faydır (Şekil 4.80). Fayın en iyi gözlemlendiği kesim ise Karahan Köyü batısında yeralan volkanik yükselimin kuzey kenarı boyunca çökelmiş Kuvaterner yaşlı eski göl ve akarsu çökelleridir. Burada açılmış malzeme ocağının duvarında fayı ve kestiği birimleri detayları ile gözlemek mümkündür (Şekil 4.81). İkinci ana lokasyon ise yine batıya doğru Pliyosen yaşlı Volkanik birimlerin güney ucunun kesilerek sınırlandığı doğal yükselimidir. Erciş Fayı Doğu Segmentinin sahada bu düzlemler haricinde morfolojik olarak takip edilebileceği kesimler L54 olarak verilen gözlem noktası, Karahan Köyü batı ve doğusunda yeralan Volkanik birimlerin çizgisel kuzey sınırları, Bendimahi Çayı’nda gözlenen yanal yerdeğiştirmenin olduğu kesimdir (Şekil 4.80).

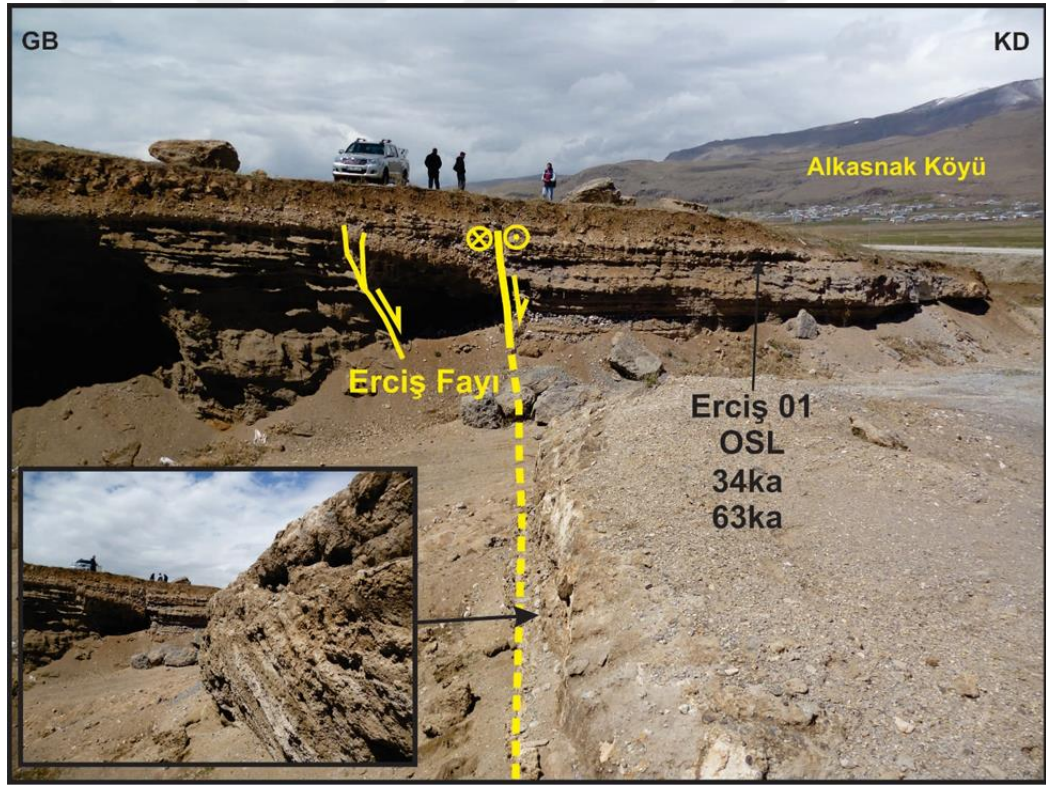


Şekil 4.80. Erciş Fayı Doğu Segmenti ve fay mekanizma çözümleri, a) L54 nolu düzlem lokasyonu, b) ve c) Fay ile ilişkili Pliyosen yaşlı Volkanik birimler, d) Bendimahtı Çayı yanıl yerdeğiştirme lokasyonu, (altlık Google Earth görüntüsü).



Şekil 4.81. Erciş Fayı Doğu Segmenti'nin eski malzeme ocağı içerisinde gözlemlendiği kesim. Çökel birim Kuvaterner yaşlı eski göl (b, d, f seviyeleri) ve akarsu (a, c, e ve g) kırıntılı birimlerinin ardalanması şeklindedir. Göl çökelleri içerisinde yaş tayini için örnek alınan lokasyon Erciş 01 OSL olarak gösterilmiştir (bakış yönü KB).

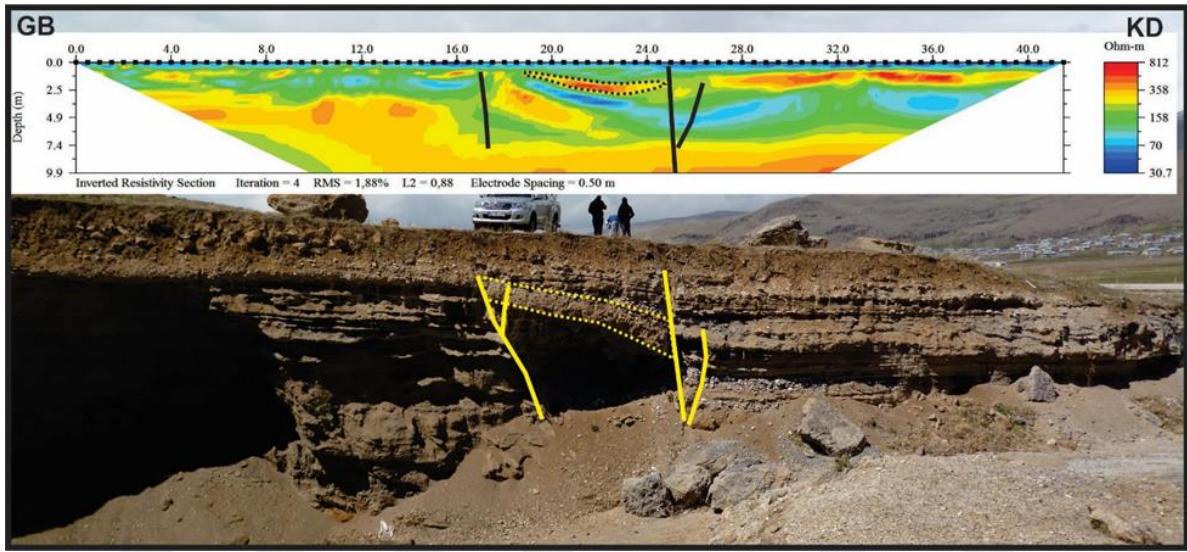
Birim içerisinde Erciş Fayı ve ona paralel gelişen tali faylar net olarak gözlenmektedir. Ana fay yaklaşık K50B/80KD konumundadır. Fay, volkanik kökenli kırıntılardan oluşan akarsu çökellerini neredeyse en genç seviyeye kadar kesmiştir. Fayın olası yaşını belirlemek ve Kuvaterner döneminin hangi evresinde aktif olduğuna bir yaklaşım yapmak amacıyla Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) yöntemi ile yaş tayini yapmak için kırıntı örneği alınmıştır. Buradan alınan OSL örneğinden iki ayrı yaş elde edilmiştir (Tablo 4.3). Bunun nedeni teorik olarak örneğin içerdiği kırıntıların ‘yetersiz sıfırlama’ya maruz kalması veya örneğin başka kırıntılar ile karışması olarak açıklanmıştır. Örnek alınan seviye fay tarafından kesilen en üst seviyenin hemen altındaki seviyedir. Kesilen en üst seviye iri çakıllı ve iyi tutturulmuş bir seviye olduğundan OSL için uygun nitelikte örnek alımı yapılamamıştır. Bu seviyenin hemen altındaki zayıf tutturulmuş kumtaşı seviyesinden örnek alımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.82).



Şekil 4.82. Erciş Fayı Doğu Segmenti'nin eski malzeme ocağı içerisinde gözlemlendiği kesim. OSL örneği alınan seviye ve elde edilen yaş verileri (bakış yönü KB).

Fay düzlemlerinin gözlemlendiği bu yarma üzerinde araştırma çalışmalarına ilave olarak jeofizik elektrik yöntemi uygulanmış ve iki boyutlu Elektrik Rezistivite Tomografi (ERT) verisi elde edilmiştir. Fayların özellikle alüvyal kesimlerde, yüzlek vermediği alanlarda geometrisinin

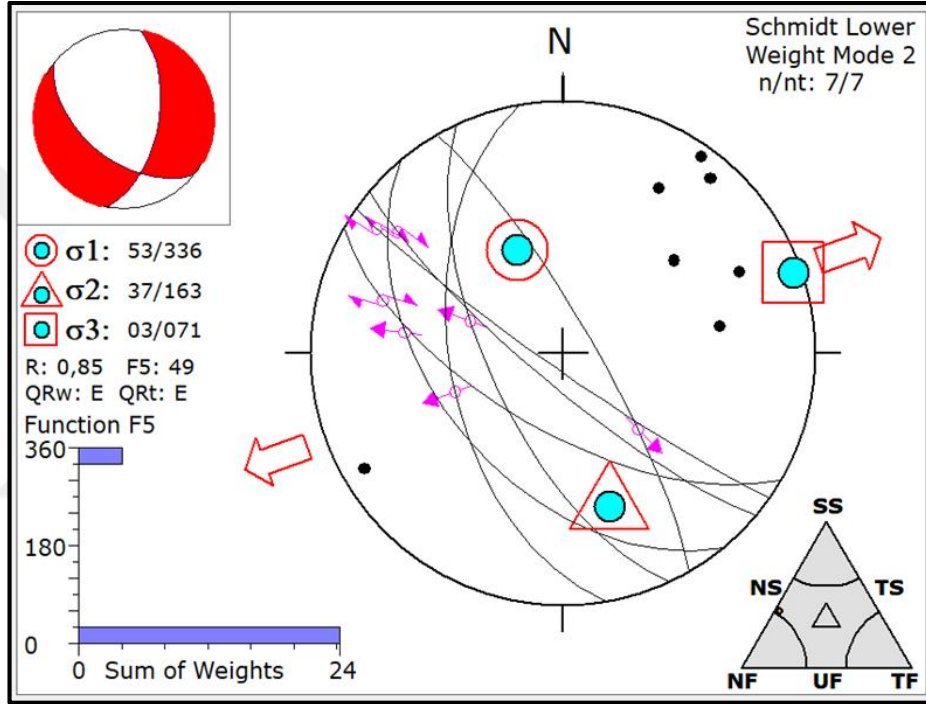
belirlenmesi amacıyla yaygınca kullanılan bu elektrik yöntemi tez kapsamında tamamen Erciş Fayı'nın ERT yöntemi ile nasıl görüldüğünü belirlemek amacıyla yapılmıştır. Toplam uzunluğu 42 metre olan, fay düzlemine dik yönde, KD-GB uzanımlı bir profil üzerinde ölçü alınmıştır. Elektrot aralıkları 0.5 m olarak belirlenmiştir. Profil boyunca yaklaşık 8 -10 metrelik bir derinlik hedeflenmiştir. Elde edilen tomografi görüntüsü ve Erciş Fayı ile olan ilişkisi Şekil 4.83'te verilmiştir.



Şekil 4.83. Erciş Fayı Doğu Segmenti üzerinde yapılan Elektrik Rezistivite Tomografi (ERT) ölçümü ve iki boyutu görüntüsü.

Profil ölçeğinde kırmızı renkler yüksek, mavi renkler ise düşük öz direnç değerlerini göstermektedir. Bir başka deyişle, yüksek öz dirençli seviyeler yalıtkan, daha pekleşmiş, taşlaşmış sert ve az boşluklu kesimleri gösterirken, düşük öz dirençli seviyeler daha iletken, boşluklu, gözenekli, zayıf dayanımlı ve genellikle de su içeren seviyeleri göstermektedir. Burada seviyelerin (tabakaların) yanal yönde, Erciş Fayı'na denk gelen kesimlerinde kesintiye uğradığı ve farklı tabakaların yanyana geldiğini görmekteyiz. ERT profilinde de gösterildiği üzere, alttaki görüntü olmadan da iki ana ve birçok tali, düşey yönlü süreksizliğin varlığından söz edilebilmektedir. ERT profilinde dikkat edilmesi gereken bir durum da bu süreksizliklerin yüzeyin hemen altına, bitkisel toprağa kadar ulaştığıdır. ERT yöntemi tez çalışması kapsamında sadece bu profille sınırlı kalmış olup bölgedeki benzer jeolojik ortamları kateden ana süreksizliklerin takibinde ilerleyen çalışmalarda kullanılması olumlu veriler sağlayacaktır.

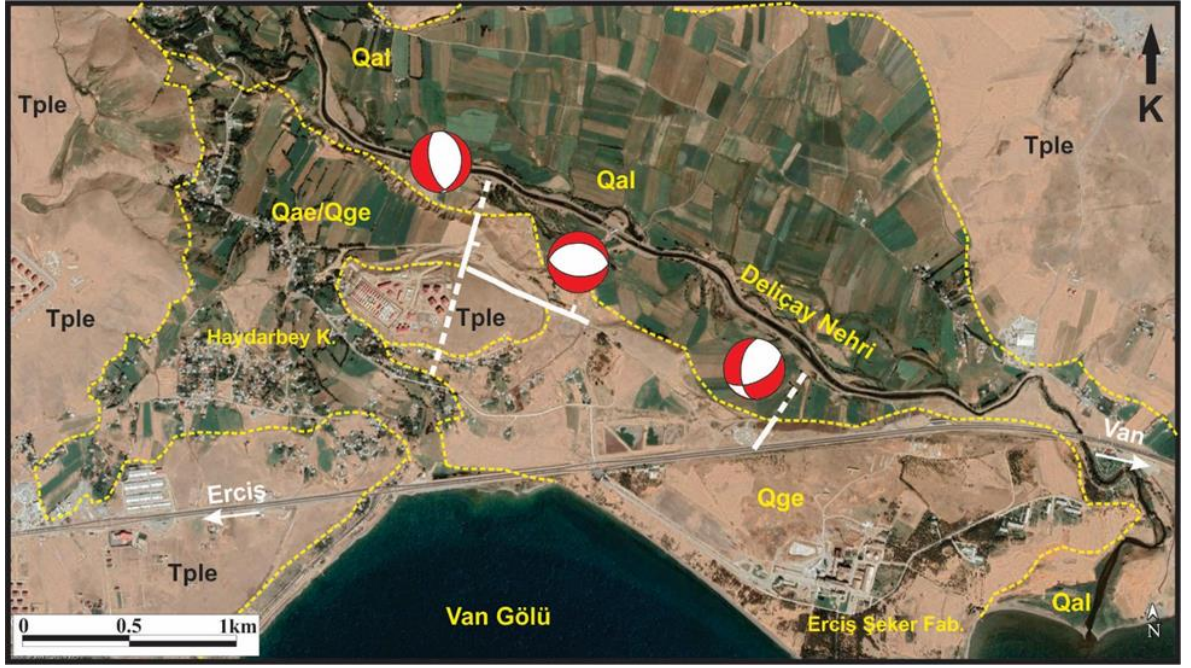
Erciş Fayı Doğu Segmenti üzerinde sahada farklı lokasyonlarda yapılan düzlem ölçümlerinin WinTensor programı yardımıyla kinematik analizi yapılmıştır. Toplamda 7 adet düzlem verisinden elde edilen sonuçlar Şekil 4.84'te verilmiştir. Buna göre, fayın düşey yönde daha baskın, normal bileşenin hâkim olduğu ve K71D yönünde çekme gerilmesi yani açılma rejiminin etkisi altında olduğu belirlenmiştir. Analiz sonucunda asal gerilme yönleri ise σ_1 : 336/53, σ_2 : 163/37, σ_3 : 071/03 eğimiyönü/eğim olarak belirlenmiştir. Burada net olarak asal çekme gerilmesinin (σ_3 'ün) baskın olduğu gözlenmektedir.



Şekil 4.84. Doğu Segmenti düzlem verileri ile yapılan stereografik projeksiyon ve kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü normal bileşenli sağ yönlü doğrultu atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü NS - Normal –Doğrultu atımlı olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta. SS: Doğrultu atımlı, NS: Normal bileşenli Doğrultu atımlı, TS: Ters bileşenli Doğrultu atımlı, NF: Normal Fay, VF: Düşey Fay, TF: Ters Fay - Bindirme), projeksiyonda fay düzlemleri, kayma vektörleri (mor oklar), düzlem kutupları (siyah noktalar) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.

Erciş Fay Zonu'nda batıya doğru yönelindiğinde ana faylara gelmeden önce Haydarbey Köyü ve Erciş Şeker Fabrikası civarında Kuvaterner yaşlı eski göl çökelleri içerisinde birçok tali fay düzlemi belirlenmiştir (Şekil 4.85). Bu faylar genellikle normal fay karakterinde olup çok az doğrultu atım bileşeni bulunmaktadır. Erciş Şeker Fabrikası karşısındaki lokasyonda bulunan faylar bir dizi horst graben yapısı sergileyecek şekilde karşılıklı düzlemlerden oluşmaktadır. Bu fayların yaşlandırılması amacıyla lokasyondan kırıntı örnekleri alınarak OSL yöntemi ile yaş tayini yaptırılmıştır.

Haydarbey Köyü kuzeyinde yüzeylenen Alt Pliyosen yaşlı (4.3 My, Lebedev ve diğ. 2010) Trakit birimlerinin hemen kuzeyinde çökelmiş olan eski göl ve akarsu çökelleri içerisinde birçok fay bulunmaktadır. Eski bir malzeme ocağında gözlenen bu faylarda normal bileşen hâkimdir. Özellikle doğuya eğimli olan fay Kuvaterner dönemi etkinliği açısından önemlidir. Bu nedenle fayın kestiği birimden OSL yöntemiyle yaş tayini yapmak için kırıntı numune alınmış ve analiz ettirilmiştir. Bölgedeki bu faylara ait detay veriler ve kinematik analizleri aşağıdaki kısımda sunulmaktadır.



Şekil 4.85. Erciş Fay Zonu, Haydarbey Köyü civarı jeolojisi, gözlenen normal faylar ve mekanizma çözümleri, Qal: Alüvyon, Qae-Qge: Eski Alüvyon-Eski Göl Çökeli, Tple: Etrüsk Volkanitleri.

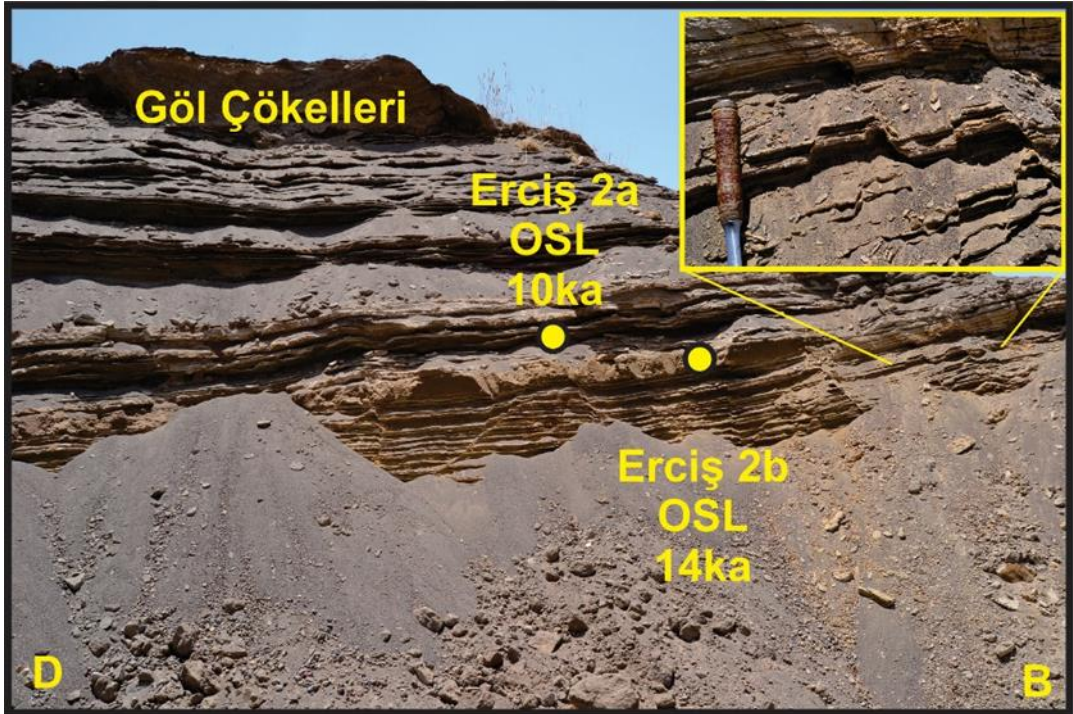
Erciş Şeker Fabrikası kuzeyindeki kesimde gözlenen fayların konumu K50D/60KB ve K47D/60GD şeklinde ve bölgedeki ana fay olan Erciş Fayı'na yaklaşık diktir. Erciş Fayı ise bu bölgede K50B doğrultusundadır. Yarı tutturulmuş – tutturulmuş kumtaşı, silttaşı aralanması halindeki, laminalı, eski göl çökelleri içerisinde, birbirine yaklaşık paralel ancak farklı eğim yönünde gelişmiş, 2 – 6 cm lik düşey yerdeğiştirmeler gösteren birçok normal fayın geliştiği gözlenmiştir (Şekil 4.86).

Bu deformasyonların bölgenin neotektonik dönem içerisindeki anlamını ve Erciş Fay Zonu etki alanı içerisinde gözlenen bu tür ikincil deformasyonların oluşma yaşını belirleyebilmek amacıyla Erciş2a ve 2b örnekleri alınmış ve OSL yöntemi ile analiz ettirilmiştir (Şekil 4.86).

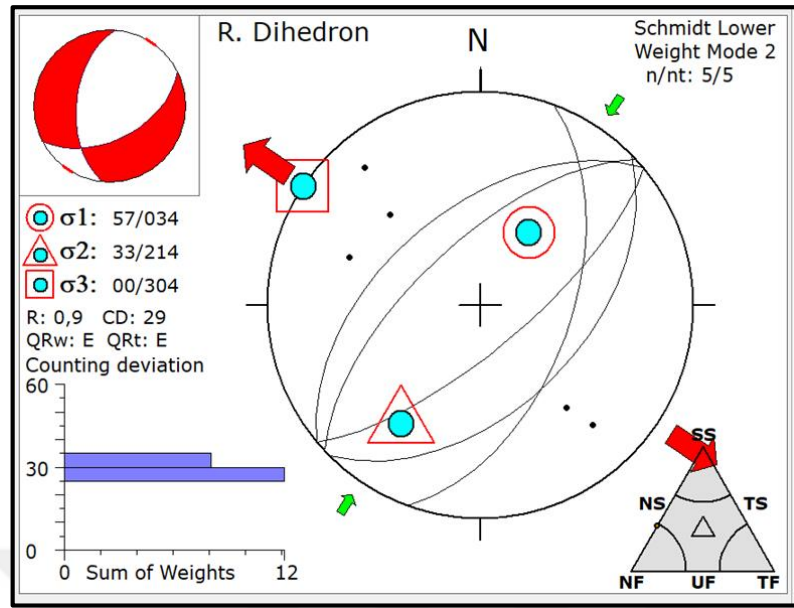
Burada eski göl çökelleri içerisinde deformasyonun gerçekleştiği son seviye ile deformasyon gözlenmeyen ilk seviye belirlenerek örnek alınmıştır.

Elde edilen yaş değerleri deforme olan seviye için 14ka (binyıl), üst seviye için ise 10ka yıldır (Tablo 4.3). Bu veriler, Holosen döneminde bölgede açılma rejiminin aktivitesini kanıtlamaktadır. Bu durum aynı zamanda Erciş Fayı Doğu Segmenti'nde de gözlenen açılma rejimi ile de uyumludur.

Horst – Graben yapısı sergileyen bu tali fayların düzlem verileri üzerinde WinTensor programı yardımıyla kinematik analiz yapılmıştır. Toplamda 5 adet düzlem verisinden elde edilen sonuçlar Şekil 4.87'de verilmiştir. Buna göre, düşey yönde baskın, normal bileşenin hâkim olduğu ve K56B yönünde çekme gerilmesi yani açılma rejiminin etkin olduğu belirlenmiştir. Analiz sonucunda asal gerilme yönleri ise σ_1 : 034/57, σ_2 : 214/33, σ_3 : 304/00 eğimyönü/eğim olarak belirlenmiştir. Burada net olarak asal çekme gerilmesinin (σ_3 'ün) baskın olduğu gözlenmektedir. (Şekil 4.87).

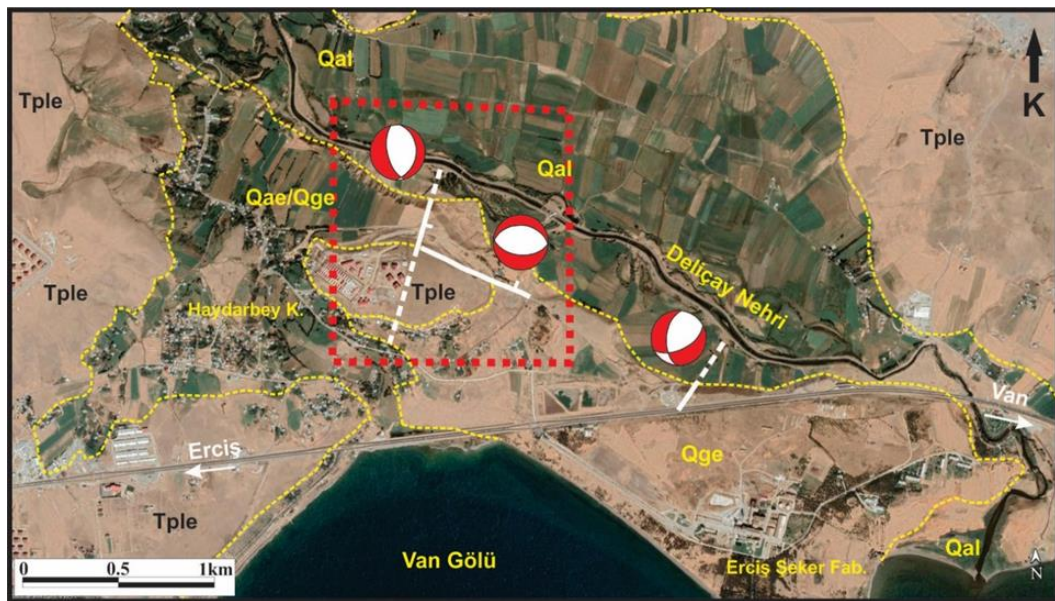


Şekil 4.86. Kırıntılı göl çökelleri, gelişen deformasyonlar ve Erciş 2a ve 2b örnek alım yerleri, bakış yönü G.



Şekil 4.87. Düzlem verileri ile yapılan stereografik projeksiyon ve kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü sol yanal bileşenli Normal fayı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü NS - Normal -Doğrultu atımlı olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemleri, düzlem kutupları (siyah noktalar) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.

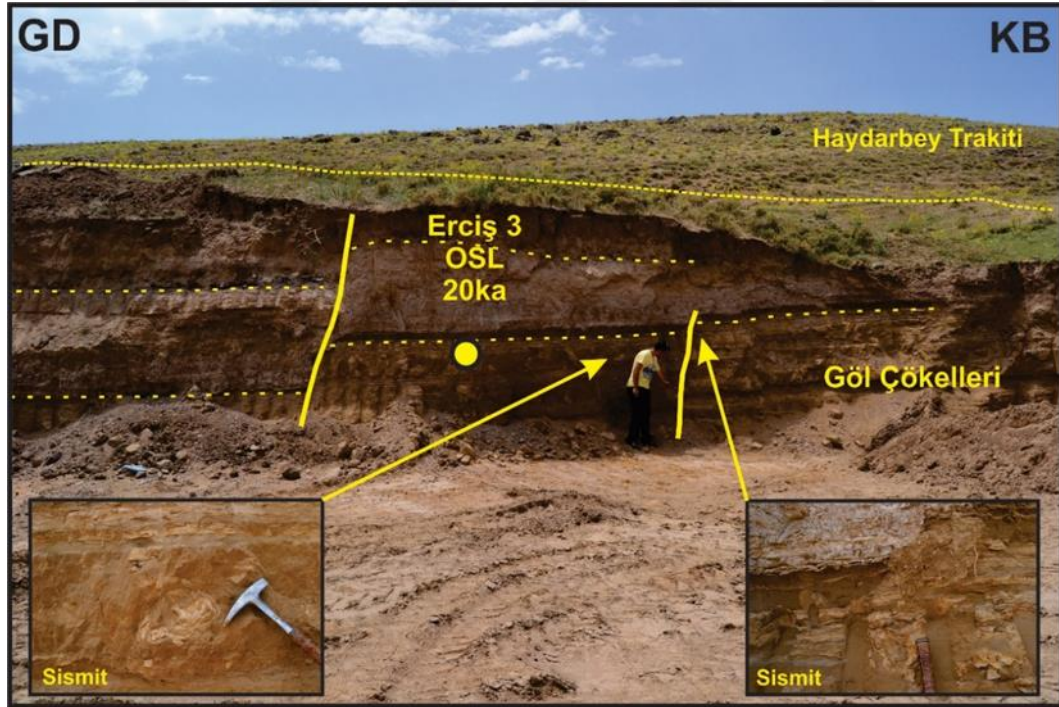
Haydarbey Köyü doğusundaki yükseltiyi oluşturan volkanik birimlerin özellikle kuzey yamaçlarında eski göl çökelleri yüzeylenmekte olup bu çökelleri farklı yaş aralıklarında kesen birçok fay bulunmaktadır (Şekil 4.88).



Şekil 4.88. Erciş Fay Zonu, Haydarbey Köyü doğusunda gözlenen normal faylar (kırmızı renkli çerçeve) ve mekanizma çözümleri.

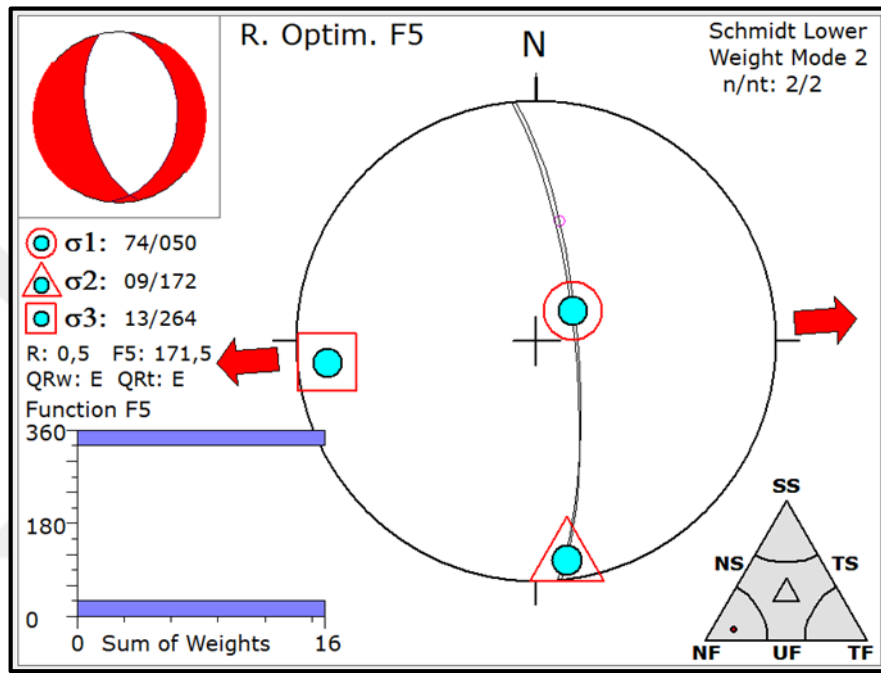
Bu faylardan en belirgin olanı yaklaşık K10D uzanımlı, doğuya eğimli olan faydır. Şekil 4.89'da sol tarafta gözlenen fay, neredeyse yüzeydeki birimleri de kesmiş olup yaklaşık 60 cm düşey yönde yerdeğiştirme miktarına sahiptir. Bu faylanmalar ile oluşan sismik etkinin bir diğer sonucu ise yumuşak çökel deformasyon yapısı olan sismitlerin (seismite) kırıntılı çökeller içerisinde yoğunca gözlenmesidir. Aynı yarma şevinde kumlu ve siltli seviyelerde sismitler gözlenmiştir (Şekil 4.89 küçük görseller).

Yine bölgede gelişen bu deformasyonların oluştuğu zaman aralığına yaklaşım yapmak amacıyla fayın kestiği kumlu birimlerden yaş tayini için örnek alınmıştır. Alınan Erciş-03 örneği üzerinde OSL yöntemi ile yaşlandırma yapılmış ve 20ka (binyıl) değeri elde edilmiştir (Tablo 4.3). Örnek alınan seviye sismit yapıların yoğun olduğu tabakanın üst kesimidir. Bu seviyenin derinliği yüzeyden yaklaşık 2 m civarındadır. Bu haliyle üstteki sediman kalınlığını ve fayların bitkisel toprak ve hemen altındaki kırıntılı birime kadar ulaşması bölgedeki deformasyonun çok daha genç olduğunu düşündürmektedir. Bu bölgede ilave olarak yapılacak yaşlandırma çalışmaları ile deformasyonun gelişimi daha net anlaşılabilecektir.



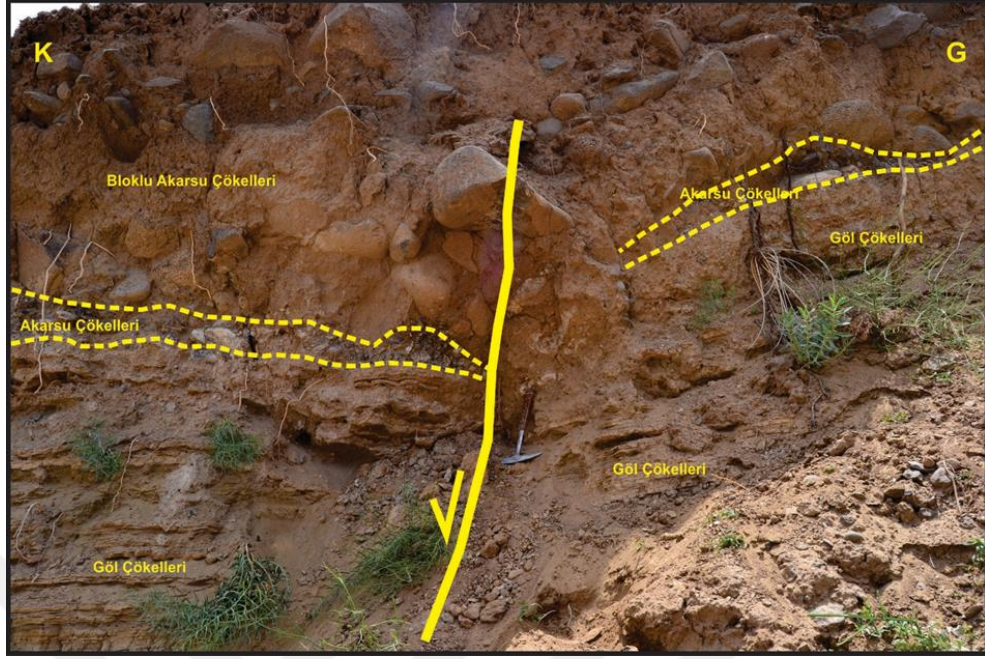
Şekil 4.89. Haydarbey Trakiti üzerine çökelmiş kırıntılı gölsel birimler, gelişen normal faylar ve sismit yapıları. Erciş 3 OSL örnek alım yeri (sarı nokta), bakış yönü G.

Fay düzlemleri üzerinde yapılan kinematik analizde ise, normal bileşenin hâkim olduğu ve yaklaşık D-B yönünde çekme gerilmesi yani açılma rejiminin etkin olduğu belirlenmiştir. Analiz sonucunda asal gerilme yönleri ise σ_1 : 050/74, σ_2 : 172/09, σ_3 : 264/13 eğimiyönü/eğim olarak belirlenmiştir. Burada net olarak asal çekme gerilmesinin (σ_3 'ün) baskın olduğu gözlenmektedir. (Şekil 4.90).



Şekil 4.90. Düzlem verileri ile yapılan stereografik projeksiyon ve kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü Normal fayı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü NF Normal Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemleri, asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.

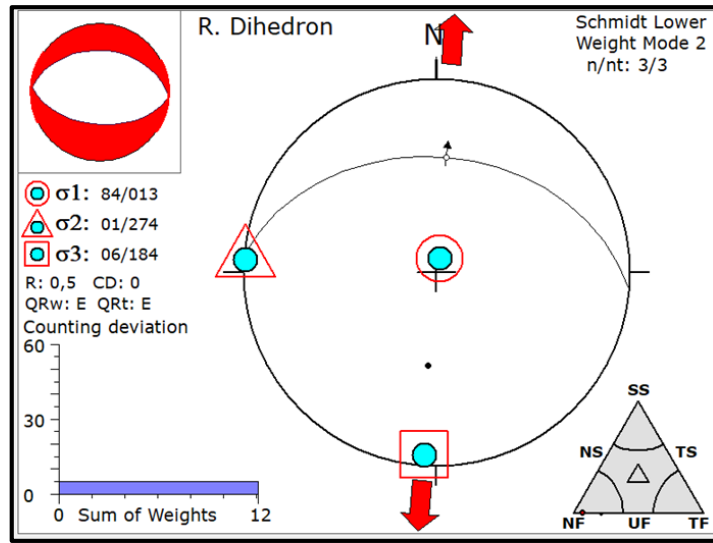
Aynı malzeme ocağı içerisinde, doğudaki yamaçta, Volkanik birimin kuzey sınırı olan yaklaşık doğu batı uzanımlı normal fayı takip etmek mümkündür (Şekil 4.91). Buradaki istifte tabanda ince – çok ince tabakalı, ince kırıntılı göl çökelleri, üzerine ise daha yüksek enerji ortamını temsilen önce ince bir çakıl seviyesi, ardından iri, volkanik kayalık kökenli, yarı yuvarlak blok boyutundaki çökel istif gelmektedir. Bu kesitte kılavuz katman olarak takip edilebilen ince iri çakıl içeren seviyenin bariz bir şekilde düşey yönde yaklaşık 30 -40 cm yerdeğiştirdiği belirlenmiştir.



Şekil 4.91. Haydarbey Trakiti kuzey yamacını sınırlayan normal fay, bakış yönü D.

Bu ikincil fayın düzlem verileri üzerinde WinTensor programı yardımıyla kinematik analiz yapılmıştır. Toplamda 3 adet düzlem verisinden elde edilen sonuçlar Şekil 4.92’de verilmiştir. Buna göre, normal bileşenin hâkim olduğu ve yaklaşık K- G yönünde çekme gerilmesi yani açılma rejiminin etkin olduğu teyid edilmiştir. Analiz sonucunda asal gerilme yönleri ise σ_1 : 013/84, σ_2 : 274/01, σ_3 : 184/06 eğimiyönü/eğim olarak belirlenmiştir. Elde edilen etkin asal gerilme türü ve yönü bölgede diğer gözlenen tali faylar ve Erciş Fayı Doğu Segmenti ile uyumludur.

Bu fayın yaşlandırılması yönünde herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Ancak fayın bir önceki faya olan yakınlığı ve de kestiği birimlerin tabaka seviyelerinin eşlenikliği nedeniyle Geç Pleyistosen yaşında olduğu düşünülmektedir.



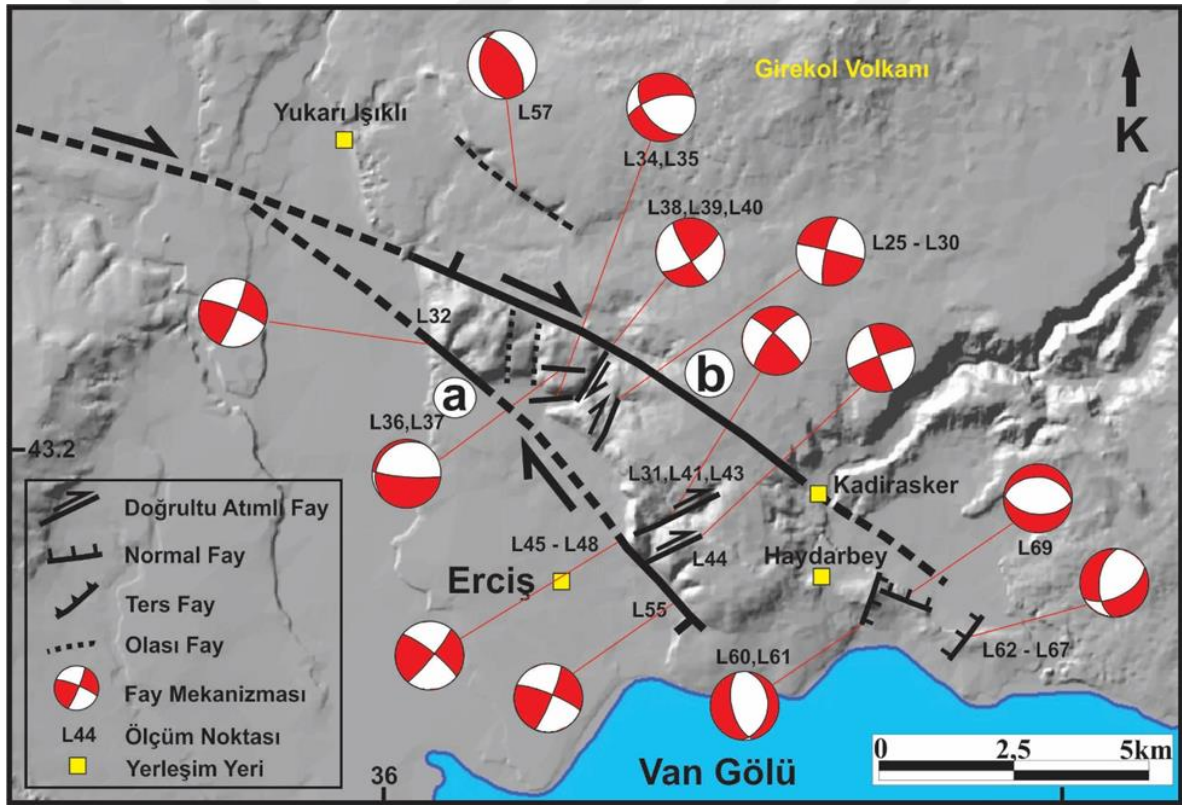
Şekil 4.92. Düzlem verileri ile yapılan stereografik projeksiyon ve kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü normal atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü NF- Normal Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemleri, kayma vektörleri (siyah oklar), düzlem kutupları (siyah noktalar) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.

Erciş Fay Zonu'nun inceleme alanının batı kesiminde kalan bölümü iki ana fay (kuzey kol ve güney kol) ve birçok tali faydan oluşmaktadır. Bu ana fay düzlemlerinden en belirgin olanı Erciş İlçe yerleşimi kuzeyinden geçen, güney kol olarak tanımlanan, yaklaşık K40-50B uzanımlı sağ yönlü doğrultu atımlı faydır (Şekil 4.93). Bu fay ile birlikte, özellikle bölgede yükselteri oluşturan Adilcevaz Kireçtaşı birimini (Tma) kat eden birçok tali fay bulunmaktadır.



Şekil 4.93. Erciş Fay Zonu Batı kesiminde gözlenen faylar, a) güney kol, b) kuzey kol, bölgesel jeoloji ve fay düzlemi ölçüm noktaları, Tma: Adilcevaz Kireçtaşı, Tpl: Pliyosen Kırıntılı Çökeller, Tple: Etrüsk Volkanitleri, Qal: Alüvyon (görüntü Googleearth'den alınmıştır).

Çalışma alanının bu kesiminde toplam 27 lokasyonda fay düzlemi ölçümü yapılmıştır. Bu düzlemlerin bir bölümü aynı fayı temsil ettiği için analizlerde ortak veri olarak değerlendirilmiştir. Fayların birçoğu Adilcevaz Kireçtaşı birimi içerisinde gözlenmiştir. Farklı uzunluklarda ve türde olan bu faylar genellikle ana yerdeğiştirme (atım) yönü ile uyumludur. Erciş Fayı Kuzey Kolu üzerinde düzlem ölçümü net olarak yapılamamıştır. Fayın geometrisi ve konumu morfolojik veriler ile belirlenmiş ve haritalanmıştır. Fayın güney ve kuzey kolunda sarplıklar ters yönedir. Güney kolda GB yönünde morfoloji aniden düşerken, kuzey kolda KD yönünde Pliyosen yaşlı kırıntılı çökellerin yerleştiği basen oluşmuştur. Bu anlamda arada kalan özellikle Adilcevaz Kireçtaşı biriminde kesme gerilmesinin (shear) etkileri bu tali faylar ile kendini göstermektedir (Şekil 4.94).



Şekil 4.94. Erciş Fay Zonu Batı kesiminde gözlenen faylar ve mekanizma çözümleri, a) Güney Kol, b) Kuzey Kol.

Erciş Fay Zonu, daha batıdan gelen ana kol ve bu koldan ayrılan tali kolların geometrisi ve uzanımı nedeniyle “atkuyruğu (horsetail)” yapısı şeklindedir. Fayın güney kolu olarak nitelendirilen ve Erciş İlçe yerleşimini kateden fay kolu bu kuyruk yapısının kollarından biridir (Şekil 4.94). Ana fay olan “kuzey kol” kuzeye eğimli olup güneydoğuya uzanarak Deliçay

Vadisi alüvyal düzlüğünde sonlanmaktadır (Şekil 4.94). Bölgedeki fayların düzlem ölçümleri üzerinden yapılan kinematik analizler ve sahadaki görünümü aşağıda verilmiştir. Kinematik analizlerde WinTensor programı kullanılmış ve aynı fay üzerinden alınmış ölçüler daha önce belirtildiği gibi bir arada değerlendirilmiştir.

Erciş Fayı Güney Kolu

Bu fayın arazide takip edildiği kesim yaklaşık 5 km civarındadır (Şekil 4.94). Genellikle güncel ve eski alüvyal çökellerin içerisinde kalmaktadır. Bu nedenle de haritalama sırasında bu kesimler olası olarak nitelendirilmiştir. Alüvyal birimler boyunca olan geçkisi ile birlikte fayın uzunluğu yaklaşık 11 km civarındadır. Adilcevaz Kireçtaşı biriminde bazı lokasyonlarda düzlemler net olarak takip edilebilmektedir. Ancak genellikle yüksek röliyeğin yamacında birikmiş moloz birimi altında kaldığından bazı kesimlerde takibi zordur. Düzlemin en iyi gözlemlendiği yerlerden biri olan L45 – 46 lokasyonlarında hem fay çizgileri hem de kertikler net olarak gözlemlenebilmektedir (Şekil 4.95).



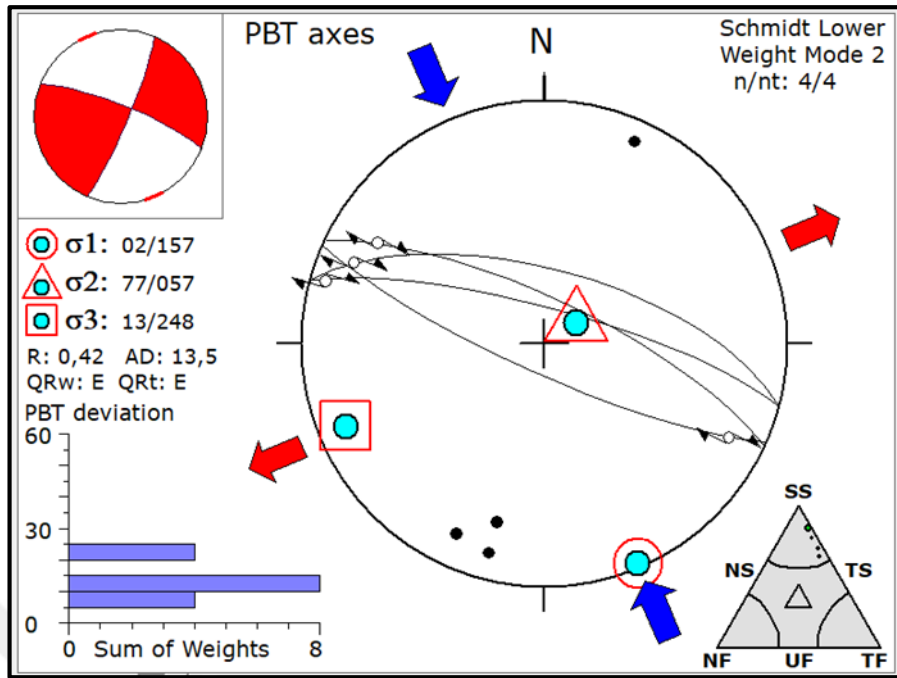
Şekil 4.95. Erciş Fayı Güney Kolu’nun L46 lokasyonunda görünümü, fay çizgileri ve fay kertikleri, sapma açısı (sağ üst küçük resim), bakış yönü KKB.

Bu lokasyonlarda fayın konumu sırasıyla L45 ve L46’da 204/80 ve 025/75 eğimyönü/eğim değerlerindedir. Güney Kol’un takip edilebildiği diğer iki lokasyon olan L47 ve L48 de ise yine kireçtaşı biriminde gelişen fay düzlemi üzerinde fay çizgileri ve fay kertiklerini belirlenmiştir (Şekil 4.96). Fayın buradaki konumu sırasıyla 015/65 ve 015/78 eğimyönü/eğim değerlerindedir.

Fayın düzlem verileri üzerinde WinTensor programı yardımıyla kinematik analiz yapılmıştır. Toplamda 4 adet düzlem verisinden elde edilen analiz sonuçları Şekil 4.97’de verilmiştir. Buna göre, doğrultu atım bileşenin hâkim olduğu ve yaklaşık K20B yönünde sıkışma gerilmesi ve buna dik açılma rejiminin etkin olduğu teyid edilmiştir. Analiz sonucunda asal gerilme yönleri ise σ_1 : 157/02, σ_2 : 057/77, σ_3 : 248/13 eğimyönü/eğim olarak belirlenmiştir.



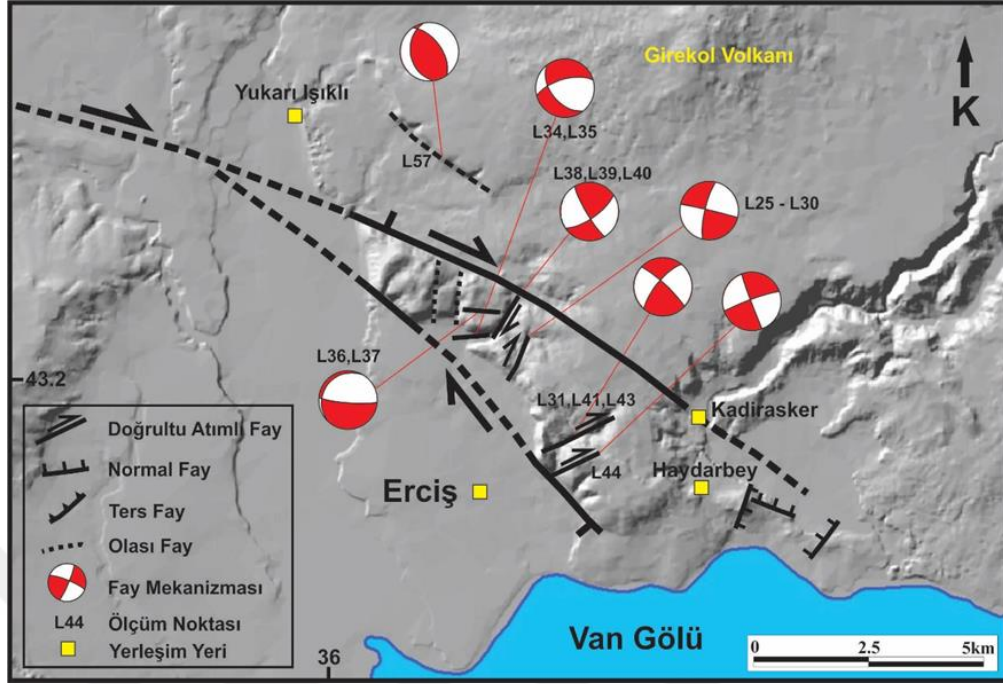
Şekil 4.96. Erciş Fayı Güney Kolu’nun L47 – L48 lokasyonlarındaki görünümü, fay çizgileri ve fay kertikleri (sağ üst küçük resimler), bakış yönü K.



Şekil 4.97. Düzlem verileri ile yapılan stereografik projeksiyon ve kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü doğrultu atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü SS- Doğrultu Atımlı Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki noktalar), projeksiyonda fay düzlemleri, kayma vektörleri (siyah oklar), düzlem kutupları (siyah noktalar) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.

4.2.4.2. Tali Faylar

Erciş Fay Zonu’nda, kuzey ve güney kol arasında kalan bölge içerisinde gözlenen kısa, tali deformasyonların büyük bölümü sağ yönlü doğrultu atımlı karakterdedir. Bu fayların uzanımları yaklaşık KD-GB ve eğimleri de genellikle KB yönündedir. Çalışma alanı içerisinde bu doğrultu atımlı fay düzlemlerince kesilen bir normal fay düzlemi belirlenmiştir. Bu fay yaklaşık D-B uzanımlı ve kuzeye eğimlidir. İnceleme alanının kuzeyine Erciş Fayı Kuzey Kolu’nun kuzeyinde yeralan bölgede bir itki fayı gözlenmiştir (Şekil 4.98). Bu faylara ait düzlem verileri, kinematik analizler ve sahadaki görünümüleri aşağıdaki bölümlerde sunulmaktadır. Takip edilebilmesi açısından fayların isimleri düzlem ölçümü yapılan noktaların isimleri ile aynı verilmiştir.



Şekil 4.98. Erciş Fay Zonu ana kolların arasında gelişen tali faylar, düzlem ölçüm noktaları ve fay mekanizma çözümleri.

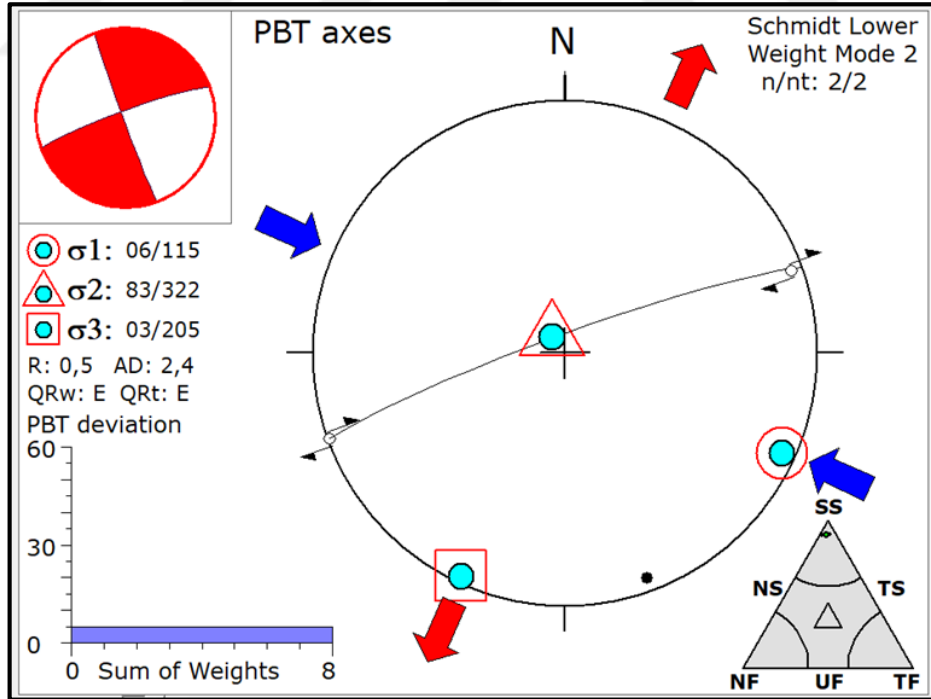
L44 Fayı

Bu lokasyonda fayın konumu 340/84 eğimyönü/eğim değerindedir. Erciş Fayı Güney Kol'una dayanan bu fayın düzlemi üzerinde fay çizgileri ve fay kertiklerini takip etmek mümkündür (Şekil 4.99). Fay çizgilerinin gidiş ve dalım değeri 070/05 olarak ölçülmüştür. Bu haliyle fay tam sağ yönlü doğrultu atım sunmaktadır.

Fayın düzlem verileri üzerinde WinTensor programı yardımıyla kinematik analiz yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre doğrultu atımın hâkim olduğu ve yaklaşık K60B yönünde neredeyse yatay düzlemde, sıkışma gerilmesi ve buna dik açılma rejiminin etkin olduğu teyid edilmiştir. Analiz sonucunda asal gerilme yönleri ise σ_1 : 115/06, σ_2 : 322/83, σ_3 : 205/03 eğimyönü/eğim olarak belirlenmiştir (Şekil 4.100).



Şekil 4.99. L44 tali fayın lokasyondaki görünümü, fay çizgileri ve fay kertikleri (sağ üst küçük resimler), bakış yönü KB.



Şekil 4.100. Düzlem verileri ile yapılan stereografik projeksiyon ve kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü doğrultu atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü SS- Doğrultu Atımlı Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemi, kayma vektörü (siyah oklar), düzlem kutubu (siyah nokta) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.

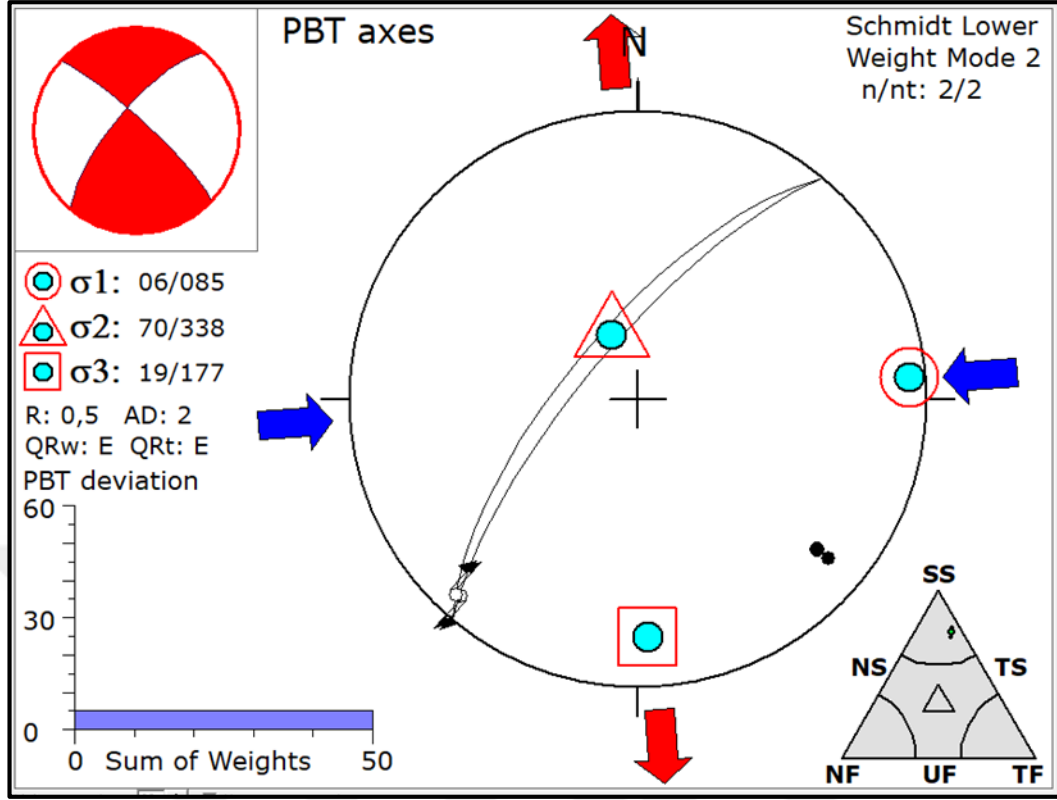
L31, L41, L43 Fayı

Bu fay, L44 fayına yaklaşık paralel konumdadır. KD-GB uzanımlı, çok az KB'ya eğimlidir. Fayın konumu lokasyonlara göre sırasıyla 310/75, 310/70 ve 310/80 eğimyönü/eğim değerlerinde ölçülmüştür. Fay çizgileri ise yine sırasıyla 222/09, 223/08 ve 221/07 gidiş ve dalım değerlerindedir. Fay gözlemlendiği alanda geniş bir kataklastik zona sahiptir (Şekil 4.101). Fay zonu içerisinde baskın düzlemin haricinde de fay düzlemleri belirlemiştir. Bu faya paralel gelişen eklem setleri ile birlikte sahadaki görünüm geniş bir parçalı, kırıklı ve ezik zon şeklindedir. Bu nedenle de yerel halk tarafından bu bölge malzeme ocağı olarak da işletilmiştir.



Şekil 4.101. L31,L41,L43 tali fayın lokasyondaki görünümü, kataklastik fay zonu ve fay çizgileri (küçük resimler), bakış yönü KD.

Fayın düzlem verileri üzerinde WinTensor programı yardımıyla kinematik analiz yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre doğrultu atımın hâkim olduğu ve yaklaşık D-B yönünde neredeyse yatay düzlemde, sıkışma gerilmesi ve buna dik K-G yönlü açılma rejiminin etkin olduğu teyid edilmiştir. Analiz sonucunda asal gerilme yönleri ise σ_1 : 085/06, σ_2 : 338/70, σ_3 : 177/19 eğimyönü/eğim olarak belirlenmiştir (Şekil 4.102).

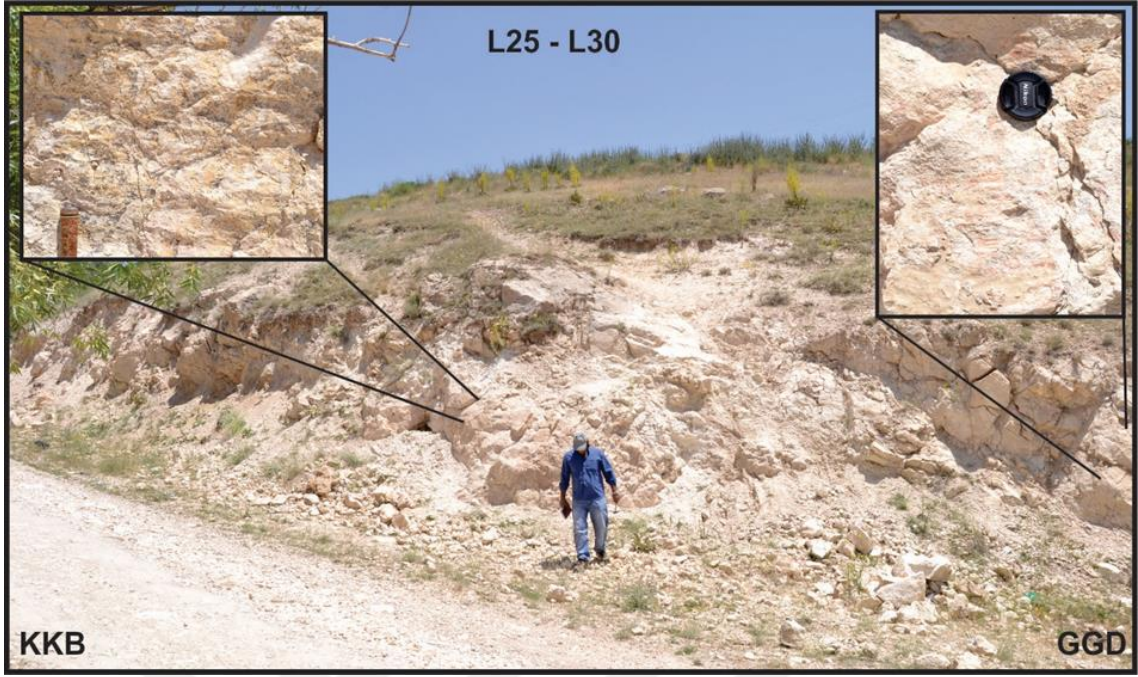


Şekil 4.102. Düzlem verileri ile yapılan stereografik projeksiyon ve kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü doğrultu atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü SS- Doğrultu Atımlı Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemleri, kayma vektörleri (siyah oklar), düzlem kutupları (siyah noktalar) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.

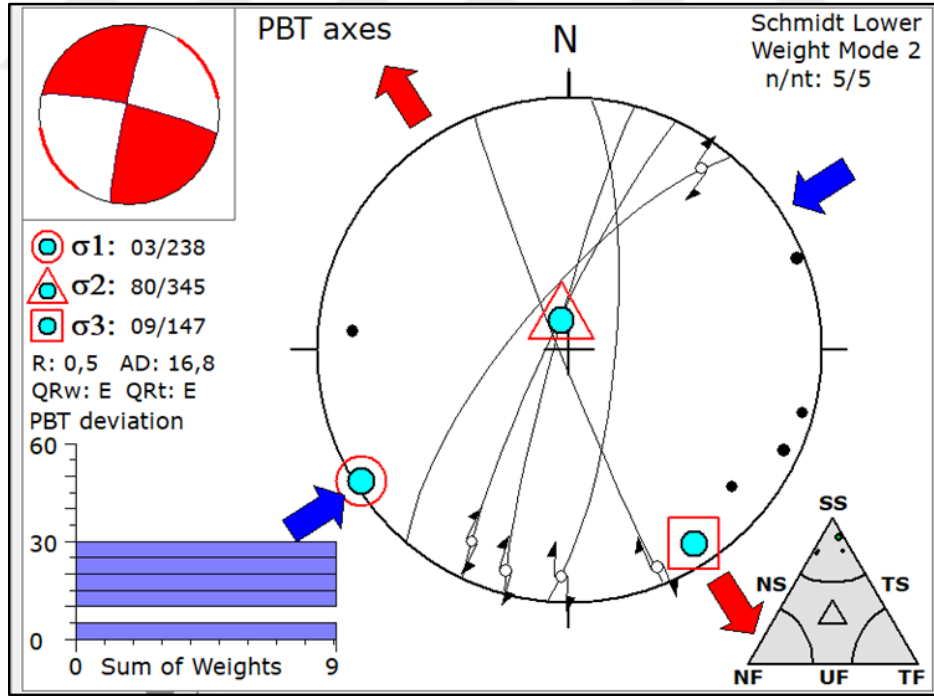
L25 – L30 Fayı

Bu fayın olduğu kesimde L25 noktasından L30 noktasına kadar toplamda 6 farklı düzlemde fayın konumu ve özellikleri belirlenmiştir. Fay, yine makaslama zonu içerisinde kalan, sağ yönlü doğrultu atımlı karakterli bir faydır (Şekil 4.103). Düzlemlerde küçük bileşenlerde de olsa ters ve normal karakter de belirlenmiştir. Fayın gözlemlendiği alan boyunca yoğun breşleşme ve ufalanma mevcuttur.

Fayın düzlem verileri üzerinde WinTensor programı yardımıyla kinematik analiz yapılmıştır. Toplamda 5 düzlem verisi analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre doğrultu atımın hâkim olduğu ve yaklaşık K60D yönünde neredeyse yatay düzlemde, sıkışma gerilmesi ve buna dik yönlü çekme gerilmesinin etkin olduğu teyid edilmiştir. Analiz sonucunda asal gerilme yönleri ise σ_1 : 238/03, σ_2 : 345/80, σ_3 : 147/09 eğimiyönü/eğim olarak belirlenmiştir (Şekil 4.104).



Şekil 4.103. L25 – L30 arası lokasyonlarda belirlenen fayın görünümü, parçalı yapı, ezik zon ve fay çizgileri (küçük resimler), bakış yönü KD.



Şekil 4.104. Düzlem verileri ile yapılan stereografik projeksiyon ve kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü doğrultu atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü SS- Doğrultu Atımlı Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki noktalar), projeksiyonda fay düzlemleri, kayma vektörleri (siyah oklar), düzlem kutupları (siyah noktalar) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.

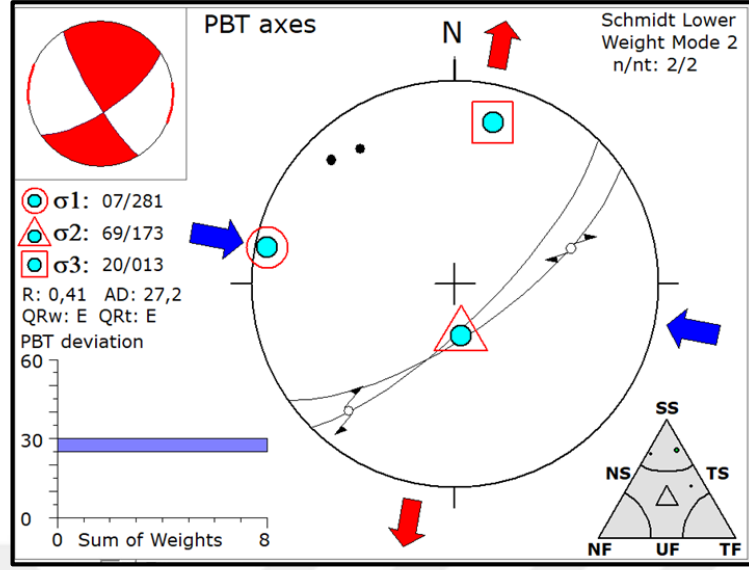
L38-L39-L40 Fayı

Bu fay KD-GB uzanımlı bir vadi içerisinde yüzeylenen Adilcevaz Kireçtaşı biriminde net olarak gözlenmektedir. Sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay karakterindedir. Kaya birimleri bu kesimde fay nedeniyle yer yer parçalı görünümündedir. Fayın arazide gözlenebilen uzunluğu yaklaşık 1 km civarındadır. Kuzey kesimde Pliyosen yaşlı havzaya girildiğinde fay takip edilememektedir. Fayın konumu lokasyonlara göre sırasıyla 135/75, 145/70 ve 134/78 eğimiyönü/eğim değerlerinde ölçülmüştür. Fay düzlemlerinde gözlenen çizgiler ise sırasıyla, 220/20, 073/40 ve 052/32 gidiş ve dalım değerlerindedir. L39 noktasındaki ölçümde fayın normal bileşeni oldukça belirgindir (Şekil 4.105).



Şekil 4.105. L38 – L39 lokasyonlarda belirlenen fayın görünümü, fay çizgileri (küçük resim), bakış yönü GB.

Fayın düzlem verileri üzerinde WinTensor programı yardımıyla kinematik analiz yapılmıştır. Toplamda iki ana düzlem verisi analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre doğrultu atımın hâkim olduğu ve yaklaşık K80B yönünde neredeyse yatay düzlemde, sıkışma gerilmesi ve buna dik yönlü çekme gerilmesinin etkin olduğu teyid edilmiştir. Analiz sonucunda asal gerilme yönleri ise σ_1 : 281/07, σ_2 : 173/69, σ_3 : 013/20 eğimiyönü/eğim olarak belirlenmiştir (Şekil 4.106).



Şekil 4.106. Düzlem verileri ile yapılan stereografik projeksiyon ve kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü doğrultu atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü SS- Doğrultu Atımlı Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki noktalar), projeksiyonda fay düzlemleri, kayma vektörleri (siyah oklar), düzlem kutupları (siyah noktalar) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.

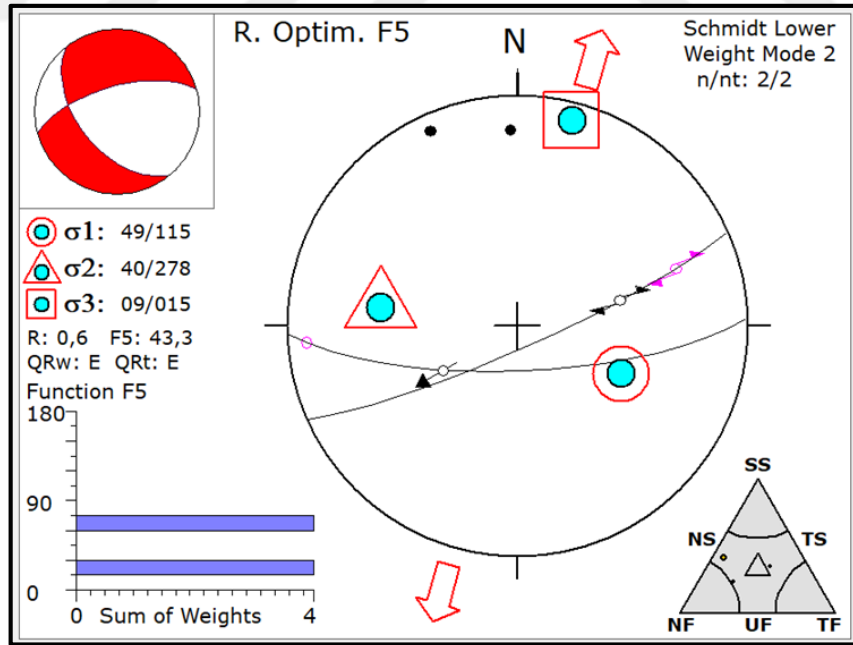
L34 – L35 Fayı

L34 ve L35 Lokasyonlarında takip edilebilen bu fay KD-GB uzanımlıdır. Normal bileşenin baskın olduğu sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay karakterindedir. Adilcevaz Kireçtaşı birimi genel olarak gevrek karbonat kayaçlarından oluşmaktadır. Bu nedenle küçük boyutlu deformasyonlarda dahi parçalı kırıklı bir yapıya sahip olabilmektedir (Şekil 4.107). Fayın bulunduğu bu kesimde de litoloji aynı özelliktedir. Bu fay arazide kuzeye doğru devam edildiğinde yukarıda anlatılan L38-39-40 lokasyonlarında gözlenen fay ile birleşmektedir. Fayın konumu lokasyonlara göre sırasıyla 178/74 ve 156/82 eğim yönü/eğim değerlerinde ölçülmüştür. Fay düzlemlerinde gözlenen çizgiler ise sırasıyla, 239/59 ve 076/52 gidiş ve dalım değerlerindedir.

Fayın düzlem verileri üzerinde WinTensor programı yardımıyla kinematik analiz yapılmıştır. Toplamda iki ana düzlem verisi analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sağ yönlü doğrultu atımlı bileşenli normal faylanma karakterinin hâkim olduğu ve yaklaşık K20B yönünde neredeyse yatay düzlemde çekme gerilmesinin etkin olduğu teyid edilmiştir. Analiz sonucunda asal gerilme yönleri ise σ_1 : 115/49, σ_2 : 278/40, σ_3 : 015/09 eğim yönü/eğim olarak belirlenmiştir (Şekil 4.108).



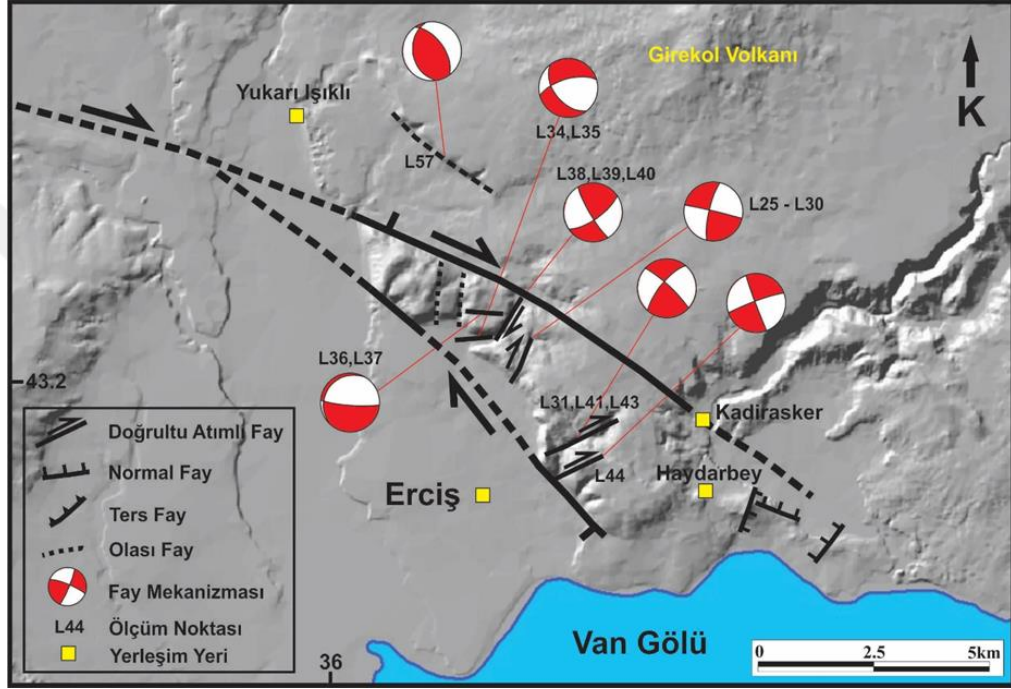
Şekil 4.107. L34 – L35 lokasyonlarda belirlenen fayın parçalı görünümü, fay çizgileri (küçük resim), bakış yönü KB.



Şekil 4.108. Düzlem verileri ile yapılan stereografik projeksiyon ve kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü sağ yön bileşenli normal atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü NS Normal Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki noktalar), projeksiyonda fay düzlemleri, kayma vektörleri (siyah oklar), düzlem kutupları (siyah noktalar) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.

L36 – L37 Fayı

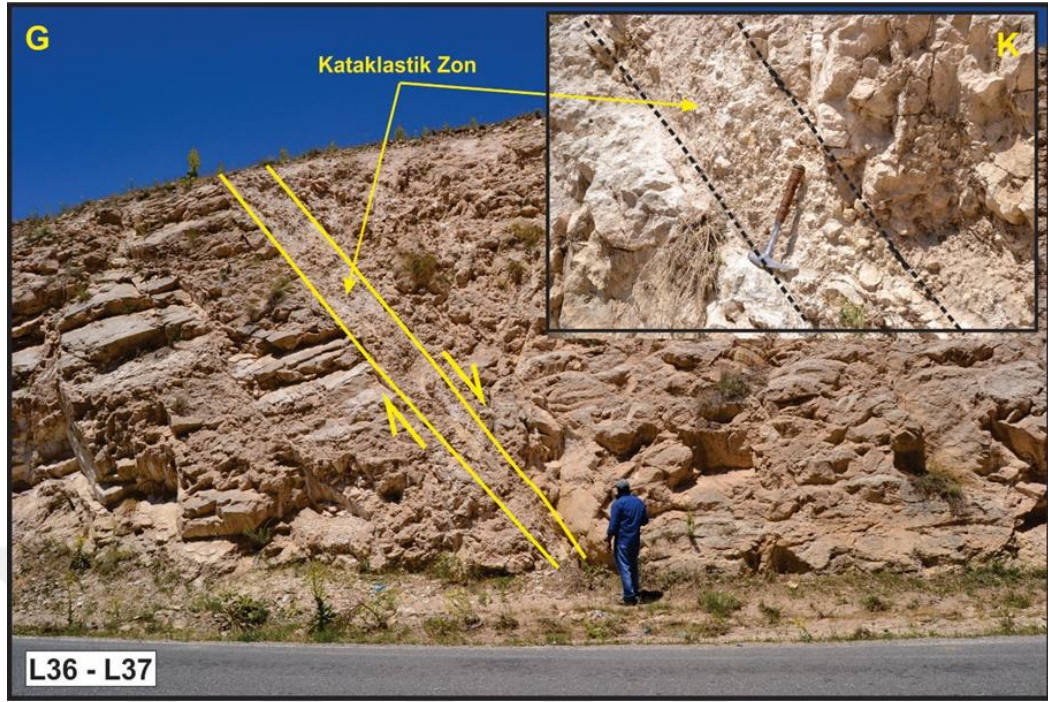
İnceleme alanı içerisinde, özellikle Erciş Fay Zonu bölgesinde en bariz şekilde gözlenebilen tek normal faylanma karakterindeki faydır. Fayın yaklaşık konumu 352/54 eğimyönü/eğim değerlerinde, kuzeye eğimli olup yukarıda bahsi geçen sağ yönlü doğrultu atımlı faylarla doğu ucunda birleşmektedir (Şekil 4.109).



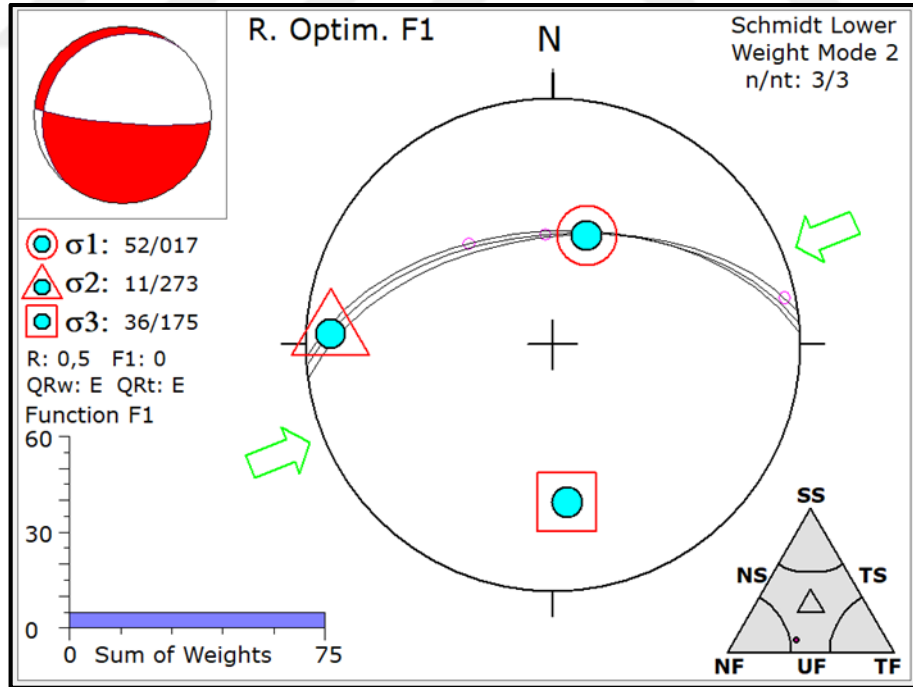
Şekil 4.109. Erciş Fay Zonu'nda gelişen tali faylar ve mekanizma çözümleri, L36-L37 Normal Fayı.

Fayın sahada en belirgin özelliği yaklaşık 50 cm kalınlığında kataklastik-breşik fay zonu oluşturmuş olmasıdır. Bu zon, karbonat çimentolu, köşeli-yarı köşeli kireçtaşı çakıllarından oluşmaktadır (Şekil 4.110). Gerek bu fayın gerekse vadiyi kateden diğer fayların etkisiyle birçok yönde eklem takımı gelişmiştir.

Fayın düzlem verileri üzerinde WinTensor programı yardımıyla kinematik analiz yapılmıştır. Toplamda 3 ana düzlem verisi analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre çok az sol yönlü doğrultu atımlı bileşenli normal faylanma karakterinin hâkim olduğu gözlenmektedir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken bir durum, fayın çekme gerilmesi baskınlığından ziyade K70D yönlü sıkışma nedeniyle yani kesme (shear) gerilmesinin etkisinde geliştiğidir. Analiz sonucunda asal gerilme yönleri ise σ_1 : 017/52, σ_2 : 273/11, σ_3 : 175/36 eğimyönü/eğim olarak belirlenmiştir (Şekil 4.111).



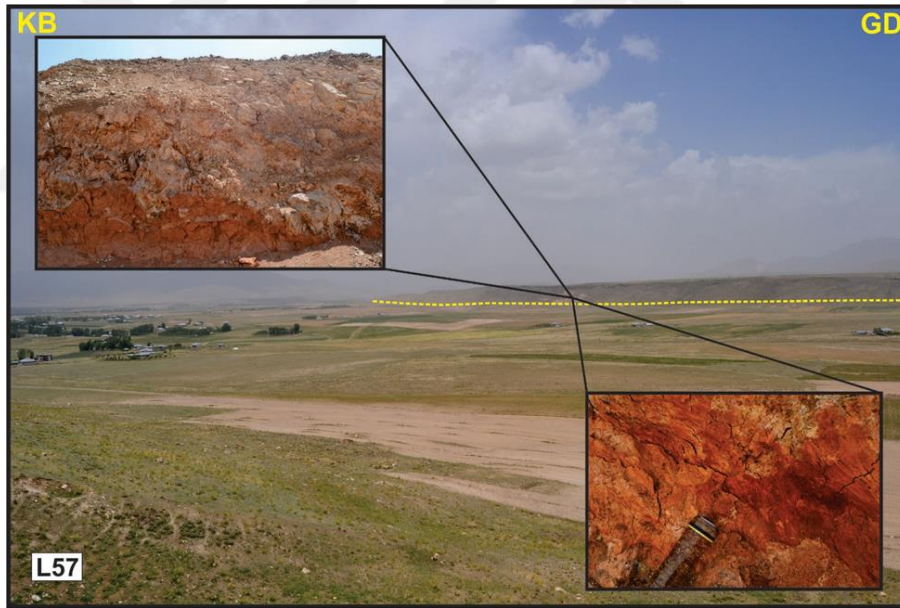
Şekil 4.110. L36– L37 lokasyonlarda belirlenen normal faylanma ve kataklastik zonu (küçük resim), bakış yönü KB.



Şekil 4.111. Düzlem verileri ile yapılan stereografik projeksiyon ve kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü çok az sol bileşenli normal atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü NF Normal Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemleri ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.

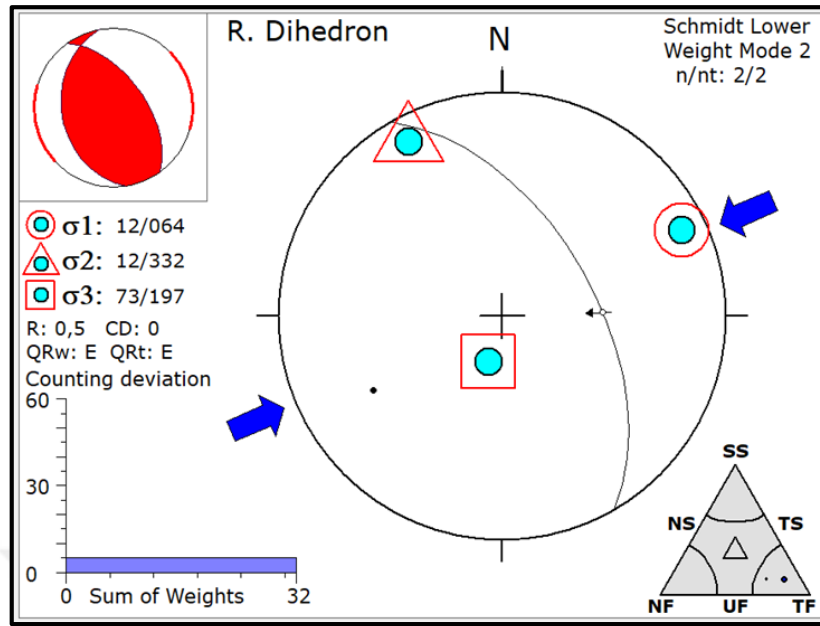
L57 Fayı

L57 Fayı inceleme alanında Erciş Fayı Kuzey Kolu'nun kuzeyinde kalan Pliyosen yaşlı karasal kırıntılı çökel basenin kuzeyini sınırlamaktadır. Aslında bu fay tektonizma kökenli bir düzlem olmaktan ziyade kuzeydeki Girekol Volkanına ait Kuvaterner yaşlı bazalt lavlarının GD yönünde akması ve katılaşmaya başladığı süreçte oluşturduğu süreksizlik olarak tanımlanmıştır. Sahada görsel olarak bir fayın tüm verilerini sergilemektedir. Fay sarplığı çok belirgin olup harekete bağlı gelişen kayma çizgileri de ölçülebilmektedir (Şekil 4.112). Bazalt biriminin düzlemin uç kısmındaki kesimi oldukça kırıklı ve parçalıdır. Sürüklenmenin ve de itilmenin etkisiyle breşik yapılar, ezilme zonları gelişmiştir. Bu düzlem, Girekol Volkanizmasının geç evresinde yüzeye ulaşan ve batı-kuzeybatı yönünde akan lavların (Oyan, 2011) kendinden önceki katılaşmış veya yarı katı kıvamdaki lavları Pliyosen yaşlı birimler üzerine itelemesi/ötelemesiyle gelişmiştir.



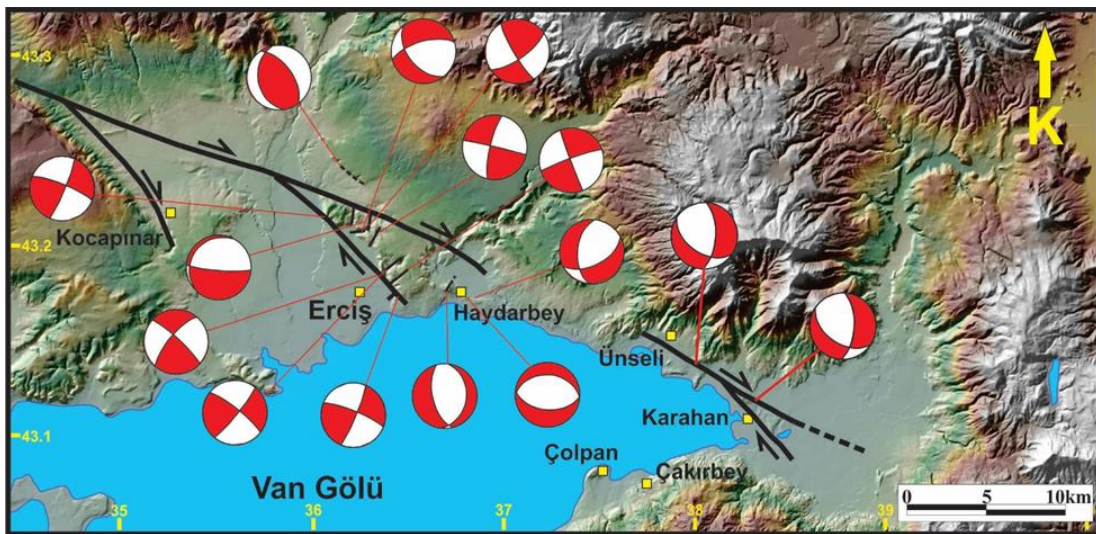
Şekil 4.112. L57 lokasyonunda belirlenen itki düzleminin görünümü, gelişen kataklastik ve pışme zonları ile itki çizgileri (küçük resimler), bakış yönü KB.

Düzlemin konumu 060/56 eğimyönü/eğim değerinde, gelişen çizgilerin gidiş ve dalımı ise 088/53 değerlerinde ölçülmüştür. Düzlem için yapılan kinematik analizde ise çok az sol yönlü doğrultu atımlı bileşenli ters faylanma karakterinin hâkim olduğu gözlenmektedir. İtelenme yönü yaklaşık K60D yönündedir. Analiz sonucunda asal gerilme yönleri ise σ_1 : 064/12, σ_2 : 332/12, σ_3 : 197/73 eğimyönü/eğim olarak belirlenmiştir (Şekil 4.113).



Şekil 4.113. Düzlem verisi ile yapılan stereografik projeksiyon ve kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü ters faylanmayı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü TF Ters Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki noktalar), projeksiyonda fay düzlemi, kayma vektörü (siyah ok), düzlem kutubu (siyah nokta) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.

Çalışma alanı kapsamında, sahada gözlemi yapılmış, düzlem verileri ve genel özellikleri belirlenmiş ve Erciş Fay Zonu içerisinde yer almış tüm faylar Şekil 4.114'te mekanizma çözümü ile gösterilmiştir. Bu fayların düzlemlerine ait veriler ve kinematik analiz sonucu elde edilen asal gerilme yönlerinin verildiği özet bilgiler de Tablo 4.1'e aşağıda sunulmuştur.



Şekil 4.114. Erciş Fay Zonu'nun da gözlenen faylar ve bu çalışma kapsamında elde edilen düzlem verilerine ait mekanizma çözümleri.

Tablo 4.1. Fay düzlemi bilgileri ve kinematik analiz sonuçları özet tablosu (Lok: Lokasyon, Fay Mek: Fay Mekanizması)

Fay	Lok.	Düzlem		Fay Çizgisi		Fayın Türü	Asal Eksenler			Fay Mek.
		Eğim Yönü	Eğim	Gidiş	Dalım		61	62	63	
Erciş Fayı Doğu Segmenti	L58	220	80	-	-	Normal / Sağ Yönlü	336/53	163/37	071/03	
	L59	060	80	-	-					
	L50	230	48	-	-					
	L51	210	65	-	-					
	L52	260	53	-	-					
	L53	245	66	-	-					
Erciş Şeker Fab. Kuzeyi	L54	215	85	-	-	Normal / Sol Yönlü	034/57	214/33	304/00	
	L62	110	55	-	-					
	L63	140	73	-	-					
	L64	317	66	-	-					
	L65	135	50	-	-					
	L66	320	53	-	-					
Haydarbey	L67	325	75	-	-	Normal	050/74	172/09	264/13	
	L60	084	77	-	-					
Haydarbey	L61	085	76	-	-	Normal	013/84	274/01	184/06	
	L69	005	40	-	-					
Erciş Fayı Güney Kolu	L45	204	80	117	16	Sağ Yönlü Doğrultu Atım	157/02	057/77	248/13	
	L46	025	75	301	21					
	L47	015	65	293	16					
	L48	015	78	286	07					
Tali Fay	L44	340	84	070	05	Sağ Yönlü Doğrultu Atım	115/06	322/83	205/03	
	L31	310	75	222	09					
Tali Fay	L41	310	70	223	08	Sağ Yönlü Doğrultu Atım	085/06	338/70	177/19	
	L43	310	80	221	07					
Tali Fay	L25	285	85	196	10	Sağ Yönlü Doğrultu Atım	238/03	345/80	147/09	
	L26	248	87	158	08					
	L27	263	64	-	-					
	L28	295	83	207	16					
	L29	095	75	182	11					
	L30	310	73	036	12					
Tali Fay	L38	135	75	220	20	Sağ Yönlü Doğrultu Atım	281/07	173/69	013/20	
	L39	145	70	073	40					
	L40	134	78	052	32					
Tali Fay	L34	178	74	239	59	Normal / Sağ Yönlü	115/49	278/40	015/09	
	L35	156	82	076	52					
Tali Fay	L36	352	54	-	-	Normal	017/52	273/11	175/36	
	L37	357	52	-	-					
Tali Fay	L57	060	56	088	53	Ters	064/12	332/12	197/73	

4.2.4.3. Timar - Çakırbey Fay Zonu

İnceleme alanının güney bölümünde gözlenen ana süreksizlikler GB'daki yerleşim yeri olan Timar (Gedikbulak) Köyünden, KD'ya doğru Çakırbey ve Çolpan Köylerine kadar, KD-GB uzanımlı doğrultu atımlı faylar ve bu faylarla ilişkilendirilecek diğer tali faylardan oluşmaktadır (Şekil 4.115). Bölge içerisinde gözlenen ana faylar Çolpan Köyü güneyi ile Çakırbey Köyü kuzeyinden geçen ve GB'ya doğru uzanan sağ yönlü doğrultu atımlı fay ile Çakırbey Köyü güneyinden başlayıp yine GB yönüne doğru uzanan sol yönlü doğrultu atımlı faydır. Bu fayların yanında gerilme sistemine uygun olarak Pliyosen yaşlı volkanik birimler içerisinde normal faylar ve Kuvaterner yaşlı eski göl çökelleri içerisinde ters faylar gözlenmiştir.



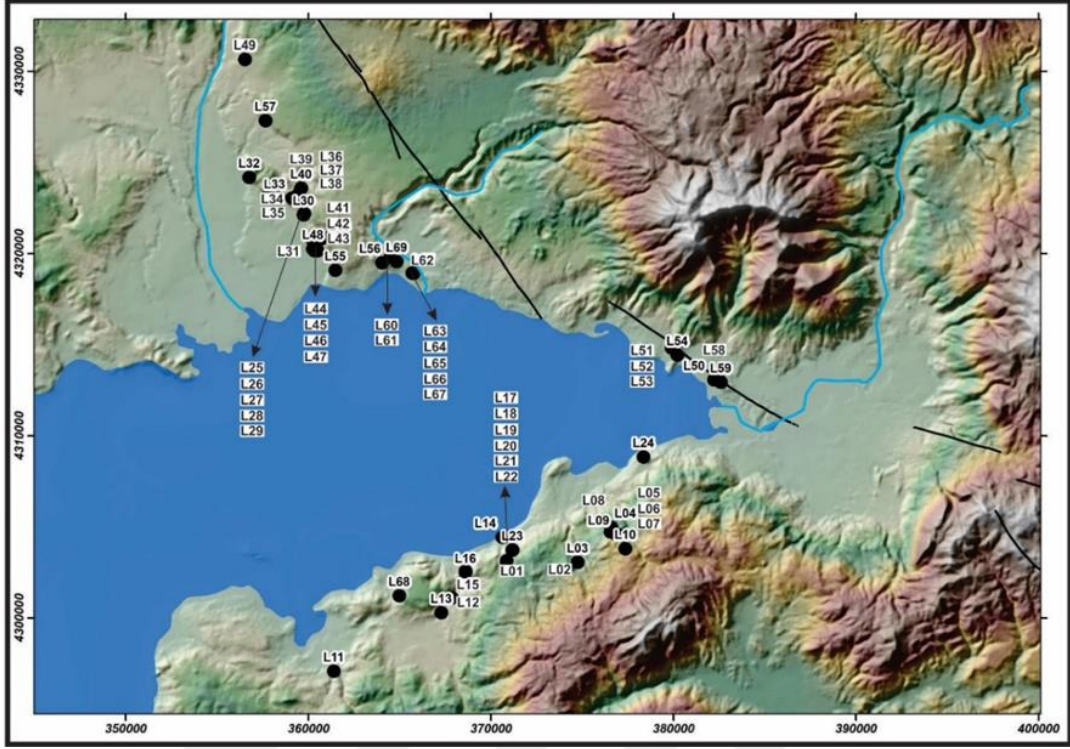
Şekil 4.115. İnceleme alanında gözlenen ana fay zonları, Erciş Fay Zonu (kuzey) ve Timar - Çakırbey Fay Zonu (güney).

Bölgede geniş bir alanda yüzeylenen Van Formasyonu içerisinde kireçtaşı kökenli olistolitler bulunmaktadır. Bu olistolitlerin bazılarında tektonik yerleşimin etkisi olarak çerçeve fayları gelişmiştir. Olistolitler kireçtaşı kökenli olup içerisinde yeraldıkları ana litoloji ile yoğunluk farkı bulunmaktadır. Genellikle de içerisinde yeraldıkları birimlerden daha az yoğunudur.

Dolayısıyla bölgesel tektonizma içerisinde gelişen hareketler nedeniyle içinde bulundukları ana kayadan sıyrılarak yüzeye yerleşme eğilimindedir. Bu haliyle gerek Van Formasyonu gerekse melanj türü kaya gruplarının içerisinde gözlenen kireçtaşı olistolitlerinin normal bileşen kökenli birçok süreksizlik (fay) ile sınırlandığı görülmektedir. Bununla birlikte olistolitlerin yüzeydeki konumları sadece faylı dokanakla değil genellikle de uyumsuzluk sınırlarıyla gelişmektedir. Ana kaya grubu bölgede kiltası, kumtaşı ve silttaşı ile temsil edilmektedir. Kireçtaşı olistolitleri doğal olarak bu litolojilere oranla daha dayanımlı ve ayrışma, bozuşma karşısında daha dirençlidir. Dolayısıyla da çevresi ayrışmaya, aşınmaya uğrayan bir olistolit doğal olarak yükselimleri oluşturmaktadır. Birinci durumun yani çerçeve faylarının gözlenmesi durumu inceleme alanı içerisinde de bulunmaktadır, L7 lokasyonundan yapılan düzlem ölçümü bu tür bir yapıya aittir.

Bölgedeki aktif tektonizmanın bir diğer etkisi ise aktif veya pasif heyelanlardır. Genellikle Van Gölü'ne doğru uzanımları olan farklı boyutlarda birçok kütle hareketi bölgeyi etkisi altına almıştır. Bu nedenle de gerek olistolitlerin gerekse birimlere ait süreksizliklerin birçoğu ilksel konumunu yitirmiştir. Fay düzlemi ölçümü yapılan noktalarda bu duruma dikkat edilmiş olup kütle hareketi içerisinde veya etkisinde kalan noktalar değerlendirme dışı bırakılmıştır.

Çalışma kapsamında güney bölgede toplam 25 lokasyonda fay düzlemi ölçümü yapılmıştır (Şekil 4.116). Bu düzlemlerin bazıları aynı fay üzerinde ve benzer karakterlerde olduğundan analiz sırasında birlikte değerlendirilmiştir. Bazı düzlemler ise devamlılığı olmaması nedeniyle analiz edilmemiştir.

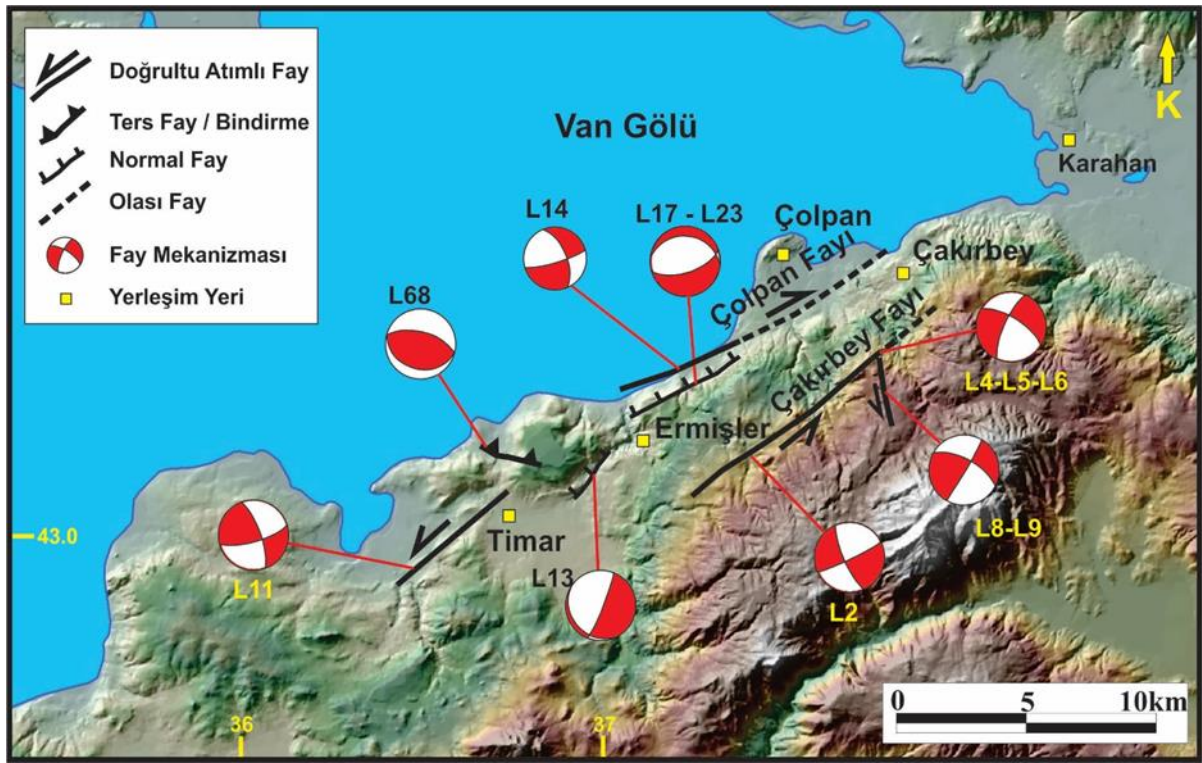


Şekil 4.116. Fay düzlemi ölçüm lokasyonlarının dağılımı (bu çalışma), kalın siyah çizgiler diri faylar (Emre ve diğ. 2013).

Bölgede gözlenen en önemli süreksizlikler Çakırbey Köyü kuzeyindeki sarplıktan başlayan, Çolpan Köyü'nün üzerinde olduğu eski ve hemen doğusundaki yeni alüvyal fanın güneyini kateden sağ yönlü doğrultu atımlı Çolpan Fayı ve daha güneyde Çakırbey Köyü güneyinden GB'ya uzanan sol yönlü doğrultu atım karakterindeki Çakırbey Fayı'dır (Şekil 4.117). Çolpan Fayı Koçyiğit (2013) tarafından "Çakırbey Fayı" olarak tanımlanmıştır.

Konum olarak bu fay yaklaşık aynı uzanımda ancak sol yönlü olarak tanımlanmıştır (Koçyiğit 2013). Bu çalışmada Çakırbey Fayı olarak nitelendirilen fay ise Sağlam ve diğ. (2020) makalesinde "Çolpan Fayı" olarak isimlendirilmiş ancak ters fay karakterinde olduğu belirtilmiştir. Fayın haritalandığı yer ise bu çalışmada verilen yer ile hemen hemen aynı konumdadır. Her iki fay ile ilgili değerlendirmeler tartışma bölümünde detaylandırılacaktır.

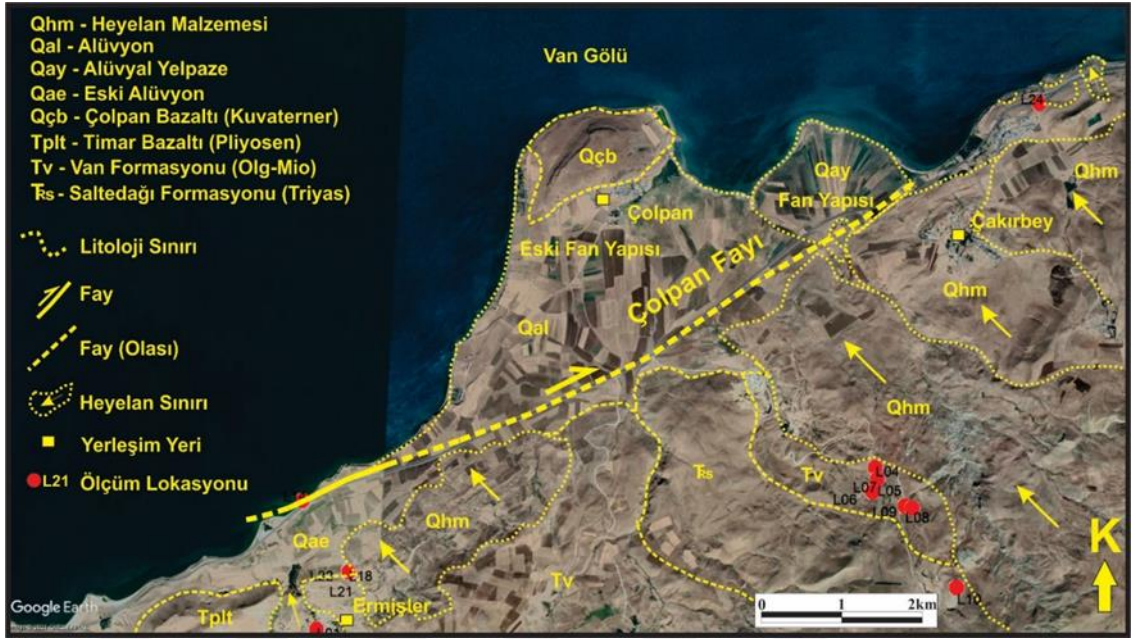
Bölgede, Kuvaterner çökelleri kesen önemli faylardan biri Timar Köyü kuzeyinde eski göl çökelleri içerisinde gözlenen ters fay karakterindeki faydır. Bu fayın olası yaşını belirlemek için kırıntılı çökellerden ve içerdiği fosillerden örnek alınmış ve hem radyokarbon hem de Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) yöntemi ile yaş tayini yaptırılmıştır. Detayları ilgili fayın anlatımı sırasında verilecektir.



Şekil 4.117. Güney kesimde gözlenen faylar ve mekanizma çözümleri.

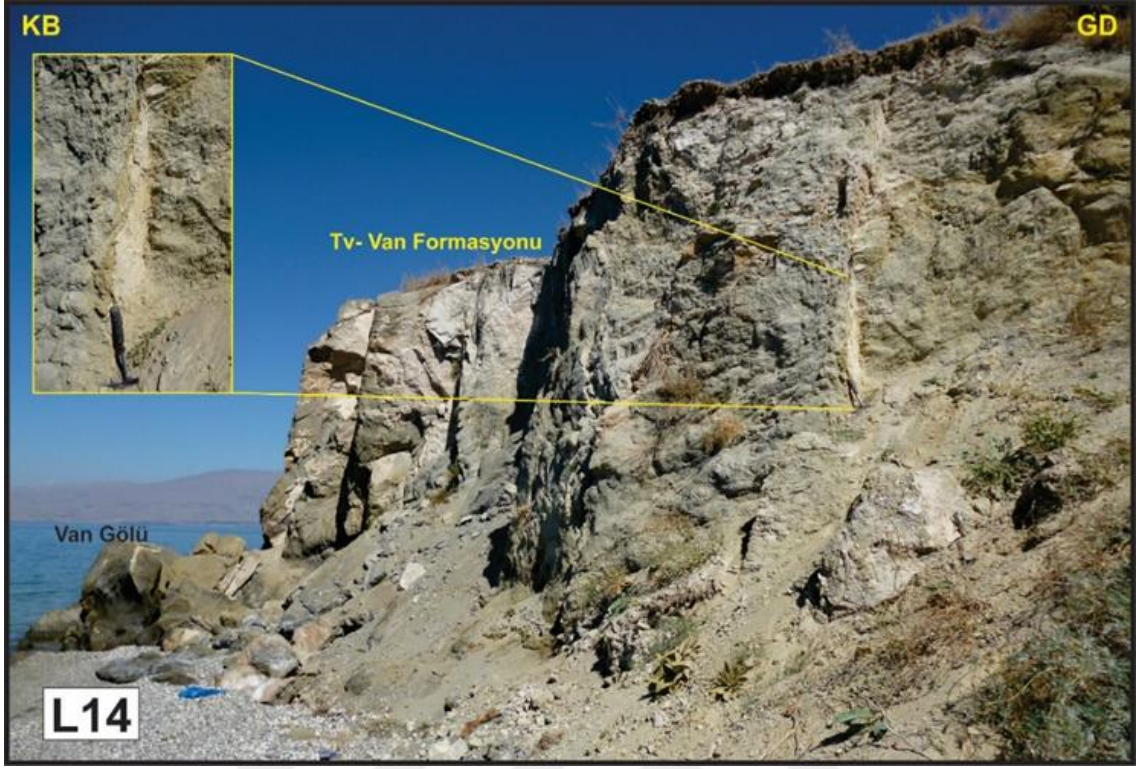
Çolpan Fayı

Çolpan Fayı'nın inceleme alanı içerisinde en iyi gözlemlendiği lokasyon, fayın GB ucuna doğru gölün kenarındaki L14 lokasyonudur (Şekil 4.117). Burada göle paralel şekilde uzanan ve yaklaşık 80° eğimli kumtaşı tabakaları ile birlikte fayın konumu $172/87$ eğimyönü/eğim değerlerindedir. Fay, KD'ya doğru Çolpan Köy yerleşiminin bulunduğu eski alüvyal fanın güneyini geçerek KD'ya doğru uzanmaktadır (Şekil 4.118). Fayın güneydoğusunda sarplıklar ve ani yükselimler mevcuttur. Bu fayla ilintili olduğu düşünülen Çolpan Köyünde yüzeylenen 570 binyıl (Lebedev ve diğ. 2010) yaşındaki Bazalt biriminin fayın uzanımı boyunca şekillenmiş olması kaynak fayının Çolpan Fayı olduğuna ilişkin kuvvetli bir veridir. Çolpan Bazaltı dışında bölgede Kuvaterner yaşlı volkanik birim bulunmamaktadır. Bu anlamda fayın aktivitesi ve volkanizma ilişkisi de önemlidir.



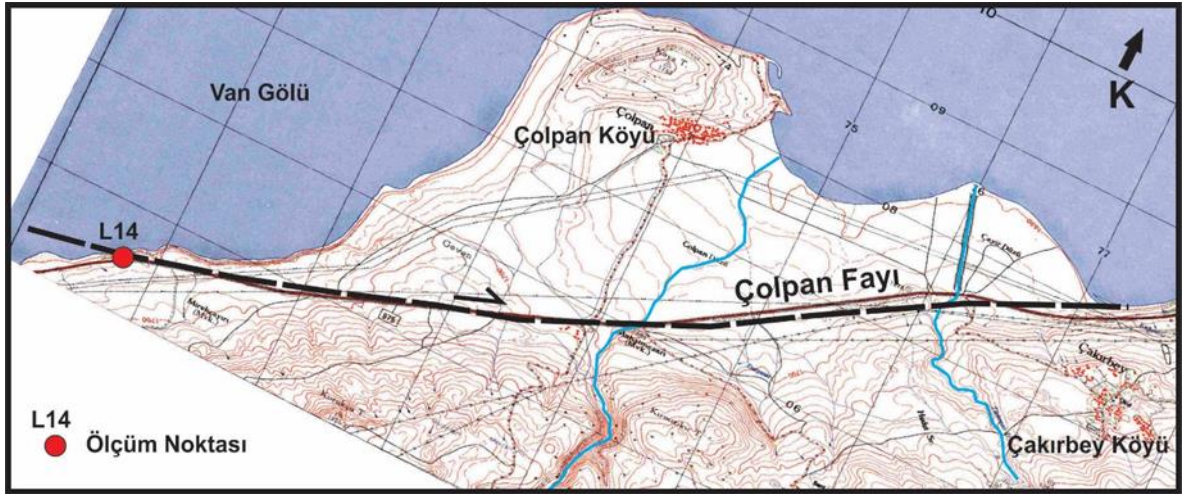
Şekil 4.118. Çolpan Fayı civarının jeolojisi ve bölgedeki heyelanların konumu (uydu görüntüsü GoogleEarth) .

Çolpan Fayı'na ait düzlem Van Gölü kıyısında, L14 nolu lokasyonda takip edilebilmiştir (Şekil 4.119). Burada Van Formasyonuna ait kalın kumtaşı-ince çakıltası tabakalarını katederek devam eden düzlemin konumu $172/87$ eğimyönü/eğim değerlerinde, fay çizgileri ise $260/33$ gidiş ve dalımlı olarak ölçülmüştür. Fayın ve dolayısıyla deformasyonun etkisi ile birime ait tabakaların dik konumda olduğu, tabaka araları da dâhil eklem yüzeylerinin kalsit dolgu ile sıvandığı gözlenmiştir.

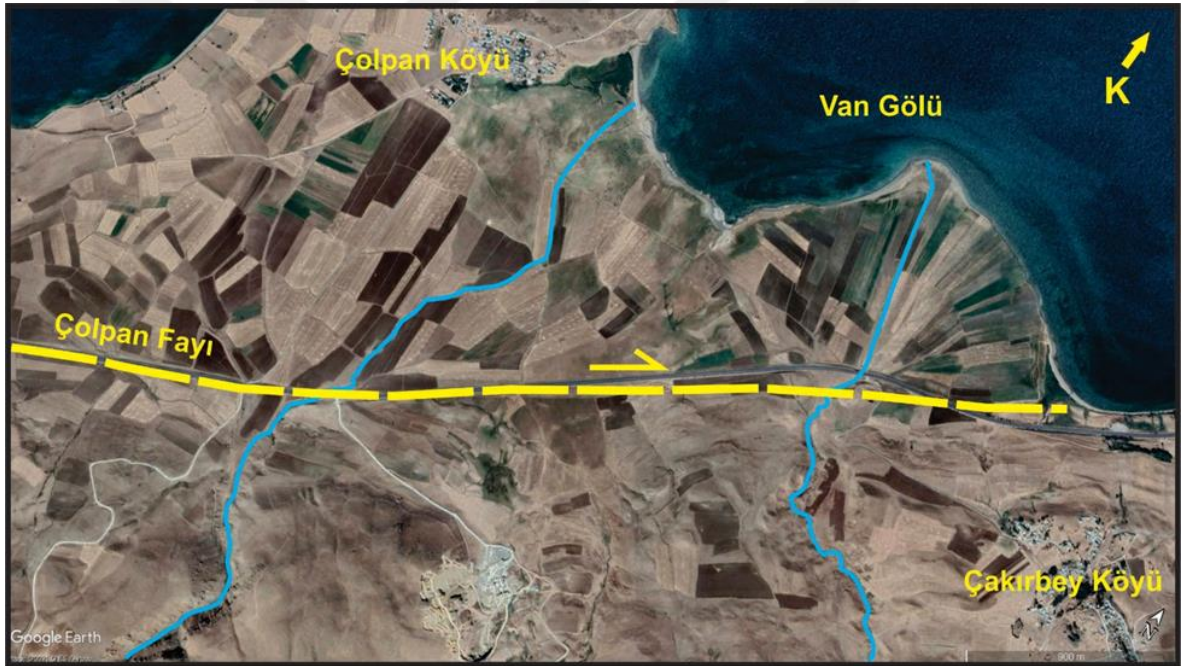


Şekil 4.119. Van Gölü kıyısında gözlenen dik tabakalar ve Çolpan Fayı'na ait düzlem (küçük fotoğraf), bakış yönü KD.

Fayın morfolojik etkileri ise bölgedeki iki alüvyal fanı oluşturan ana derelerdeki yerdeğiştirmelerle belirgindir (Şekil 4.120). Güneybatıdaki büyük alüvyal fanı oluşturan ana derede yaklaşık 220 m, hemen kuzeydoğusunda kalan görece küçük olan alüvyal fanı oluşturan ana derede ise yaklaşık 120 m yerdeğiştirme takip edilebilmiştir (Şekil 4.121). Güneybatıdaki fan yapısının içerisinde dere bir kez daha sağa doğru sıçrama yapmaktadır. Bu veriler doğrultusunda Kuvaterner yaşlı birimlerde gözlenen yerdeğiştirmeler Çolpan Fayı'nın Holosen dönemi aktivitesi ile ilgili önemli veri sağlamaktadır. Son yıllarda gerçekleşmiş bazı depremlerin odak merkezleri Çolpan Fayı üzerine ve çok yakınına denk gelmektedir. Depremsellik bölümünde bu veriler ayrıca sunulacaktır.



Şekil 4.120. Çolpan Fayı boyunca, alüvyal fan oluşumunu sağlayan ana derelerdeki yerdeğişimler.



Şekil 4.121. Çolpan Fayı boyunca, alüvyal fan oluşumunu sağlayan ana derelerdeki yerdeğişimler (altlık GoogleEarth görüntüsü, 2021).

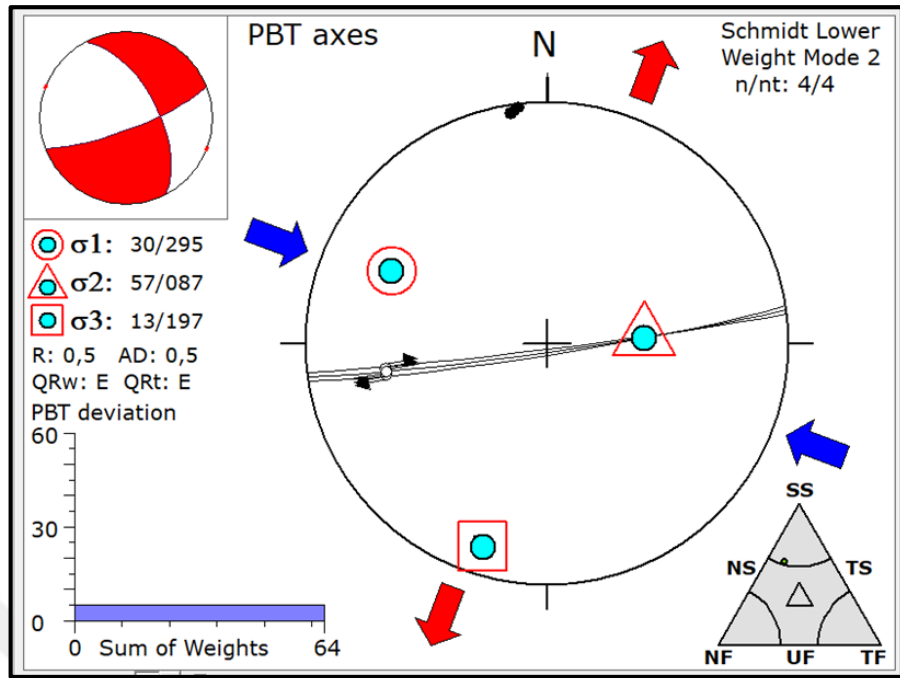
Fayın bir başka düzlemini yine göl kıyısında L14 lokasyonu ilerisinde tekrar görmek mümkündür (Şekil 4.122). Burada volkanosedimenter istif içerisinde yüzeyleyen fay yaklaşık aynı konumdadır. İlgili lokasyonda dikkat çeken bir nokta fayın bulunduğu kesimde yerinden taze kopmuş ve devrilmiş birçok blok boyutu malzemenin bulunmasıdır. Saha çalışması 23 Ekim 2011 Van Depremi sonrasında yapılmıştır. Olasılıkla ana şok sürecinde fay düzlemindeki zayıflık zonu nedeniyle blok düşmeleri gerçekleşmiş veya ana şok sonrası bölge genelinde

devam eden sismik hareketlerden biri Çolpan Fay düzlemi üzerinde gerçekleşmiştir. Bu konu ile ilgili depremsellik başlığı altında veriler sunulacaktır.



Şekil 4.122. Van Gölü kıyısında gözlenen volkanosedimenter birimler ve Çolpan Fayı düzlemi, bakış yönü KD.

Fayın düzlem verileri üzerinde WinTensor programı yardımıyla kinematik analiz yapılmıştır. Toplamda 4 düzlem verisi analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre normal bileşen karakteri olan sağ yönlü doğrultu atımın hâkim olduğu ve yaklaşık K65B yönünde eğimli düzlemde, sıkışma gerilmesi ve buna dik yönlü çekme gerilmesinin etkin olduğu teyid edilmiştir. Analiz sonucunda asal gerilme yönleri ise σ_1 : 295/30, σ_2 : 087/57, σ_3 : 197/13 eğimyönü/eğim olarak belirlenmiştir (Şekil 4.123).



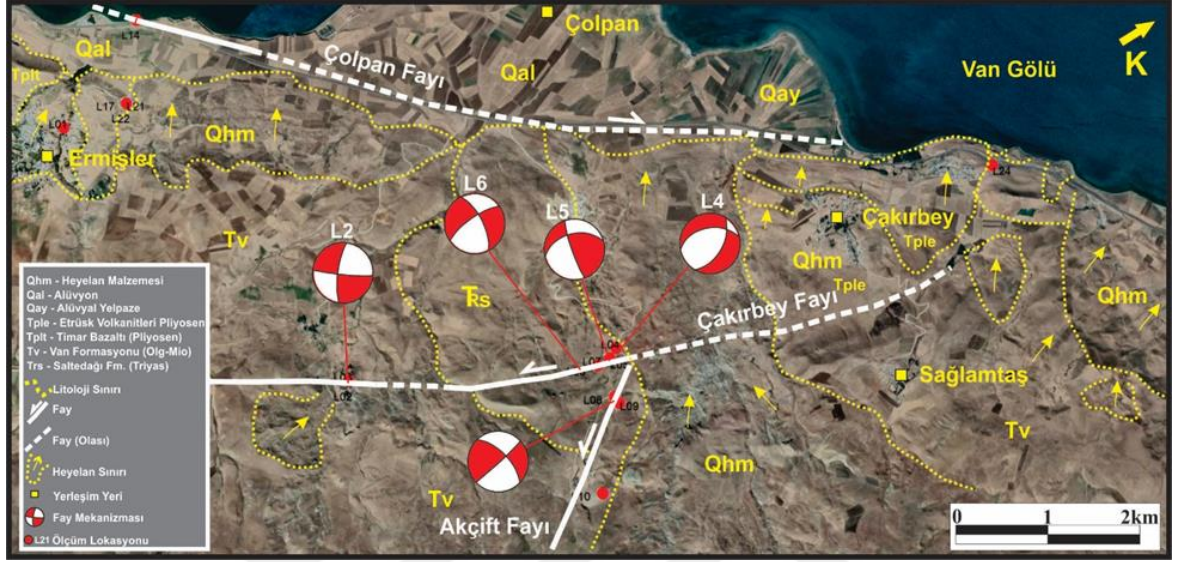
Şekil 4.123. Düzlem verileri ile yapılan kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü doğrultu atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü SS - Doğrultu Atımlı Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki noktalar), projeksiyonda fay düzlemleri, kayma vektörleri (siyah oklar), düzlem kutupları (siyah noktalar) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.

Çakırbey Fayı

Çakırbey Fayı, inceleme alanı güneyinde Sağlamtaş – Çakırbey Köyleri arasından başlayıp yaklaşık 8 - 10 km boyunca GB yönünde uzanan, sol yönlü doğrultu atımlı bir faydır (Şekil 4.124). Fay düzleminin en iyi görüldüğü lokasyonlar L2, L4, L5 ve L6 lokasyonlarıdır (Şekil 4.126). Bu lokasyonlarda fayın konumu sırasıyla 155/85, 317/46, 285/47 ve 294/73 eğimyönü/eğim derecesi cinsinden ölçülmüştür. Fay çizgileri ise yine sırasıyla, 066/14, 270/35, 008/08 ve 211/21 gidiş ve dalım değerlerindedir. Bu haliyle fayın genel olarak karakteri normal atım bileşenli sol yönlü doğrultu atımı temsil etmektedir. Bir lokasyonda ters bileşen varlığı sözkonusudur. Ölçüm yapılan düzlemler genellikle Van Formasyonu içerisindeki olistolit ve Triyas yaşlı neritik kireçtaşı birimlerinde belirlenmiştir. Ancak önceki başlıklarda da aktarıldığı gibi, düzlem verilerinin herhangi bir heyelandan veya olistolotın kendi yükselimi için oluşturduğu faylanmalardan etkilenmediğine sahada dikkat edilmiştir.

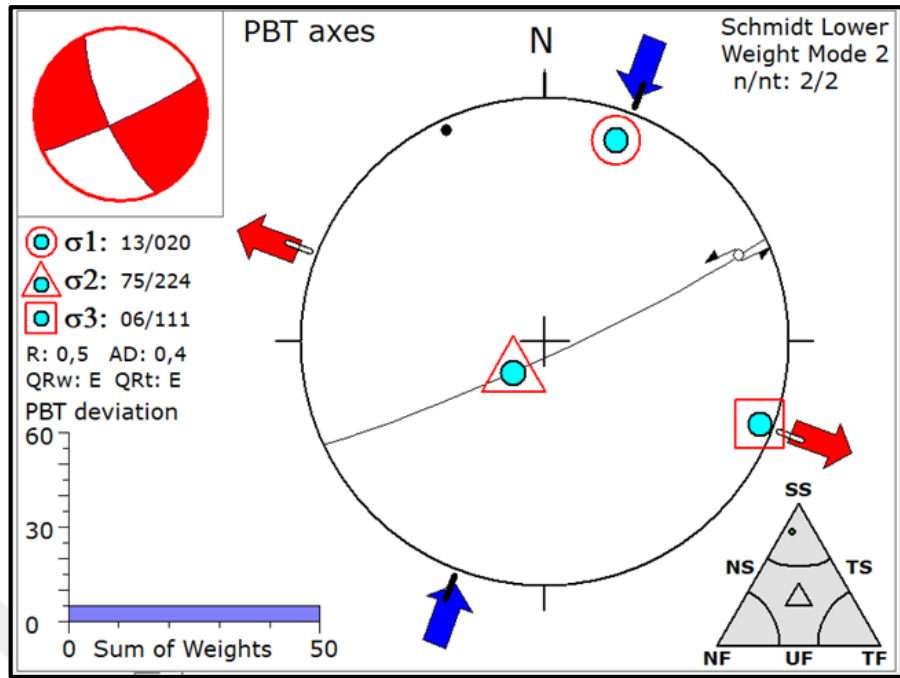
Fayın KD yönündeki uzanımı aktif ve pasif heyelan kütlelerinin altında kalmaktadır. Bu nedenle de sahada takibi çok kolay olmamakla birlikte bazı çizgisellikler ile kendini göstermektedir. Benzer durum GB yönünde de mevcuttur. Fayın en net atımı tam orta kesimde

L6 lokasyonu GB'sında, Triyas yaşlı kireçtaşı biriminde gözlenmiştir. Burada litolojinin ötelenme miktarı 290 metre civarındadır. Bu birim Saltedağı Formasyonu'na ait neritik kireçtaşı birimidir.

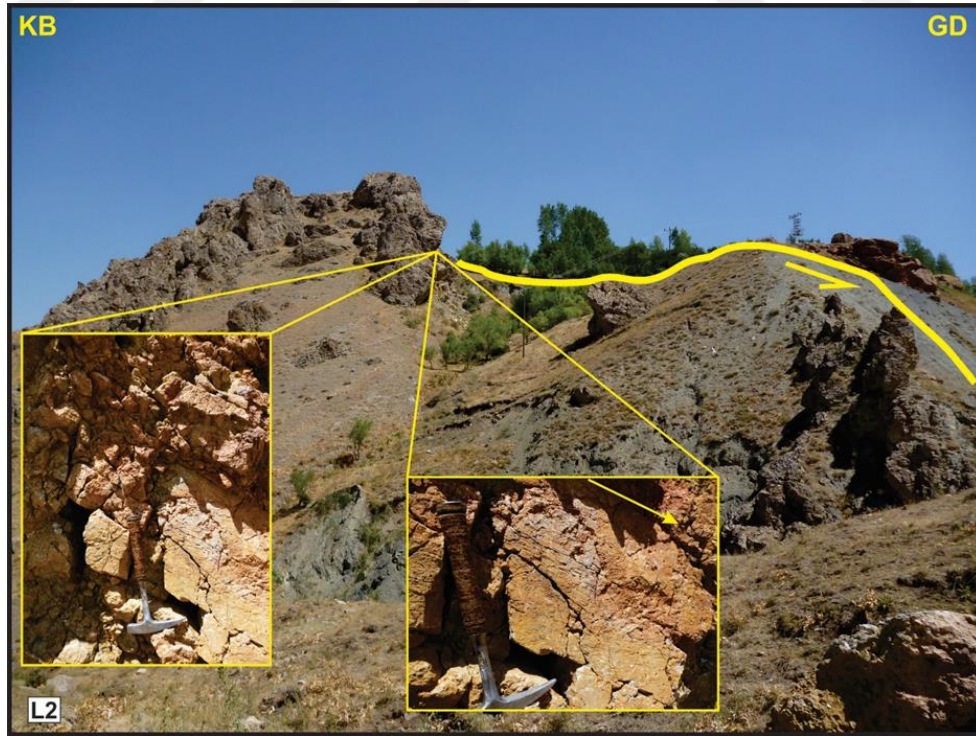


Şekil 4.124. Çakırbey Fayı civarının jeolojisi, bölgedeki heyelanların konumu ve fay mekanizma çözümleri (uydu görüntüsü GooleEarth).

Fayın düzlem verileri üzerinde WinTensor programı yardımıyla kinematik analiz yapılmıştır. Toplamda dört ayrı lokasyondan elde edilen düzlemler analiz edilmiştir. L2 Lokasyonuna göre fayın türü çok az normal bileşen karakteri olan sol yönlü doğrultu atımın hakim olduğu ve yaklaşık K20D yönünde neredeyse yatay düzlemde, sıkışma gerilmesi ve buna dik yönlü çekme gerilmesinin etkin olduğu teyid edilmiştir. Analiz sonucunda asal gerilme yönleri ise σ_1 : 020/13, σ_2 : 224/75, σ_3 : 111/06 eğimyönü/eğim olarak belirlenmiştir (Şekil 4.125).



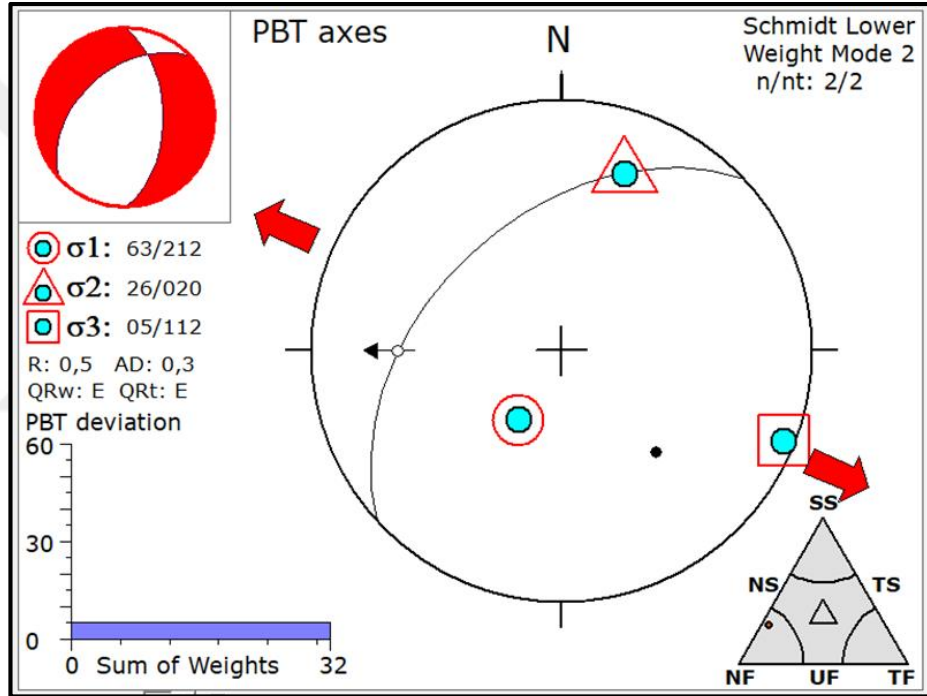
Şekil 4.125. L2 Düzlem verisi ile yapılan kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü doğrultu atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü SS - Doğrultu Atımlı Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemi, kayma vektörü (siyah ok), düzlem kutubu (siyah nokta) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.



Şekil 4.126. L2 Lokasyonunda Çakırbey Fayı düzleminin sarplığı, breşik zonu ve kayma çizgilerinin görünümü, bakış yönü KD.

L4 Lokasyonuna göre fayın türü normal bileşeni baskın olan sol yönlü doğrultu atımlıdır. Bununla birlikte yaklaşık K70B yönünde yatay düzlemde çekme gerilmesinin etkin olduğu teyid edilmiştir. Analiz sonucunda asal gerilme yönleri ise σ_1 : 212/63, σ_2 : 020/26, σ_3 : 112/05 eğimiyönü/eğim olarak belirlenmiştir (Şekil 4.127).

L4 Lokasyonunun olduğu kesim Çakırbey Fayı'nın heyelanlı bölgeye geçiş yaptığı kesimde bulunmaktadır. Bu kesimde olasılıkla ölçü alınan düzlemin heyelanın hareketinden etkilenmiş olması mümkündür veya fayın bu kesimden itibaren normal bileşen miktarının daha baskın olduğu da söylenebilir.



Şekil 4.127. L4 Düzlem verisi ile yapılan kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü normal atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü NF – Normal Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemi, kayma vektörü (siyah ok), düzlem kutubu (siyah nokta) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.

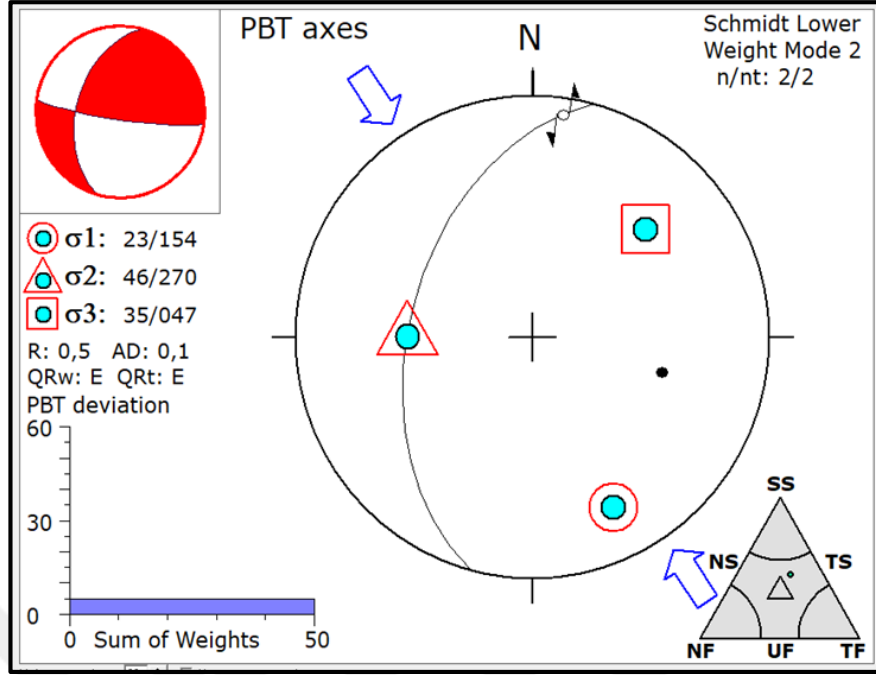
Çakırbey Fayı'nın ana düzleminin en iyi gözlemlendiği, sol yönlü doğrultu atımın çok belirgin bir şekilde ölçülebildiği lokasyon L5 Lokasyonudur (Şekil 4.128). Burada sol yönlü doğrultu atım fay düzlemi üzerinde gözlenen kerkikler ve neredeyse yatay kayma çizgileri ile oldukça belirgindir. Lokasyonda faya ait diğer özellikler ise Triyas yaşlı kireçtaşı biriminin neredeyse fay kili oluşturacak şekilde ezilmiş ve breşleşmiş olmasıdır. Bu duruma bölgedeki su çıkışları da kolaylık sağlamıştır. Fay düzlemi boyunca birçok noktada su çıkışları belirlenmiştir.

L5 Lokasyonuna göre fayın türü çok az ters bileşen karakteri olan sol yönlü doğrultu atımın hâkim olduğu ve yaklaşık K35B yönünde sıkışma gerilmesi ve buna dik yönlü çekme gerilmesinin etkin olduğu teyid edilmiştir. Analiz sonucunda asal gerilme yönleri ise σ_1 : 154/23, σ_2 : 270/46, σ_3 : 047/35 eğimyönü/eğim olarak belirlenmiştir (Şekil 4.129).

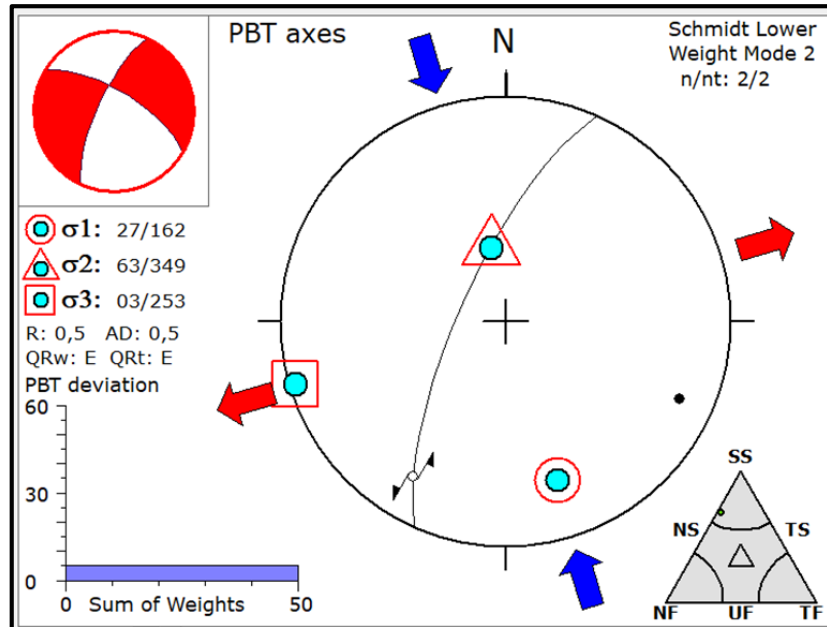
L6 Lokasyonu da L5 ile benzerlik sunmaktadır. Buradan elde edilen düzlem verilerine göre fayın türü normal bileşen karakteri olan sol yönlü doğrultu atımlı olarak belirlenmiştir. Yaklaşık K18B yönünde sıkışma gerilmesi ve buna dik yönlü çekme gerilmesinin etkin olduğu teyid edilmiştir. Analiz sonucunda asal gerilme yönleri ise σ_1 : 162/27, σ_2 : 349/63, σ_3 : 253/03 eğimyönü/eğim olarak belirlenmiştir (Şekil 4.130).



Şekil 4.128. L5 Lokasyonunda Çakırbey Fayı düzleminin, kayma çizgilerinin görünümü, bakış yönü K.



Şekil 4.129. L5 Düzlem verisi ile yapılan kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü sol yönlü doğrultu atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü TS – Ters bileşenli Sol Yönlü Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemi, kayma vektörü (siyah ok), düzlem kutubu (siyah nokta) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.

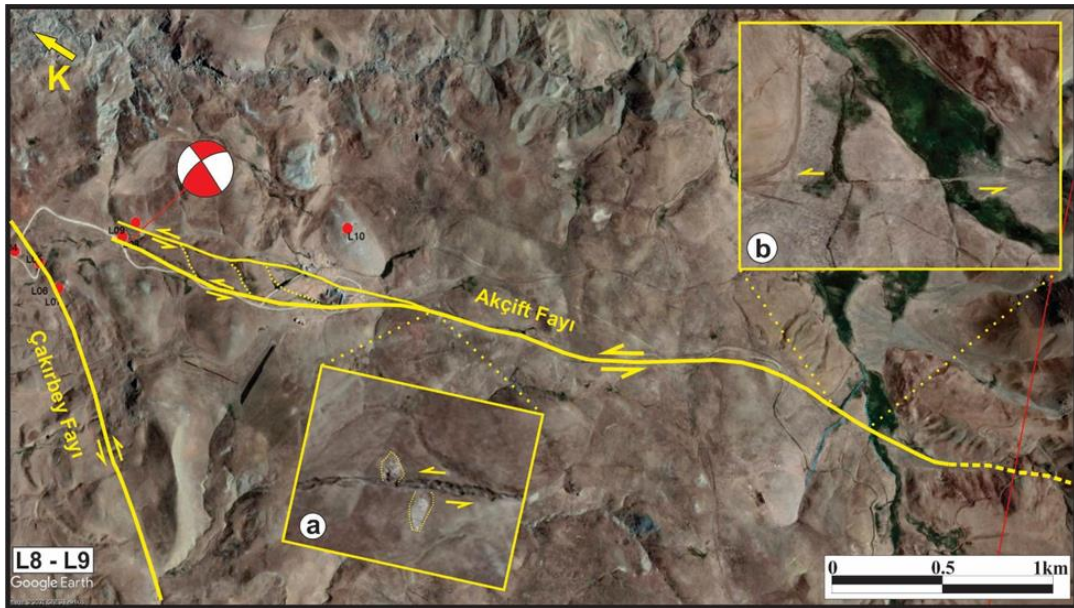


Şekil 4.130. L6 Düzlem verisi ile yapılan kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü sol yönlü doğrultu atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü SS – Normal bileşenli Sol Yönlü Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemi, kayma vektörü (siyah ok), düzlem kutubu (siyah nokta) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.

L8 – L9 Fayı - Akçift Fayı

L8 ve L9 lokasyonlarında düzlem ölçümü yapılan, Çakırbey Fayı ile aynı özelliklerde bir başka süreksizlik ise güney kesimde inceleme alanı dışında kalan Akçift Köyü'ne doğru devam eden yaklaşık 4 km uzunluğundaki sol yönlü doğrultu atımlı faydır (Şekil 4.131). Fay, geçkisi boyunca Van Formasyonu'na ait kırıntılı çökel kayalar ve kireçtaşı kökenli olistolitleri kesmiştir. L8 lokasyonunda fayın konumu 108/78, L9 lokasyonunda ise 90/83 eğimyonu/eğim değerlerine sahiptir. Genel geometri olarak doğuya eğimli bir düzlem şeklinde devam etmektedir, ancak L8 ve L9 lokasyonlarının olduğu kesimde bir makaslama zonu oluşturacak şekilde iki kol halinde güneye ilerlemiştir. Uzanımı boyunca fayın sert kristalize kireçtaşı olistolitlerinin bir bölümünü kesmeden etrafını dolaşacak şekilde yön kazandığı da gözlenmiştir. Özellikle inceleme alanı güneyinde vadiye gelmeden bu durum oldukça belirgindir (Şekil 4.131).

Fayın yerdeğiştirme miktarları ise iki noktada oldukça belirgindir. Bunlardan biri kireçtaşı olistoliti içerisinde gözlenmiş ve yaklaşık 30 metre yanal yerdeğiştirme ölçülmüştür (Şekil 4.131a). Diğer bir lokasyon ise fayın, inceleme alanının en güneyindeki vadide yüzeylenen kireçtaşı birimi içerisinde ölçülmüştür; burada yanal yerdeğiştirme miktarı yaklaşık 15 metredir (Şekil 4.131b). Bölgede bu fay boyunca gelişmiş birçok tali kırık ve eklem setleri de mevcuttur.



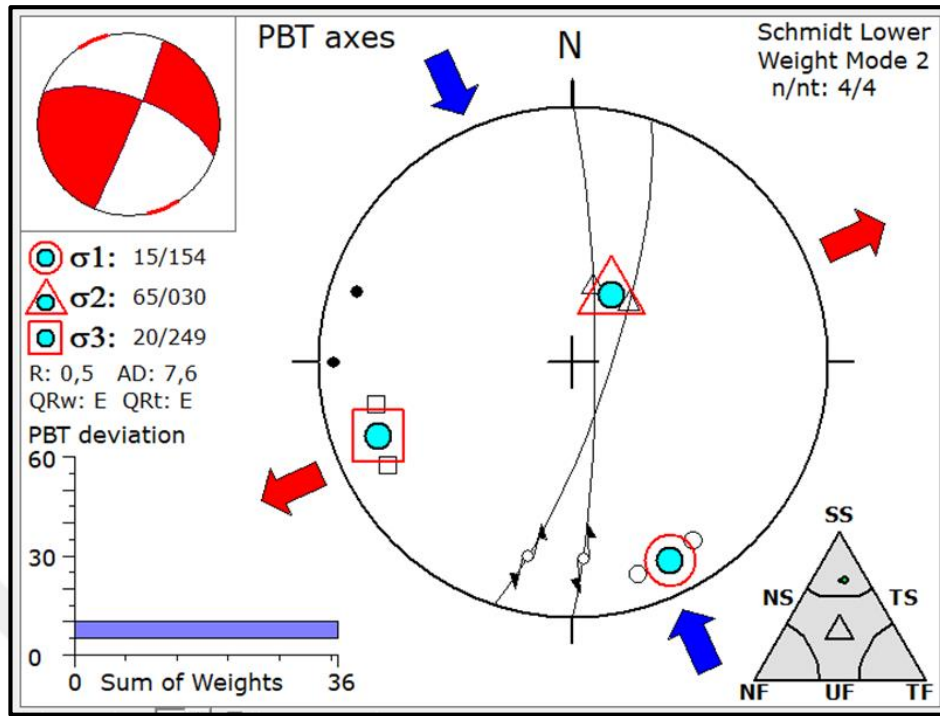
Şekil 4.131. Akçift Fayı'nın arazideki uzanımı, mekanizma çözümü. a ve b yanal yerdeğiştirme gözlenen lokasyonlar (altlık GoogleEarth).

L8 lokasyonunda fayın en büyük belirteci Van Formasyonu'na ait kırıntılı çökel istifin tabaka düzlemlerinin fay geometrisi boyunca dönmüş ve dikleşmiş olmasıdır (Şekil 4.132).



Şekil 4.132. Akçift Fayı deformasyonuna bağlı gelişen, dönmüş ve dikleşmiş tabakalar, bakış yönü B.

L8 ve L9 Lokasyonlarında elde edilen düzlem verilerine göre fayın türü ters bileşen karakteri olan sol yönlü doğrultu atımlı olarak belirlenmiştir. Yaklaşık K26B yönünde sıkışma gerilmesi ve buna dik yönlü çekme gerilmesinin etkin olduğu teyid edilmiştir. Analiz sonucunda asal gerilme yönleri ise σ_1 : 154/15, σ_2 : 030/65, σ_3 : 249/20 eğim yönü/eğim olarak belirlenmiştir (Şekil 4.133).



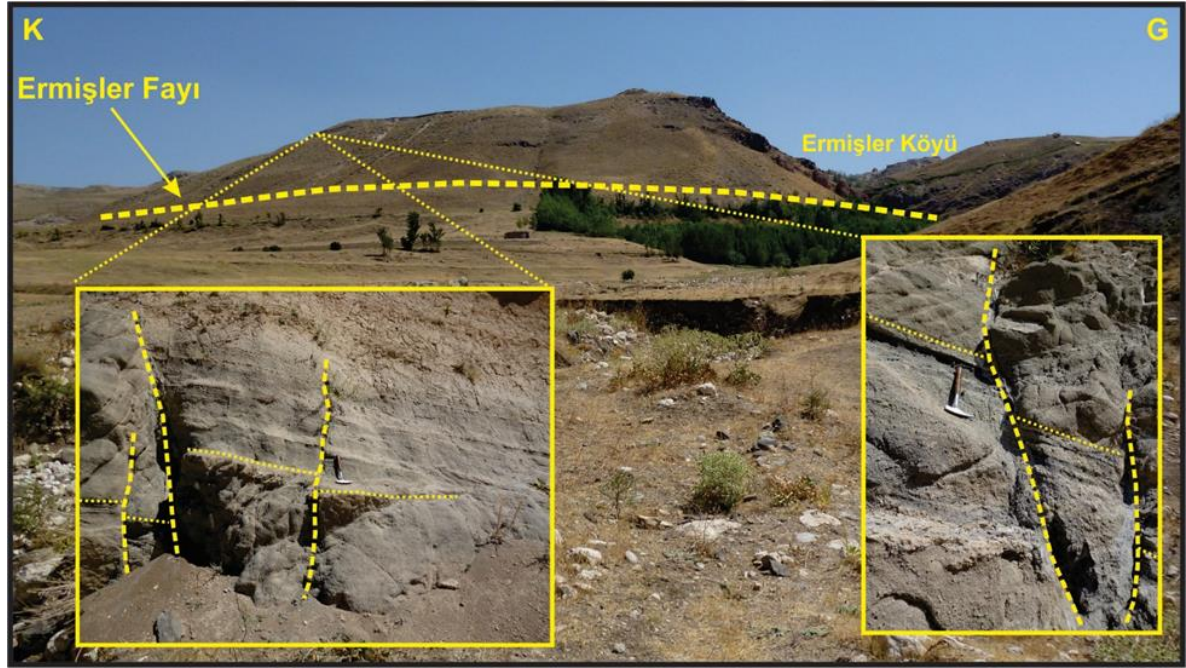
Şekil 4.133. Düzlem verileri ile yapılan kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü sol yönlü doğrultu atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü SS – Ters bileşenli Sol Yönlü Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemleri, kayma vektörleri (siyah oklar), düzlem kutupları (siyah noktalar) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.

L17 – L23 Lokasyonları - Ermişler Fayı

İnceleme alanı içerisinde Ermişler Köyü'nün göle bakan tarafında, kıyıya paralel gelişmiş yükselimler fay sarplığını oluşturmaktadır (Şekil 4.134). Köy yolu üzerinde gözlenen volkanosedimenter birimler içerisinde yaklaşık birbirine paralel gelişmiş birçok normal bileşenli düzlem bulunmaktadır. Fayın yaklaşık uzunluğu 2.5 Km civarındadır. Gözlendiği yüzlekte toplam 7 ayrı düzlemde farklı oranlarda atım belirlenmiştir. Bunlardan en fazla olanı yaklaşık 5 m normal atım ile 005/75 eğim yönü/eğim konumlu düzlemdir. Bu düzlemi sırasıyla 1m atımla 340/70 düzlemi ve 0.5m atımla 250/89, 190/82 ve 230/78 düzlemleri izlemektedir (Şekil 4.135). Fayın içerisinde gözlendiği birim Erken Pliyosen dönemine ait volkanoklastik birimlerdir. Faylar bu birim içerisinde gözlenmiş ancak üzerindeki örtü birimlerde gözlenmemiştir. Dolayısıyla fayların yaşı hakkında sadece Erken Pliyosen sonrasına ait olduğu verisi bulunmaktadır. Stratigrafi bölümünde de verildiği gibi bu bölgede gözlenen Bazalt biriminden (Timar Bazaltı) ve Ermişler Tüf biriminden yaş tayini yaptırılmış ve yine Erken Pliyosen yaşları elde edilmiştir.

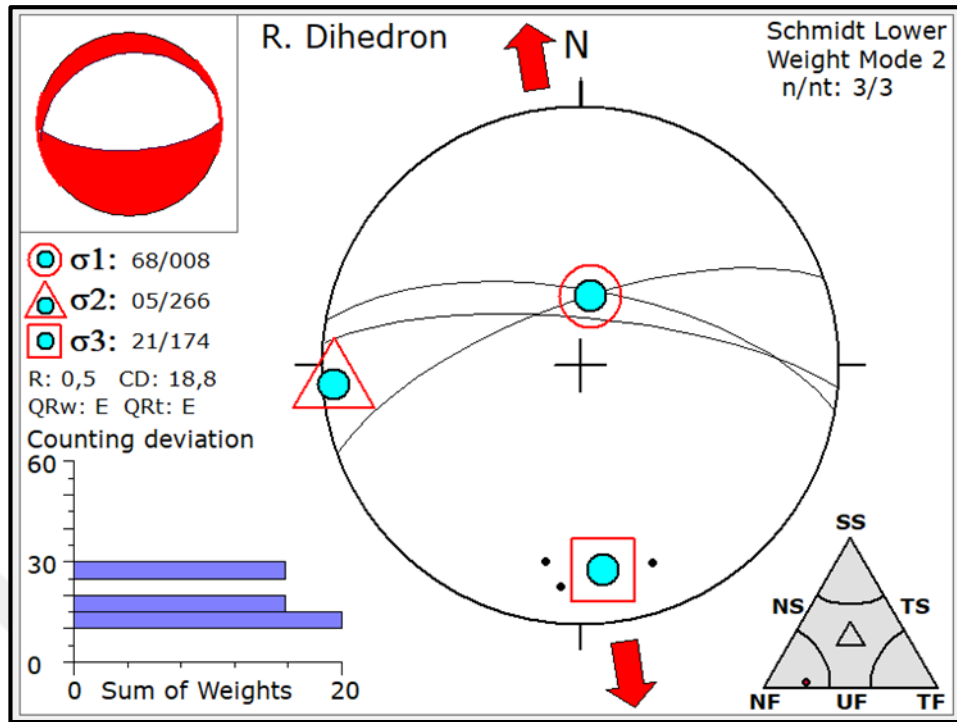


Şekil 4.134. Ermişler – Timar civarında gözlenen faylar, Ermişler Fayı mekanizma çözümü ve heyelanlar (altlık GoogleEarth).



Şekil 4.135. Ermişler Fayı yükseliminin görünüm ve fay düzlemleri (küçük görseller).

L17 – L23 Lokasyonlarında elde edilen düzlem verilerine göre ana fayın türü eğim atımlı normal fay olarak belirlenmiştir. Yaklaşık K10B yönünde çekme gerilmesinin etkin olduğu teyid edilmiştir. Analiz sonucunda asal gerilme yönleri ise σ_1 : 008/68, σ_2 : 266/05, σ_3 : 174/21 eğimyönü/eğim olarak belirlenmiştir (Şekil 4.136).



Şekil 4.136. Düzlem verileri ile yapılan kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü eğim atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü NF – Normal Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemleri, düzlem kutupları (siyah noktalar) ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.

L68 – Canik Bindirme Fayı

Timar - Çakırbey Fay Zonu içerisinde aktif tektonizmayı temsil eden en önemli fay niteliğinde olan bu bindirme fayı gölün doğu kıyılarına yakın bir kesimde, inceleme alanının güneyinde yüzeylenen eski göl çökellerinde yüzlek vermektedir (Şekil 4.137). Fay düzlemi 015/16 eğimyönü/eğim değerlerinde, kuzey yönünde düşük açıyla eğimlidir. Fay, içerisinde gözlendiği gölsel kırıntılı birimlerde yaklaşık 15 cm yerdeğiştirme oluşturmuştur.

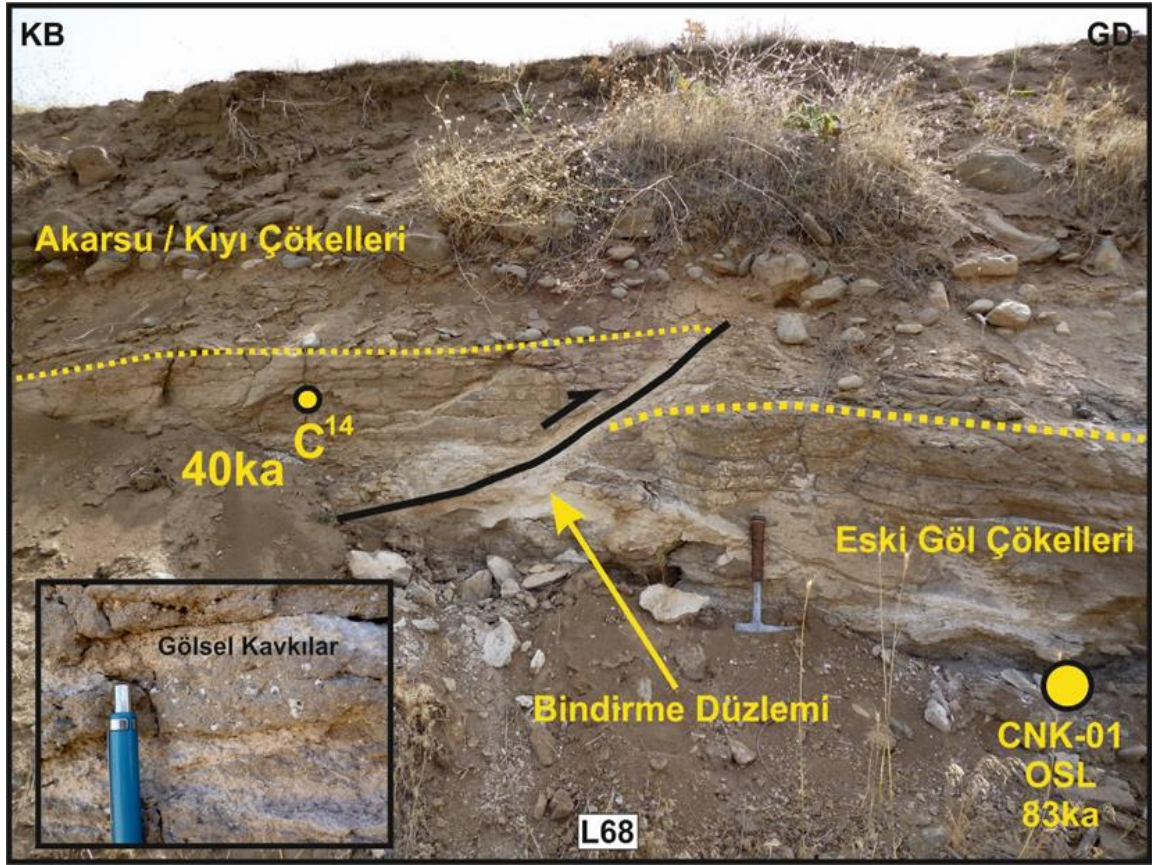
Kuvaterner döneminde çökelmiş bu birimleri kesen fayın yaşını belirlemek amacıyla iki lokasyondan yaş tayini için örnek alınmıştır. Daha alt seviyeleri temsil eden kırıntılı birimlerden (CNK-01 OSL) örneği alınmış ve Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) yöntemi ile yaşlandırılmıştır. Üst seviyedeki örnek ise, ince taneli kumtaşı tabakaları içerisinde gözlenen gölsel gastropod kavkılarıdır. Kavkı örnekleri (CNK-01 ¹⁴C) üzerinde ¹⁴C izotopu verileri yaşlandırma yaptırılmıştır (Şekil 4.138, Tablo 4.3).

Tutturulmuş gölssel kumtaş1 birimi içerisinden alınan küçük gastropod kavkılarında radyokarbon yöntemi ile elde edilen yaş yaklaşık 40ka (binyıl) olarak belirlenmiştir. Alınan OSL örneğinden ise 83ka elde edilmiştir. Elde edilen genç yaş değeri fayın en son kestiği seviyeyi temsil etmektedir. OSL yöntemi için örnek alımı ve yaşlandırma nedeni ise verilerin karşılaştırılması ve eski gl çökellerini kesen bu bindirmenin yaş aralığının denetlenmesidir. Ancak OSL için uygun örnek alımı yapılabilen seviye nispeten daha yaşlı çökeller içerisinde yakalanmıştır. Bu nedenle de elde edilen yaş verileri arasında 43ka gibi bir fark vardır.



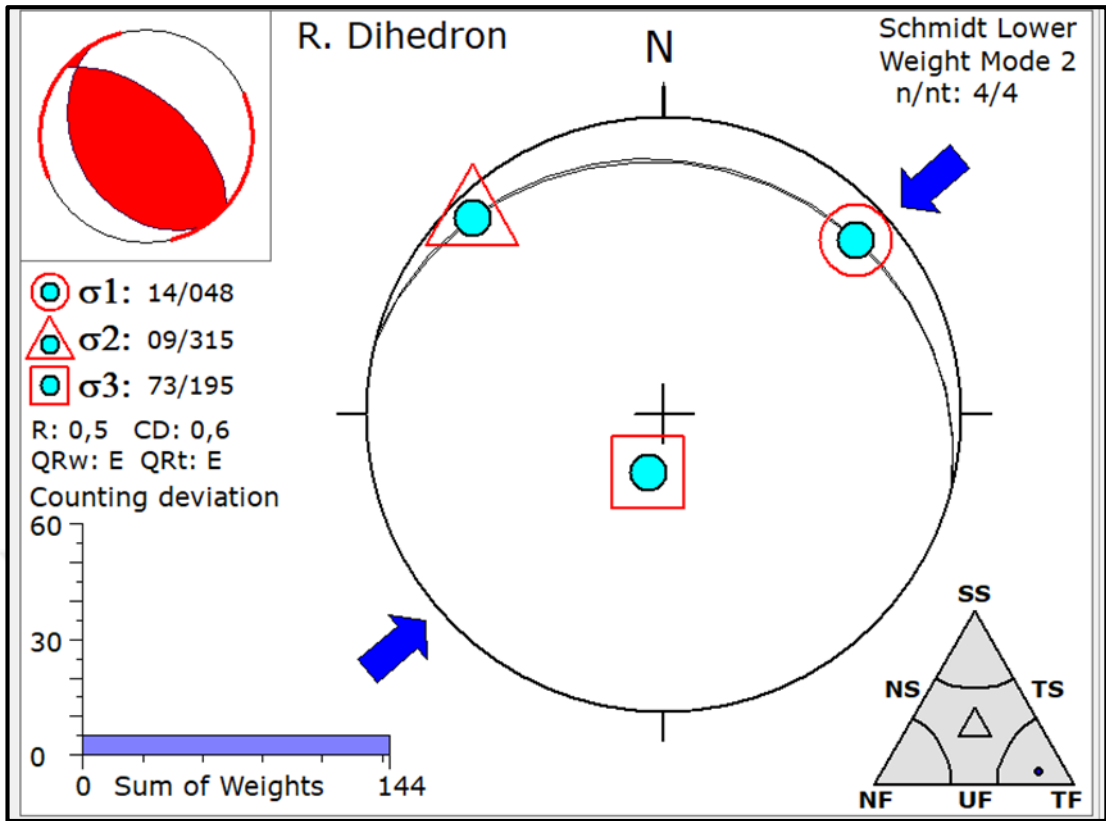
şekil 4.137. Ermişler – Timar civarında gözlenen faylar, Canik Bindirme Fayı mekanizma çözümü ve çevredeki heyelanlar (altlık GoogleEarth).

Ancak her halukarda buradaki bindirmenin 40ka'dan daha genç bir dönemde deformasyon oluşturduğunu söylemek uygun olacaktır. Hatta aşağıdaki görselde st katmanı oluşturan Akarsu/Kıyı kellerininin taban seviyesi olan çakıl bandına bakacak olursak, KB yönünden fay düzlemin ucuna doğru sıralı gelen çakılların, fay düzlemi ucunda nispeten karmaşık/kaotik bir yapıya büründüğünü görebiliriz (şekil 4.138). Bu durum, bindirme düzleminin, bu çökel dönemi sonrasında aktif olduğu düşündürmektedir.



Şekil 4.138. L68 lokasyonunda gözlenen Canik Bidirme Fayı ve elde edilen yaş verileri, bakış yönü KD

L68 Lokasyonlarında elde edilen düzlem verisi ile kinematik analiz yapılmış ve fayın türü ters fay / bindirme olarak belirlenmiştir. Yaklaşık K48D yönünde sıkışma gerilmesinin etkin olduğu teyid edilmiştir. Analiz sonucunda asal gerilme yönleri ise σ_1 : 048/14, σ_2 : 315/09, σ_3 : 195/73 eğimiyönü/eğim olarak belirlenmiştir (Şekil 4.139).



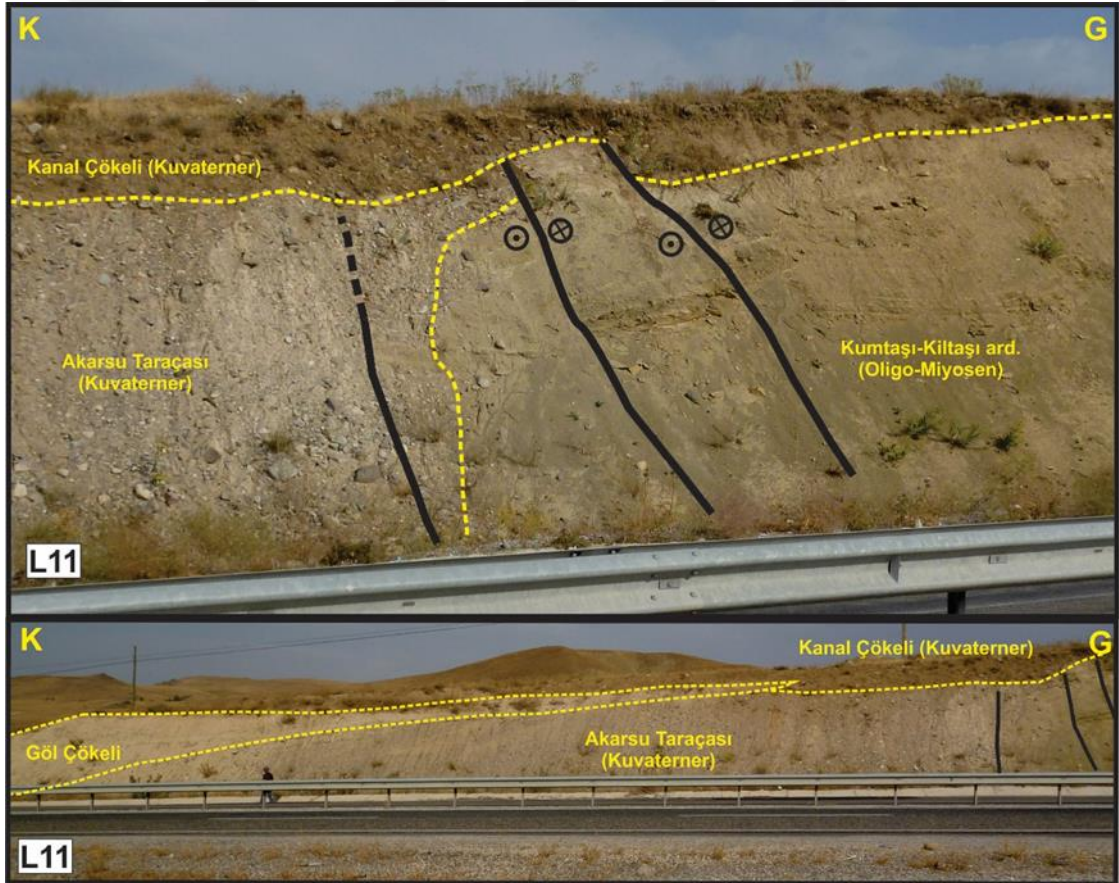
Şekil 4.139. Düzlem verileri ile yapılan kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü ters faylanma mekanizmasını temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü TF – Ters / Bindirme Fayı olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemleri ve asal gerilme eksen yönleri ve yerleri görülmektedir.

L11 - Timar Fayı

Bu fay, çalışma alanının en güneyinde Van Erciş karayolu yarmasında belirgin bir şekilde görülmektedir. Van Formasyonuna ait kumtaşı-kiltaşı aradalanmalı kırıntılı çökeller Pliyo-Kuvaterner yaşlı akarsu taraçaları ile yanyana gelmiştir. Bu iki litolojiyi yanyana getiren düzlemin eğim yönü/eğim cinsinden konumu 164/74, fay çizgilerinin gidiş ve dalımı 250/16 olarak ölçülmüştür. Fay KD yönünde yaklaşık 5 km uzunluğunda devam etmekte ve Timar (Gedikbulak) Köyünün sırtını dayadığı Erken Pliyosen dönemine ait Bazalt birimlerinde son bulmaktadır (Şekil 4.140). Fay düzleminin önüne akarsu çökelleri iri bloklar ile başlayıp havza içerisine doğru daha ince tane boyuna geçmektedir (Şekil 4.141).

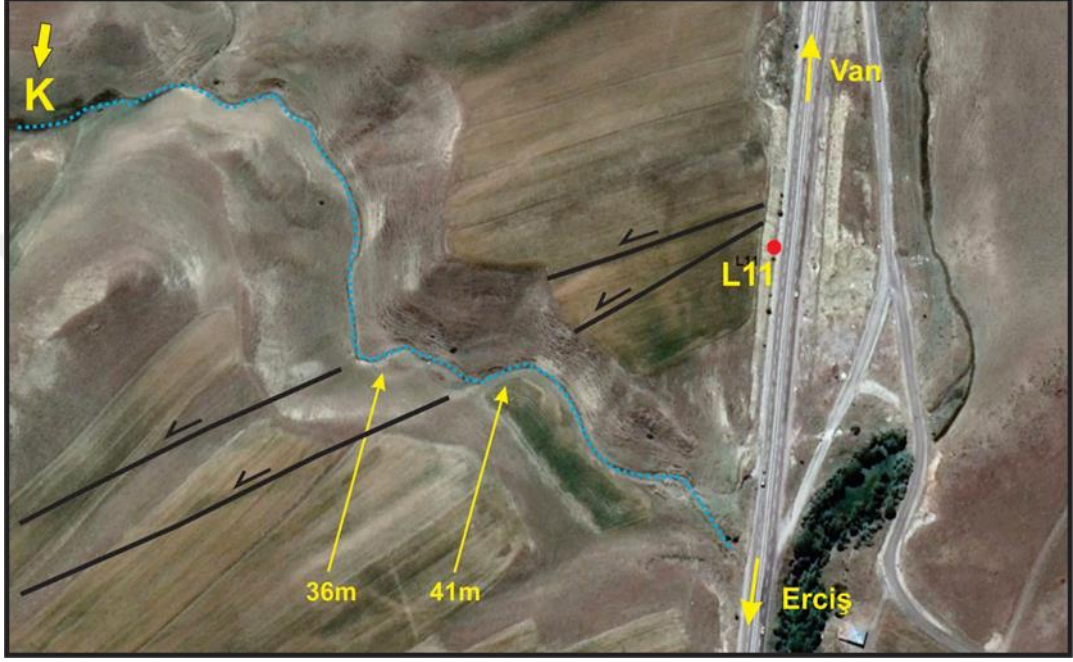


Şekil 4.140. Ermişler – Timar civarında gözlenen faylar, Timar Fayı mekanizma çözümü ve çevredeki heyelanlar (altlık GoogleEarth).



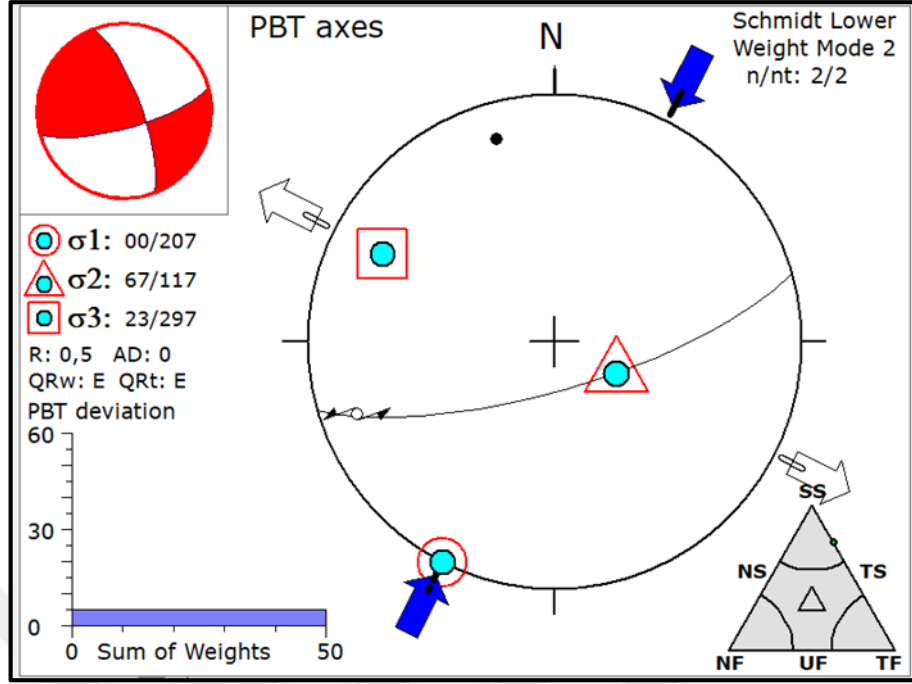
Şekil 4.141. L11 lokasyonunda, yol yarmasında, Timar Fayı'nın görünümü, bakış yönü D.

Timar Fayı'nın etkilerinin sahada gözlenebildiği bir diğer alan ise hemen L11 lokasyonunun doğusunda kalan ince vadi içerisindeki dere yatağıdır (Şekil 4.142). Burada aynı yol yarmasında gözlemlendiği gibi, faya ait iki kolun geliştirdiği yanal yerdeğiştirmeler bariz bir şekilde takip edilebilmektedir. Görece güneyde olan kolun dere üzerinde yaptığı yerdeğiştirme miktarı yaklaşık 36 m, kuzeydeki kolun ise 41 m dir.



Şekil 4.142. Timar Fayı'nın dere yatağında yapmış olduğu yanal yerdeğiştirmeler, altlık GoogleEarth.

L11 lokasyonunda elde edilen düzlem verisine göre fayın türü sol yönlü doğrultu atımlı fay olarak belirlenmiştir. Yaklaşık K27D yönünde sıkışma gerilmesinin etkin olduğu teyid edilmiştir. Analiz sonucunda asal gerilme yönleri ise σ_1 : 207/00, σ_2 : 117/67, σ_3 : 297/23 eğimyönü/eğim olarak belirlenmiştir (Şekil 4.143).



Şekil 4.143. Düzlem verileri ile yapılan kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü sol yönlü doğrultu atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü SS – Doğrultu Atımlı Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemi, düzlem kutubu (siyah nokta) ve asal gerilme eksen yönleri ile yerleri görülmektedir.

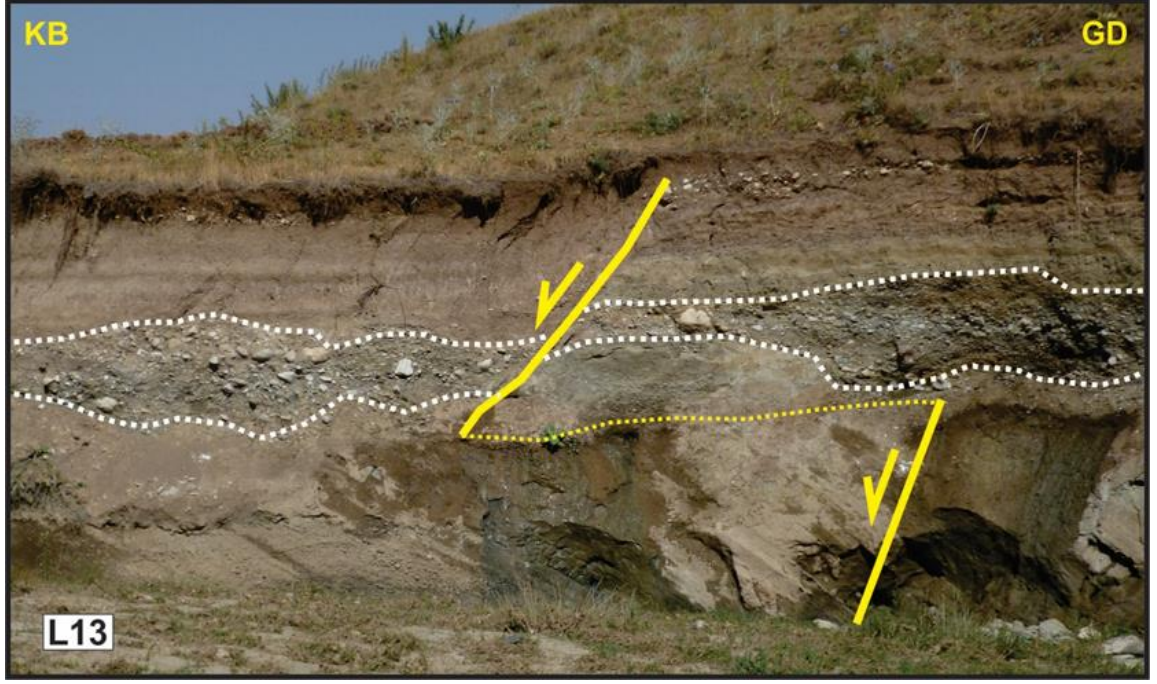
L13 Normal Fayı

L13 Normal Fayı, çalışma sahası içerisinde Timar Köyü ile Karaağaç Köyleri arasında kalan vadi tabanında gözlenmektedir (Şekil 4.144). Fay düzlemi 330/50 eğimyönü/eğim konumunda olup vadi boyunca yaklaşık 2 km boyunca uzanmaktadır.



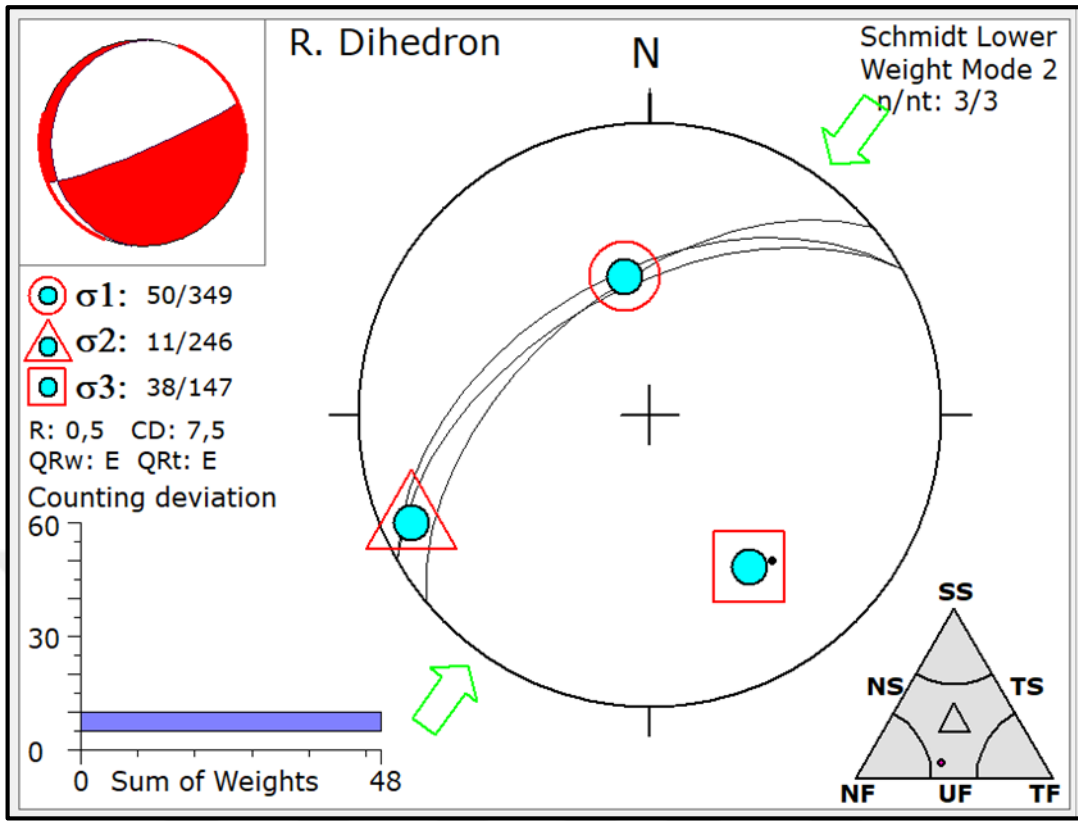
Şekil 4.144. Ermişler – Timar civarında gözlenen faylar, L13 Fayı mekanizma çözümü ve heyelanlar (altlık GoogleEarth).

Fay düzlemi, dere tarafından aşındırılmış bir eski taraça yarmasında net olarak takip edilebilmektedir. Fay, eğim atımlı normal fay karakterinde olup yaklaşık 25-30 cm düşey atım miktarı vardır (Şekil 4.145). Eski alüvyal taraçanın altında Van Formasyonu'na ait kumtaşı çakıltaşı tabakaları yüzeylenmektedir. Fayın düzlemi bu tabakalarda da net olarak izlenmektedir.



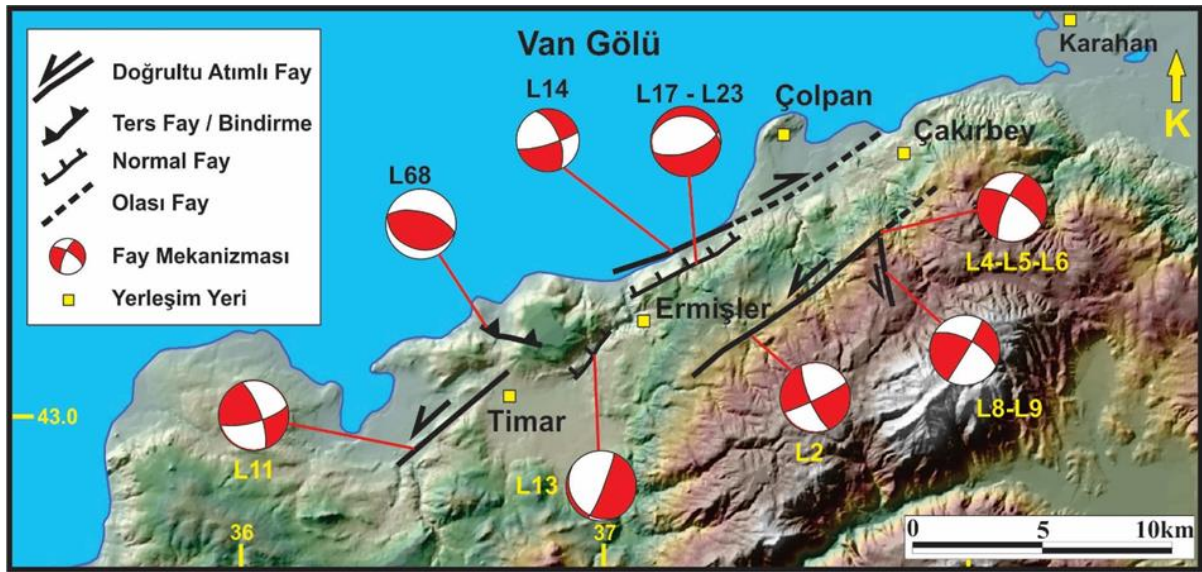
Şekil 4.145. L13 Normal Fayı'nın akarsu taraçası ve Van Formasyonu birimlerindeki görünümü, bakış yönü KD.

L13 lokasyonunda elde edilen düzlem verisine göre fayın türü eğim atımlı normal fay olarak belirlenmiştir. Fay düzlemi boyunca genel açılma tektoniği yönü yaklaşık K60B'dir. Ancak analize göre düşey fay geometrisi sunduğundan genel sıkışma eksenine paralel gelişen açılma çatlakları özelliği de bulunmaktadır. Analiz sonucunda asal gerilme yönleri ise σ_1 : 349/50, σ_2 : 246/11, σ_3 : 147/38 eğim yönü/eğim olarak belirlenmiştir (Şekil 4.146).



Şekil 4.146. Düzlem verileri ile yapılan kinematik analiz sonuçları. Fay mekanizma çözümü normal atımı temsil etmektedir (sol üstte); fayın türü VF – Düşey Fay olarak belirlenmiştir (sağ alt, üçgen gösterimdeki nokta), projeksiyonda fay düzlemi, düzlem kutubu (siyah nokta) ve asal gerilme eksen yönleri ile yerleri görülmektedir.

Çalışma alanının güney kesiminde sahada gözlemi yapılmış, düzlem verileri ve genel özellikleri belirlenmiş tüm faylar Şekil 4.147’de mekanizma çözümü ile gösterilmiştir. Bazı düzlem verileri gözardı edilmiştir. Bunun nedeni, önceki kısımlarda da aktarıldığı üzere düzlem ölçümü yapılan birimin gerek mevcut aktif heyelanlardan etkilenmiş olması veya birimin allokon özellikte ilksel konumunu yitirmiş olmasıdır. Bununla birlikte bazı düzlem verileri de sahada devamlılığı olmadığı ve detay verisi yetersizliği nedeniyle değerlendirmeye alınmamıştır. Analizi yapılan fay düzlemlerine ait veriler ve kinematik analiz sonucu elde edilen asal gerilme yönlerinin verildiği özet bilgiler de Tablo 4.2’de aşağıda sunulmuştur.



Şekil 4.147. Timar – Çakırbey Zonu içerisinde gözlenen faylar ve mekanizma çözümleri.

Tablo 4.2. Fay düzlemi bilgileri ve kinematik analiz sonuçları özet tablosu (Lok: Lokasyon, Fay Mek: Fay Mekanizması).

Fay	Lok.	Düzlem		Fay Çizgisi		Fayın Türü	Asal Eksenler			Fay Mek.
		Eğim Yönü	Eğim	Gidiş	Dalım		61	62	63	
Çolpan Fayı	L14	172	87	260	33	Normal / Sağ Yönlü	295/30	087/57	197/13	
Çakırbey Fayı	L2	155	85	066	14	Normal / Sol Yönlü	020/13	224/75	111/06	
	L4	317	46	270	35		212/63	020/26	112/05	
	L5	285	47	008	08		154/23	270/46	047/35	
	L6	294	73	211	21		162/27	349/63	253/03	
Akçift Fayı	L8	108	78	193	23	Ters / Sol Yönlü	154/15	030/65	249/20	
	L9	090	83	177	24					
Ermişler Fayı	L17	230	75	-	-	Normal	008/68	266/05	174/21	
	L18	190	82	-	-					
	L19	340	70	-	-					
	L20	250	89	-	-					
	L21	230	78	-	-					
	L22	010	66	-	-					
	L23	005	75	-	-					
Canik Fayı	L68	015	16	-	-	Bindirme	048/14	315/09	195/73	
Timar Fayı	L11	164	74	250	16	Ters / Sol Yönlü	207/00	117/67	297/23	
Tali Fay	L13	330	50	-	-	Normal	349/50	246/11	147/38	

İnceleme alanı içerisinde özellikle Kuvaterner yaşlı kırıntılı birimlerini kesen fayların yaşlandırılmasına yönelik örnekler alınmıştır. Örnekler üzerinde yaptırılan OSL ve Radyokarbon yaş tayini sonuçlarının tümü Tablo 4.3’de sunulmuştur.

Tablo 4.3. Radyometrik yaş tayini analiz sonuçları (OSL ve ^{14}C yöntemi).

Örnek	Gömü	Eşdeğer Doz		Yıllık Doz		Yaş (Binyıl)	
		Değer	Hata	Değer	Hata	Yaş	Hata
<i>CNK1</i>	1	275	20	3.3	0.4	83	10
<i>CNK2</i>	1.5	58	8	2.2	0.3	26	4
<i>Erciş01</i>	1					34	3
<i>Erciş2a</i>	1	28	1.5	2.9	0.2	10	1
<i>Erciş2b</i>	1.2	35.1	1.3	2.5	0.2	14	1
<i>Erciş03</i>	2					20	2
<i>CNK-01 ^{14}C</i>	0.8					40	0.5

İnceleme alanının güney kesiminde yüzeyleyen Timar Bazaltı (Tplt) ve Ermişler Tüfü (Tple) birimlerinden alınan örnekler üzerinde K/Ar yöntemi ile yaş tayini yaptırılmıştır (Tablo 4.4). Elde edilen sonuçlar bölgede yapılmış önceki çalışmalar (Lebedev ve diğ. 2010) ile uyumludur.

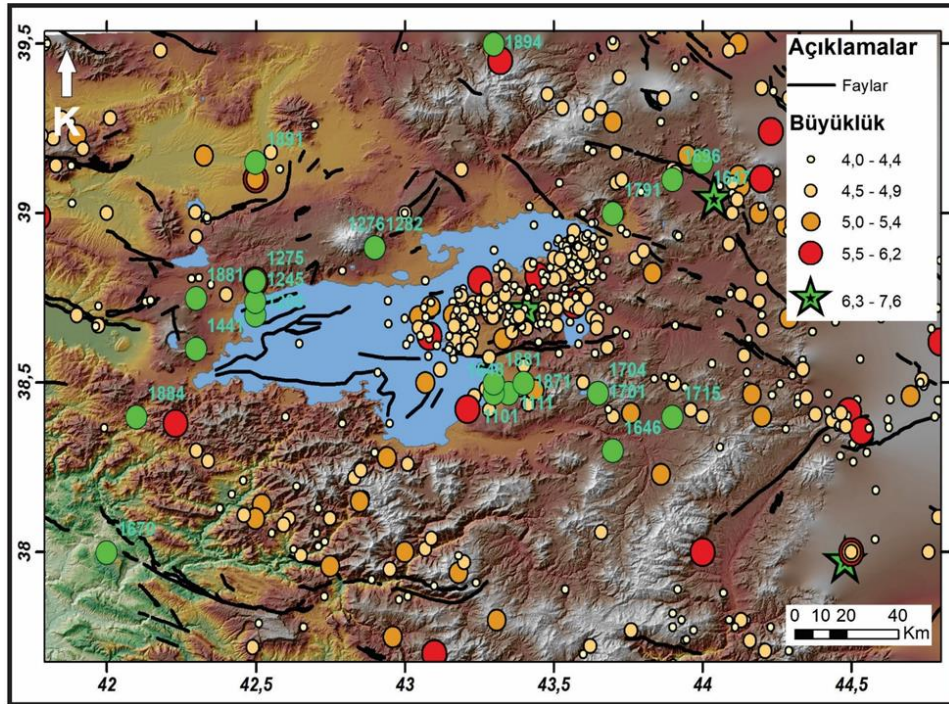
Tablo 4.4. Radyometrik yaş tayini sonuçları (K/Ar yöntemi).

Örnek	Lab.	K ₂ O	^{40}Ar	^{40}Ar	Yaş (My)	2s-Hata	2s-Hata
<i>ER 01</i>	4878	4.87	0.659	24.52	4.18	0.18	4.3
<i>ER 02</i>	4881	3.32	0.491	2.72	4.58	1.69	36.9
<i>ER 03</i>	4880	1.04	0.154	9.93	4.57	0.48	10.5

4.3. DEPREMSELLİK

Bu başlık altında, Van Gölü Havzası ve yakın çevresinde, tarihsel ve aletsel dönem içerisinde meydana gelmiş depremlerin genel bilgileri, dağılımları aktarılmaktadır. Özellikle, inceleme alanı ve çevresi için neredeyse milat niteliğinde olan 23 Ekim 2011 yılında meydana gelen $M=7.1$ büyüklüğündeki Van Depremi ve yine aynı yıl 9 Kasım'da meydana gelen $M=5.7$ büyüklüğündeki Edremit Depremleri'nin jeolojik ve sismolojik özellikleri ve deprem sonrası yapılan çalışmalar, saha verileri ayrı başlıklar altında verilmiştir.

Van Gölü Havzası ve çevresi tarihsel ve aletsel dönemde deprem etkinliği yüksek olan bir bölgedir. Bölgede varlığı bilinen ve haritalanan diri fayların haricinde sismolojik olarak aktif olan birçok zon bulunmaktadır (Şekil 4.148). Van Gölü Havzası ve çevresinde tarihsel dönemde MS 869 ile 1900 yılları arasında, tarihi kayıtlara geçmiş, şiddetleri V-X aralığında değişen çok sayıda deprem meydana geldiği bilinmektedir (Soysal ve diğ. 1981; Ergin ve diğ. 1967; Ambraseys ve Finkel 1995, 2006; Erdem ve Lahn 2001; Tan ve diğ. 2008; Eyidoğan ve diğ. 1991; Utkucu ve diğ. 2013; Kalafat ve diğ. 2011; KRDAE 2021; AFAD DDB 2021) (Tablo 4.5, Şekil 4.149).



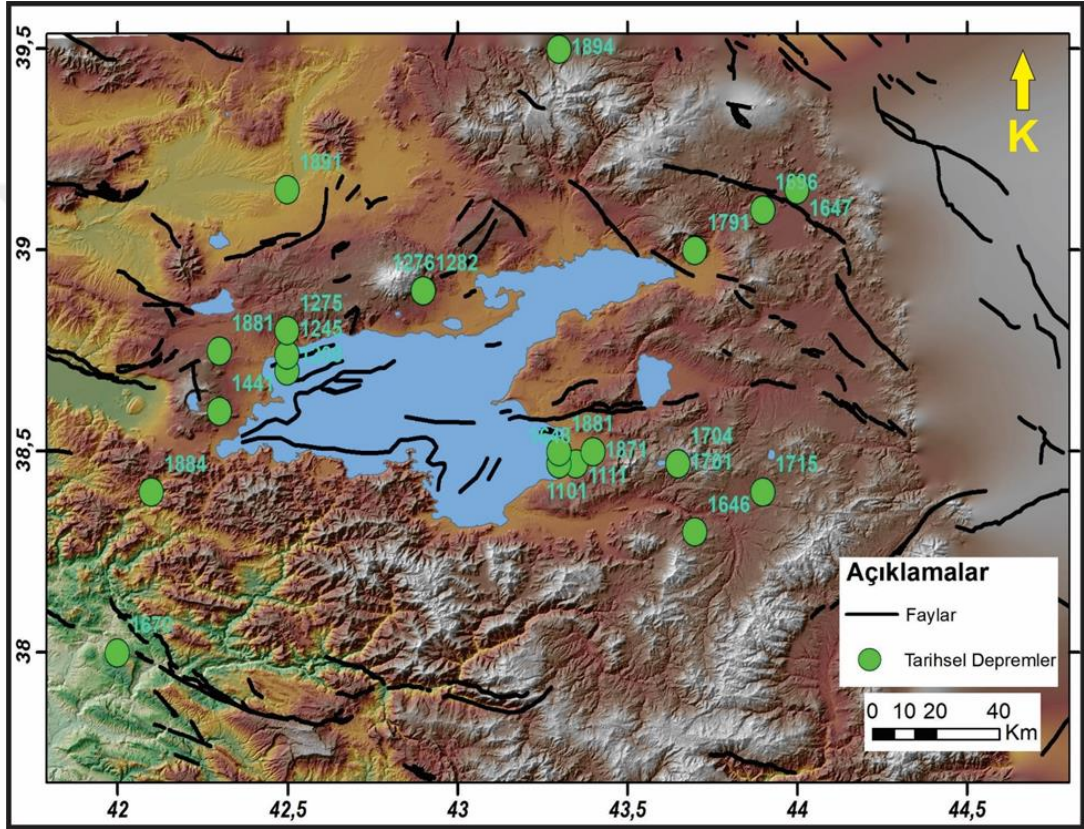
Şekil 4.148. Van Gölü Havzası ve civarında meydana gelmiş tarihsel ve aletsel dönem depremlerin odak noktası dağılımı, diri faylar Emre ve diğ. (2013) ve Çukur ve diğ. (2013b)'den alınmıştır.

Tablo 4.5. Van Gölü Havzası ve yakın civarında tarihsel dönemde meydana gelen depremler, Kaynaklar: 1) Ergin ve diğ. 1967, 2) Soysal ve diğ. 1981, 3) Eyidoğan ve diğ. 1991, 4) Ambraseys ve Finkel, 1995, 5) Erdem ve Lahn, 2001, 6) Ambraseys ve Finkel 2006, 7) Tan ve diğ. 2008, 8) Utkucu ve diğ. 2013, 9) Kalafat ve diğ. 2011, 10) KRDAE, 2021.

Enlem	Boylam	Tarih	M	I	Yer-Bölge	Kaynak
40.00	44.00	869	6.5	IX	Erivan	10
38.47	43.30	1101	5	VI	Van	1
38.50	43.50	1110	-	VII	Van	10
38.47	43.35	1111	6.6	IX	Van	1, 2, 5, 7
38.70	42.50	1208	6.5	?	Ahlat-Van-Bitlis	7
38.74	42.50	1245	5	VII	Ahlat-Van-Bitlis-Muş	1,2,7
38.80	42.50	1275	6.8	?	Ahlat-Van	7
38.90	42.90	1276	5	VII	Ahlat-Erciş-Van	1,2,7
38.90	42.90	1282	5	?	Ahlat-Erciş	2,7
38.60	42.30	1439	5	VI	Van-Bitlis-Muş	1,2,7
38.35	42.10	1441	5	VIII	Van-Bitlis-Muş	1,2,7
38.35	42.10	1581	-	VIII	Van-Bitlis	1,2,3,4,5
38.35	42.10	1582	-	VIII	Bitlis	10
38.30	43.70	1646	6.7	X	Van	6,7
39.15	44.00	1647	6.5	IX	Van-Tebriz-Bitlis-Muş	2,7
38.47	43.30	1648	6.8	VIII	Hoşap-Van	2,6,7
38.47	43.30	1670	6.7	-	Muş-Bitlis	1,2,3,4,5
?	?	1685	-	VI	Van	2
39.10	43.90	1696	6.8	IX	Van	7
38.47	43.65	1701	5	VII	Van	1,2,6,7
38.47	43.65	1704	5	VII	Van	1,2,6,7
38.70	41.70	1705	6.7	?	Van Gölü civarı	7,8,9,10
38.40	43.90	1715	6.6	VII	Van, Erciş	1,2,6,7
38.70	43.50	1715	-	VI	Van, Erciş	1
39.00	43.70	1791	5	VI	Van-Tebriz-Erzurum	1
38.40	42.10	1869	5	VI	Bitlis	7,8,9,10
38.50	43.40	1871	6.9	VII	Van	1,2,7
38.75	42.30	1881	7.3	IX	Van-Bitlis-Nemrut	1,2,6,7
38.50	43.30	1881	5	VII	Van and Nemrut	1
38.40	42.10	1884	6.1	V	Van	1,2
39.15	42.50	1891	5,5	?	Van Gölü civarı	7,8,9,10
38.47	43.30	1894	-	V	Van	1,2

Bu depremlerin büyük bölümünün o dönemlerdeki nüfus yoğunluğu ve yapı kalitesi gözönüne alındığında bölgede ciddi yıkımlar oluşturduğu söylenebilir. Depremlerin bir bölümünün bölgedeki volkanik aktivite ile ilişkili olma olasılığı vardır. Zira 1441 yılındaki depremin odak merkezi Nemrut Volkanı civarı olarak kaydedilmiştir (Şekil 4.149). Tarihsel depremlerin geneline bakıldığında şiddetlerin kaldığı aralıklar 5 ila 6 civarındaki magnitüdlere denk gelmektedir. Normal koşullarda bu büyüklükteki depremlerin yıkım yapma olasılığı düşük

olmalıdır. Ancak aletsel dönem içerisinde, Doğu Anadolu Bölgesi'nde meydana gelen orta büyüklükteki depremler dahi yıkımla sonuçlanmaktadır. 2 Temmuz 2004 tarihinde Ağrı'nın Doğubayazıt İlçesi merkezli $M=5.1$ büyüklüğündeki depremde 17 kişi hayatını kaybetmiş, iki köy ciddi yıkım yaşamıştır (Tapan ve diğ. 2005). Yine, 25 Ocak 2005 tarihinde Hakkâri Sötlüce Mezrası ve Kaymaklı Köyü civarında $M=5.5$ büyüklüğünde deprem meydana gelmiş, 2 kişi hayatını kaybetmiş, ağır hasar gerçekleşmiştir (Şengül ve diğ. 2009).



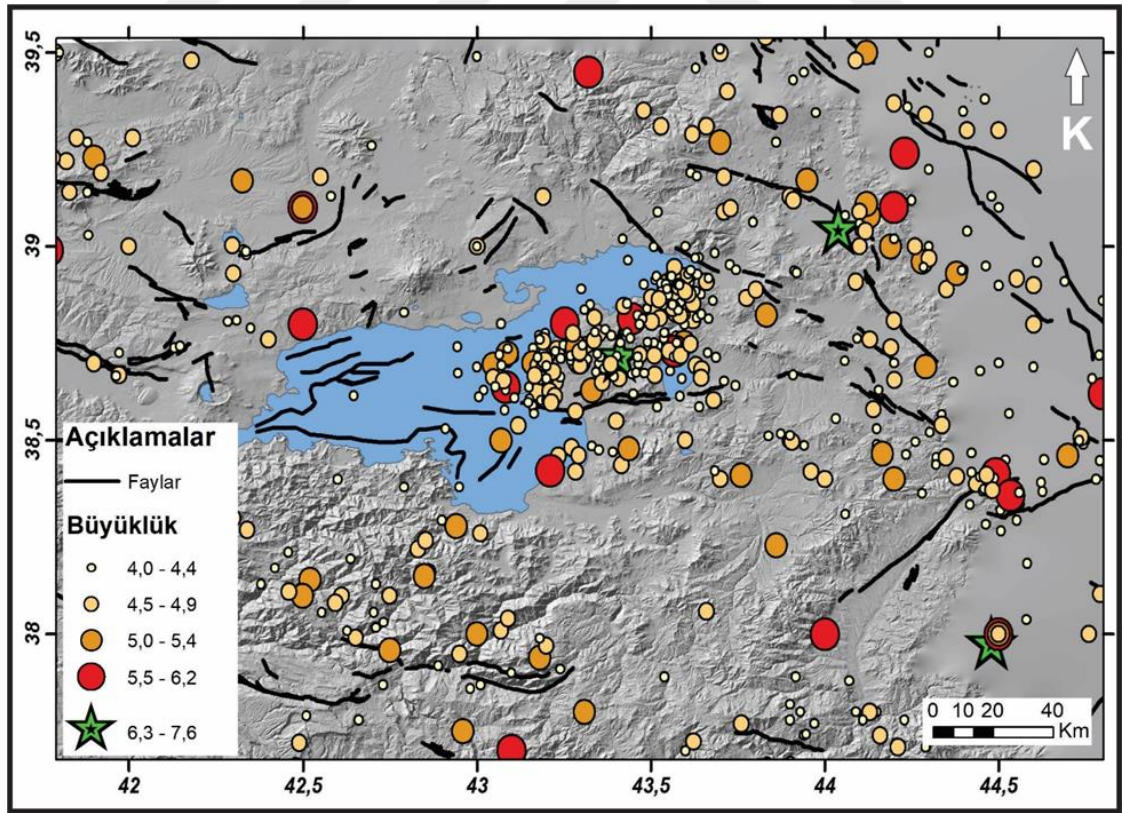
Şekil 4.149. Van Gölü Havzası ve civarında meydana gelmiş tarihsel dönem depremlerin odak noktası dağılımı, diri faylar Emre ve diğ. (2013) ve Çukur ve diğ. (2013b)'den alınmıştır.

Tarihsel depremlere ait şiddet verilerinin haricinde nümerik sismolojik veri bulunmamaktadır. Aynı zamanda, tarihsel kayıtlarda, kataloglarda, yüzey kırığı veya faylara yönelik verilerin detayları da oldukça nadir olarak gözlenmektedir. Bu durumda tarihsel süreçte hangi fayın veya zonun aktif olduğu konusu hep olasılıklar veya yaklaşımlar dâhilinde kalmaktadır. Bu durum Van Gölü Havzası özelinde Doğu Anadolu Bölgesi için daha bir geçerli durumdur.

Aletsel dönemde içerisinde, yani 1900 yılından itibaren günümüze kadar, Van Gölü Havzası içerisinde büyüklükleri $M=4.0-4.9$ arasında 331 adet, $M=5-5.9$ arasında 35 adet, $M=6.0-6.9$

arasında 1 adet ve $M=7$ 'den büyük 1 adet olmak üzere toplamda 368 adet deprem meydana gelmiştir (KRDAE, 2021). Bu depremlerin büyük bölümü, 23 Ekim 2011 tarihinde gerçekleşen $M=7.1$ büyüklüğündeki Van Depreminin ardından, tavan bloğu bölgesinde meydana gelen post sismik hareketlerdir (Şekil 4.150). Ana deprem sonrasında gerek Van Fayı üzerinde gerekse bölgedeki diğer faylar üzerinde büyüklükleri $M=6$ 'lara varan depremler gerçekleşmiştir (Tablo 4.6). Ana şok sonrasında bölgedeki birçok tali fay tetiklenmiştir. Bu durum deprem mekanizması çözümlerinde çok belirgindir.

Van Gölü Havzası'nın dışında, kuzeydoğuda Çaldıran İlçesini kateden, sağ yönlü doğrultu atımlı Çaldıran Fayı 24 Aralık 1976'da $M=7.3$ büyüklüğünde bir depremle yırtılmıştır (Arpat ve diğ. 1977). Çaldıran depremi bölgede aletsel dönemde meydana gelen en büyük sismik aktiviteyi temsil etmektedir. Bu depremin ardından $M=7.1$ büyüklüğündeki Van Depremi gelmektedir. Bölgede, Van Gölü güneyinde Kasım 2000 tarihinde Gevaş İlçesinde meydana gelen $M=5.7$ büyüklüğündeki deprem Van yerleşimi ve civarında etkili olmuş sismik hareketlerden biridir.



Şekil 4.150. Van Gölü Havzası ve civarında meydana gelmiş $M=4$ den büyük depremlerin odak noktası dağılımı, diri faylar Emre ve diğ. (2013) ve Çukur ve diğ. (2013b)'den alınmıştır.

Tablo 4.6. Van Gölü Havzası'nda aletsel dönemde meydana gelen M=5 ve üzeri depremler, Kaynaklar: 1) Ergin ve diğ.,1967, 2) Soysal ve diğ. 1981, 3) Eyidoğan ve diğ. 1991, 4) Ambraseys ve Finkel, 1995, 5) Erdem ve Lahn, 2001, 6) Ambraseys ve Finkel 2006, 7) Tan ve diğ. 2008, 8) Utkucu ve diğ. 2013, 9) Kalafat ve diğ. 2011, 10) KRDAE, 2021, 11) AFAD DDB, 2021.

Enlem	Boylam	Tarih	M	I	Yer-Bölge	Kaynak
38.47	43.30	1900	-	VI	Van	2
38.47	43.30	6-7/1900	5.0	VI	Van	1
38.50	43.30	09/1900	5.0	-	Van Gölü ve çevresi	7,8,9,10
39.00	43.30	1902	6.6	VI	Van	1,2,5,7
39.14	42.65	28.04.1903	7.0	-	Van Gölü ve çevresi	1,2,7
38.74	43.35	1904/1905	-	VI	Van	1,2,7
38.90	42.60	1906	5.0	-	Van Gölü ve çevresi	7,8,9,10
38.80	43.40	1906	5.0	-	Van Gölü ve çevresi	7,8,9,10
39.10	42.50	31.03.1907	5.2	-	Van Gölü ve çevresi	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10
38.00	44.00	28.09.1908	6.0	-	?	10
38.38	42.23	27.01.1913	5.4	-	Van Gölü ve çevresi	7,8,9,10
38.80	42.50	14.02.1915	5.6	-	Van Gölü ve çevresi	7,8,9,10
39.96	41.94	13.09.1924	6.8	-	?	10
37.98	44.48	6.05.1930	7.6	-	Salmas - İRAN	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10
38.66	44.00	1932-1933	-	VI	Özalp	1
40.09	43.22	01.05.1935	6.2	-	?	10
39.07	43.40	10.09.1941	5.9	VIII	Erciş	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10
38.00	43.50	15.01.1945	5.0	VI	Van ve Muradiye	1,7,8,9,10
38.00	43.00	29.07.1945	5.8	VII	Van	1,7,8,9,10
39.00	43.30	20.11.1945	5.5	VIII	Van	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10
39.00	43.00	03.09.1952	5.5	-	Van Gölü çevresi	7,8,9,10
38.49	43.40	28.06.1962	-	IV	Van ve Özalp	1,2
38.13	42.52	27.04.1966	5.6	-	Van Gölü çevresi	7,8,9,10
39.17	41.56	19.08.1966	6.5	-	?	1,2,10
38.30	42.52	19.09.1966	5.2	-	Van Gölü çevresi	7,8,9,10
39.20	44.30	1968	5.6	-	İran-Çaldıran Sınırı	11
39.30	44.40	1968	5.6	-	İran-Çaldıran Sınırı	11
38.23	43.36	16.07.1972	5.0	-	Van Gölü çevresi, Gevaş	7,8,9,10
38.59	43.13	12.01.1976	5.0	-	Van Gölü çevresi	7,8,9,10
39.05	44.04	24.11.1976	7.5	IX	Muradiye, Çaldıran	10
39.12	43.92	24.11.1976	5.0	-	Van Gölü çevresi	7,8,9,10
39.02	44.18	1976	5.0	-	Çaldıran	11
39.24	44.27	1976	5.5	-	Çaldıran-İran Sınırı	11
39.20	43.46	01.01.1977	5.0	-	Van Gölü çevresi	7,8,9,10
39.17	43.52	17.01.1977	5.0	-	Van Gölü çevresi, Çaldıran	7,8,9,10
39.33	43.42	1977	5.0	-	Çaldıran	11
38.93	44.38	1977	5.4	-	Çaldıran-İran Sınırı	11
39.28	43.50	1977	5.1	-	Erciş Kuzeyi	11
39.24	43.33	1978	5.0	-	Çaldıran	11

Tablo 4.6. (devamı).

39.11	43.90	11.04.1979	5.0	-	Van Gölü Çevresi	7,8,9,10
37.97	43.15	1984	5.7	-	Çatak	11
38.50	43.08	25.06.1988	5.3	-	Van Gölü Çevresi	7,8,9,10
38.40	42.92	15.11.2000	5.7	-	Van Gölü Çevresi	7,8,9,10
38.69	43.49	23.10.2011	7.1	-	Tabanlı Van	10
38.55	43.16	23.10.2011	5.8	-	Van'ın kuzeyi	10
38.75	43.59	23.10.2011	5.1	-	Ilıkaynak Van	7,8,9,10
38.81	43.44	23.10.2011	5.6	-	Gedikbulak Van	7,8,9,10
38.71	43.33	23.10.2011	5.1	-	Van Gölü	7,8,9,10
38.63	43.07	23.10.2011	6.0	-	Van Gölü	7,8,9,10
38.67	43.22	24.10.2011	5.0	-	Van Gölü Çevresi	7,8,9,10
38.81	43.62	25.10.2011	5.6	-	Aşağıgölan- Van	10
38.89	43.55	29.10.2011	5.1	-	Çolpan Van	10
38.72	43.08	08.11.2011	5.6	-	Van Gölü	10
38.42	43.22	09.11.2011	5.6	-	Edremit Van	10
38.69	43.15	14.11.2011	5.3	-	Mollakasım Van	10
38.60	43.10	18.11.2011	5.2	-	Van Gölü Çevresi	7,8,9,10
38.47	43.45	30.11.2011	5.0	-	Kevenli Van	7,8,9,10
39.17	42.33	26.03.2012	5.0	-	Van Gölü Çevresi	7,8,9,10

İnceleme alanı ve yakın çevresinde, elde edilen yaş verileriyle birlikte değerlendirildiğinde, Kuvaterner dönemi aktivitesi olan birçok fay bulunmaktadır. Bu fayların bazıları MTA tarafından Holosen aktivitesi olan ve deprem üreten faylar olarak da haritalanmıştır (Emre ve diğ. 2013). Bölgedeki deprem aktivitesi bu durumu ve daha fazlasını desteklemektedir. Çalışma alanı dâhilinde son 10 yıl içerisinde gerçekleşmiş bazı önemli depremlerin odak mekanizma çözümleri Şekil 4.151, Tablo 4.7’de verilmiştir. Mekanizma çözümlerinden de görüleceği gibi depremlerin hemen hepsi ters veya normal bileşeni olan doğrultu atımlı fay karakteri sunmaktadır. Bunun yanısıra ters faylanma sunan depremler de vardır.

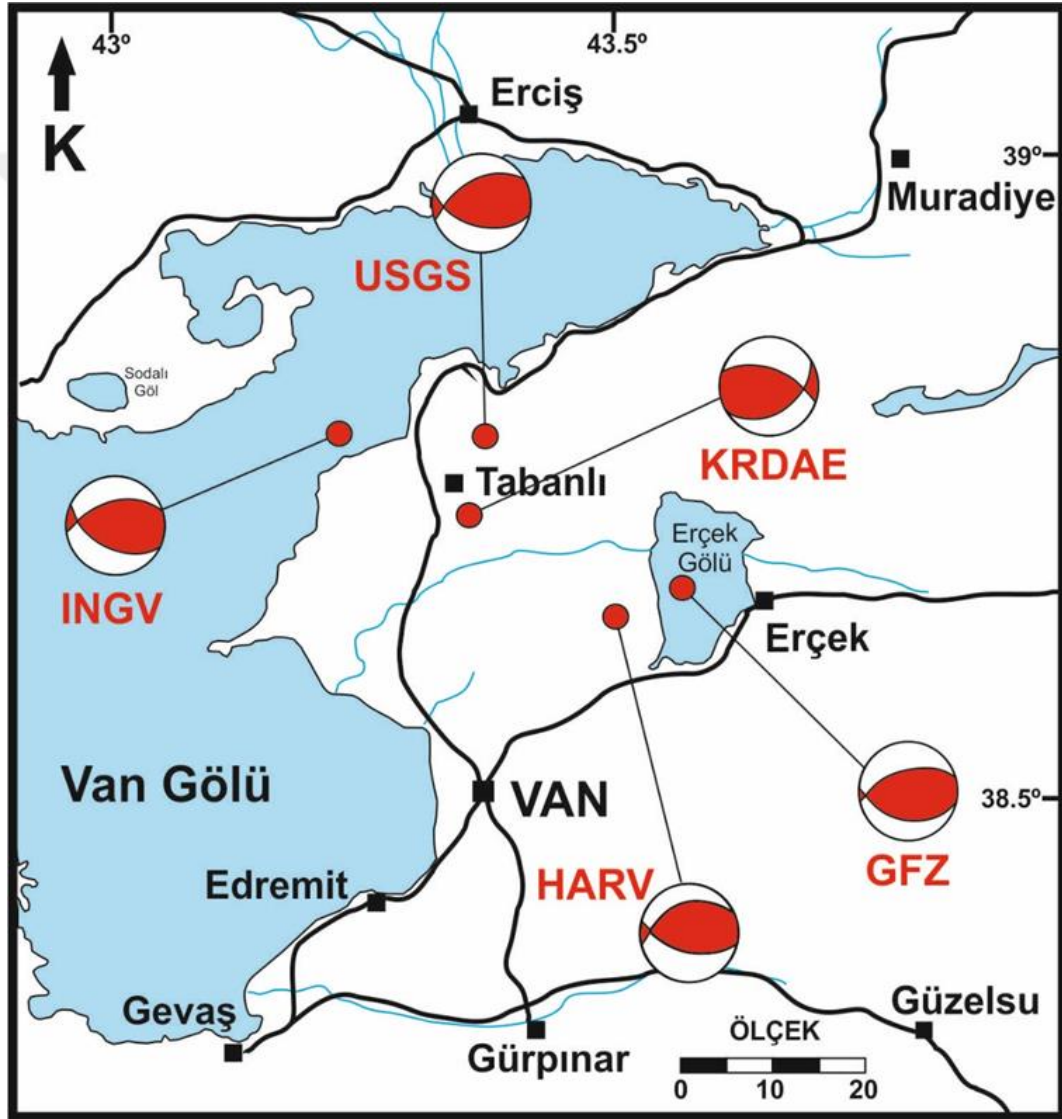
Dikkat çeken önemli bir durum ise deprem odaklarının genellikle inceleme alanının güney kesiminde yoğunlaşmasıdır (Şekil 4.152). Bu kesimde önemli iki fay etrafında ve Van Gölü içerisinde odak noktalarının dağılımı sözkonusudur. Kuzey kesimde Erciş Fay Zonu boyunca veya yakınında bulunan kesimlerde ise kaydedilmiş $M=4$ ve üzeri deprem çok azdır (KRDAE 2021). Kayıtlara geçen depremler, 1978 yılında Ünseli Merkezli $M=4.3$, 1987 yılında Deliçay Köyü kuzeyi merkezli $M=4.4$, 1999 yılında Haydarbey Köyü merkezli gerçekleşmiş $M=4.1$ büyüklüğündeki depremlerdir (Şekil 4.152). Bu depremlerin haricinde bölgede gerçekleşmiş

Tablo 4.7. İnceleme alanında, 2011 yılından bu yana meydana gelen $M=4$ 'den büyük depremlerin odak bilgileri ve mekanizma çözümleri (AFAD DDB 2021, KRDAE 2021).

Sıra No	Tarih	Enlem	Boylam	Büyüklik	Yer	Mek.Çöz.
1	14.12.2020	38.90	43.48	4.7	Ermişler	
2	03.04.2020	38.91	43.52	4.7	Çolpan	
3	20.10.2019	38.95	43.68	4.0	Dürtükkaş	
4	14.06.2018	38.94	43.55	4.5	Çolpan	
5	04.10.2017	38.81	43.46	4.0	Timar	
6	20.04.2016	38.89	43.55	4.0	Çolpan	
7	27.05.2014	38.84	43.56	4.3	Akçift	
8	18.03.2014	38.88	43.52	4.1	Ermişler	
9	18.02.2014	38.83	43.56	4.6	Akçift	
10	24.12.2013	38.87	43.51	4.1	Ermişler	
11	16.12.2013	38.94	43.62	4.0	Karahan	
12	24.11.2012	38.83	43.57	4.5	Akçift	
13	04.04.2012	38.90	43.60	4.4	Sağlamtaş	
14	23.03.2012	38.90	43.60	4.4	Sağlamtaş	
15	27.12.2011	38.92	43.63	4.4	Ovapınar	
16	10.12.2011	38.91	43.57	4.2	Çolpan	
17	06.12.2011	38.83	43.61	4.7	Esenkoç	
18	23.11.2011	38.91	43.55	4.4	Çolpan	
19	17.11.2011	38.86	43.57	4.5	Akçift	
20	07.11.2011	38.93	43.48	4.5	Ermişler	
21	06.11.2011	38.93	43.55	4.6	Çolpan	
22	02.11.2011	38.88	43.59	4.8	Sağlamtaş	
23	02.11.2011	38.94	43.60	4.0	Karahan	
24	01.11.2011	38.85	43.61	4.5	Akçift	
25	29.10.2011	38.92	43.54	4.5	Çolpan	
26	28.10.2011	38.89	43.58	4.5	Sağlamtaş	
27	26.10.2011	38.82	43.51	4.6	Bağdaşan	
28	24.10.2011	38.78	43.39	4.6	Pirgarip	
29	23.10.2011	38.78	43.36	5.8	Şahgeldi	
30	23.10.2011	38.81	43.46	4.7	Timar	

4.3.1. Tabanlı (Van) Depremi, 23 Ekim 2011, Mw=7.1

23 Ekim 2011 günü, saat 13.41'de Van ve çevresini etkileyen büyük (Mw=7.1) bir deprem meydana gelmiştir. Depremi odak merkezi Van il merkezinin yaklaşık 25 km kuzeyinde yer alan Tabanlı köyü civarındadır (Şekil 4.153). Deprem, tüm Doğu Anadolu Bölgesinde şiddetlice hissedilmiş, Van merkeze bağlı birçok köyde ve Van'ın en büyük ilçesi olan Erciş'te yıkımlara ve ağır hasara neden olmuş ve toplam 604 kişi hayatını kaybetmiştir.

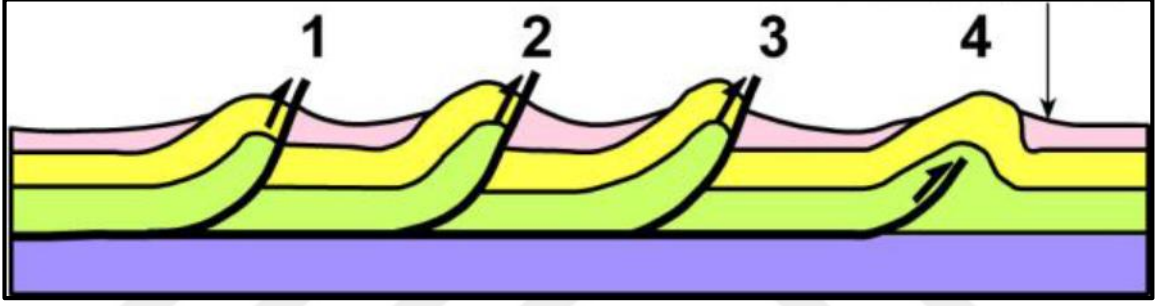


Şekil 4.153. Tabanlı (Van) depreminin farklı merkezler tarafından belirlenmiş odak noktası ve mekanizma çözümleri, USGS: US Geological Survey, KRDAE: Kandilli Rasathanesi ve DAE, INGV: Bologna-İtalya, HARV: Harvard Üni. ABD, GFZ: Geoforschung Zentrum, Almanya.

Deprem gerek mekanizması gerekse odak yeri anlamında ayrı bir önem taşımaktadır. Ülkemizde aletsel dönem içerisinde bilinen ters fay mekanizmasına sahip en önemli iki deprem 1968 yılında Bartın’da gerçekleşmiş olan $M=6.8$ büyüklüğündeki deprem ile 1975 yılında Diyarbakır Lice’de gerçekleşmiş olan, $M=6.6$ büyüklüğündeki depremlerdir (Soysal ve diğ. 1981). Bu depremlerin haricinde aletsel dönem içerisinde $M=6$ büyüklüğünün üzerinde ters faylanma mekanizmasına sahip deprem gerek Doğu Anadolu Bölgesinde, gerekse ters faylanma ve bindirme kuşakları içerisinde kaydedilmemiştir. Van Gölü havzası dâhilinde aletsel dönem içerisinde gerçekleşmiş en büyük ters faylanma mekanizmasına sahip deprem 2000 yılında Gevaş ilçesi odaklı $M=5.7$ büyüklüğündeki depremdir. 23 Ekim’de gerçekleşen $M=7.1$ büyüklüğündeki bu deprem ise bölgedeki K-G yönlü sıkışma rejiminin büyük ölçekli deprem üretme potansiyelini çok daha net olarak ortaya koymuştur. Ancak bölgede gerçekleşmiş büyük depremler göstermektedir ki birden fazla farklı mekanizmalara sahip faylar kısa zaman içerisinde hareket etmekte ve geniş alanlarda deprem dağılımı sunmaktadır (Şengül ve Koral 2011). Bu duruma geçmişten en iyi örnek 1976 yılında Çaldıran’da gerçekleşen $M=7.3$ büyüklüğündeki deprem ile 2005 yılında Hakkari Sözlüce’de gerçekleşen $M=5.5$ büyüklüğündeki depremlerdir (Şengül ve diğ. 2010). Van depremi, gerek ana şokun kaynak mekanizması çözümü, gerekse halen devam eden artçı depremlerin dağılımı gözönüne alındığında birden fazla yırtılmanın gerçekleştiği bölgesel ölçekli, tetiklenmiş depremler barındırmaktadır.

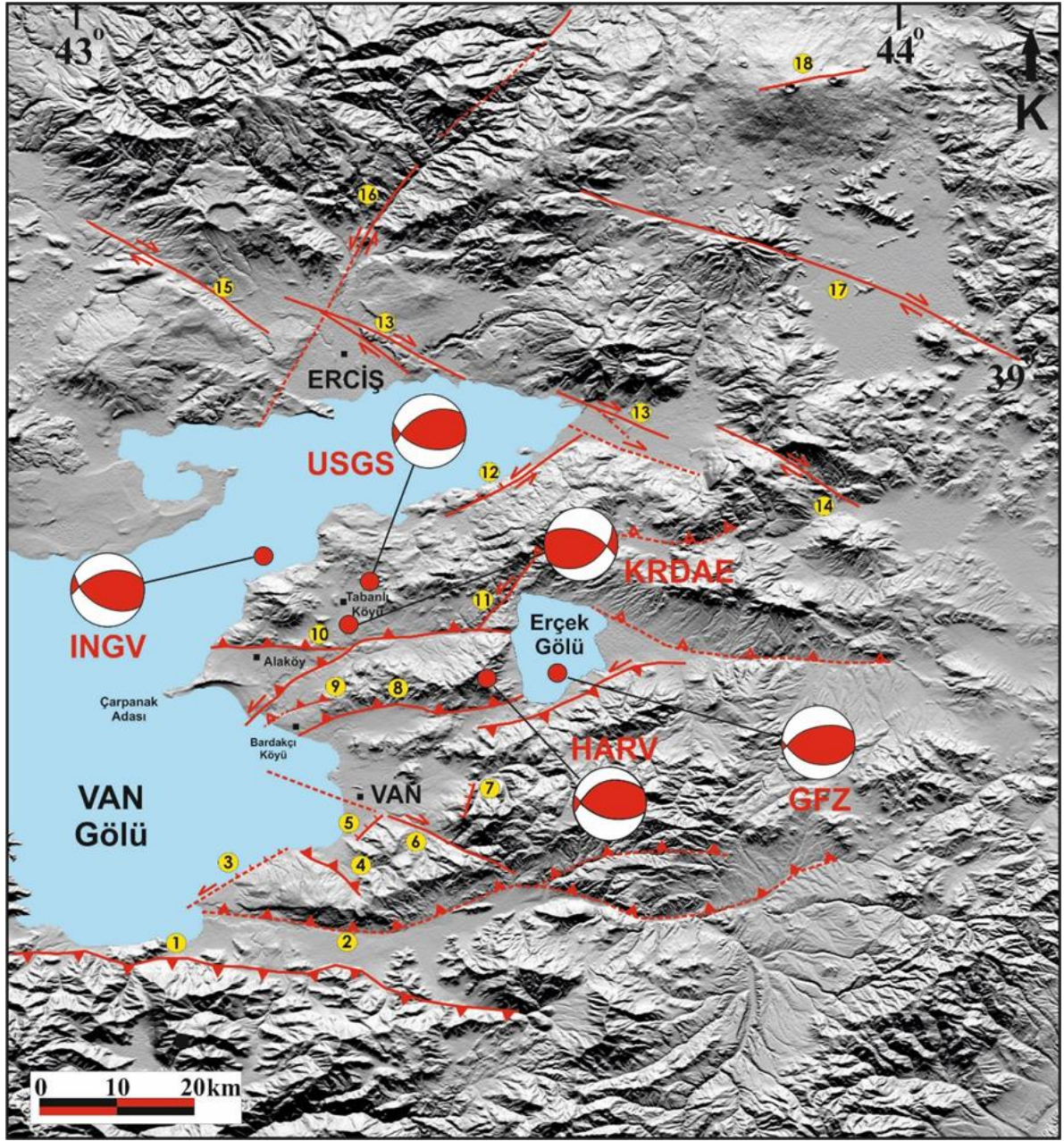
Depremi hemen akabinde birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların büyük bir bölümünde depremin yüzey deformasyonları, fayın kinematığı, bölgenin sismotektonik ve tektonik yapısı ana başlıklar halinde sunulmaktadır (Emre ve diğ. 2011, JMO 2011, Özkaymak ve diğ. 2011, Koçyiğit ve diğ. 2011, Koçyiğit 2013, Akyüz ve diğ. 2011, Utkucu ve diğ. 2011, YTÜ 2011, Doğan ve Karakaş 2013). Bu çalışmalarda belirlenen ortak görüş yırtılan fayın yaklaşık $K70D$ doğrultulu, kuzeye eğimli, sol yön bileşenli ters fay olduğudur (Şekil 4.155’de gösterilen 8 nolu Everek Fayı). Bu fay 1996 yılında MTA tarafından yayımlanan “Türkiye Diri Fay Haritası” kapsamında haritlanmamış bir faydır. Bu nedenle fayın gerek karakteri gerekse oluşumu ile ilgili farklı görüşler ortaya konmuştur. Bu görüşlerden bir tanesi fayın türünün kör bindirme (blind thrust) fayı olduğu, diğerinin ise erozyonal bindirme (erosion reverse fault) fayı olduğudur.

Özkaymak ve diğ. (2011), JMO (2011) ve Doğan ve Karakaş (2013) çalışmalarında depreme kaynaklık eden Everek Fayı'nın kör bindirme (blind thrust) fayı olduğu görüşünü savunmuşlar ve fayın gelişimi ile ilgili model öne sürmüşlerdir (Şekil 4.154). Tektonik taşıma yönü boyunca ki bu Doğu Anadolu Bölgesinde kuzeyden güneye doğru gerçekleşmektedir, ana dekolman (sürüklenme) fayı üzerinde gelişen ve yüzeye kadar ulaşan ters faylar veya bindirmelerin haricinde yüzey kırığı üretmeyen, sadece kabarma veya kıvrımlanma sonucu varlığı saptanabilen ters fay veya bindirmeler ise kör bindirme (blind thrust) olarak tanımlanmaktadır (Fossen, 2010). Özkaymak ve diğ. (2011) yüzeydeki mevcut deformasyonların belirgin bir yüzey kırığı şeklinde gelişmemiş olması nedeniyle fayın yüzeye kadar ulaşmadığını ve dolayısıyla kör bindirme olarak kaldığını belirtmişlerdir.



Şekil 4.154. Tektonik taşıma yönünde gelişen bindirme faylarının oluşumu, 4 nolu fay yüzeye ulaşmadığından “kör bindirme” olarak tanımlanmaktadır (JMO, 2011).

Koçyiğit (2013) Tabanlı depremini üreten fayı “Everek Fayı” fayı olarak adlandırmış (Şekil 4.155, 8 nolu fay) ve fayın türünü erozyonal bindirme (erosion reverse fault) fayı olarak tanımlamıştır. Buna gerekçe olarak yüzeyde yaklaşık 15 cm ye varan, düzenli devam etmeyen, kesintili yüzey kırığının gelişmiş olmasını göstermiştir.

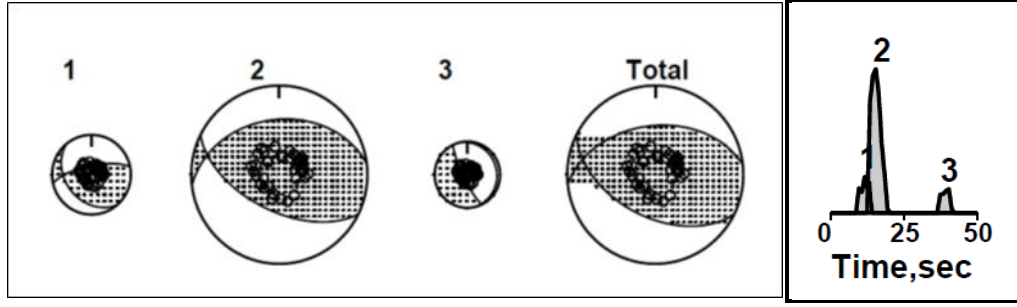


Şekil 4.155. Van Gölü doğusunda gözlenen ana faylar (1: Gevaş Bindirme Fayı, 2: Gürpınar Bindirme Fayı, 3: Dilkayası Fayı, 4: Edremit Fayı, 5: Kavurma Fayı, 6: Kurubaş Fayı, 7: Kevenli Fayı, 8: Everek Fayı, 9: Topaktaş-Arisu Fayı, 10: Alaköy Fayı, 11: Kozluca Fayı, 12: Çakırbey-Ermişler Fayı, 13: Erciş Fayı, 14: Uluşar Fayı, 15: Kocapınar Fayı, 16: Zilan Fayı, 17: Çaldıran Fayı, 18: Tendürek Fayı) ve Tabanlı depreminin odak mekanizma çözümleri (HARV: Harvard Üni., GFZ: Geoforschung Zentrum Almanya, KRDAE: Kandilli Rasathanesi ve DAE, USGS: US Geological Survey, INGV: Bologna, İtalya), ana şok 8 ve 9 nolu faylardan kaynaklanmıştır (Poyraz ve diğ. 2011, Koçyiğit 2013, Emre ve diğ. 2011'den değiştirilmiştir).

Bu görüşlerin yanında Doğan ve Karakaş (2013)'e göre ise yüzey kırığı oluşmuş ancak $M=7.1$ büyüklüğündeki bir deprem için bu oluşan yüzey kırığı boyutunun yeterli olmaması nedeniyle fayın “kör bindirme” olması gerektiğini savunmuşlardır. Doğan ve Karakaş (2013) aynı zamanda yırtılan bu kör bindirmenin hemen kuzeyinde gerçekleşen ve yüzey deformasyonu oluşturan faylanma için ise “back-thrust” tanımını kullanmış ve bunların haricinde bölgede yüzey kırığı oluşturmuş KD uzanımlı sol yönlü, KB uzanımlı sağ yönlü doğrultu atımlı faylar belirlemişlerdir.

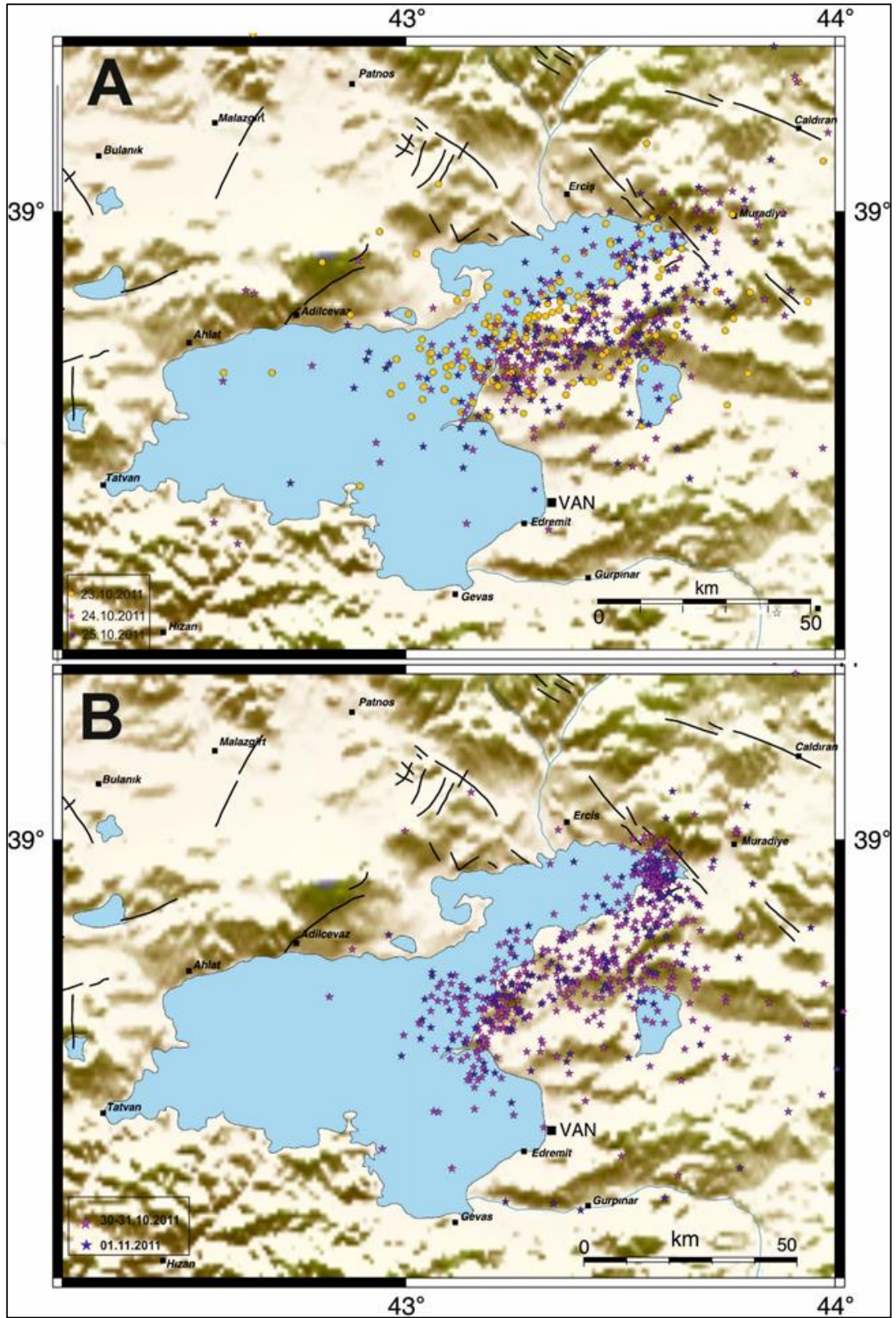
Gerek fayın depremden önce yapılan çalışmalarda tamamıyla haritalanmamış olması gerekse deprem sırasında (co-sismik) ve sonrasında (post-sismik) yüzeyde belirgin ve yeterli boyutta kırık üretmemesi nedeniyle fayın karakterini ve depremin özelliklerini belirlemek amacıyla sismolojik veriler doğrultusunda sonuçlar elde edilmiştir (Poyraz ve diğ. 2011, Utkucu ve diğ. 2011). Poyraz ve diğ. (2011) çalışmasında Kikuchi ve Kanamori (1991) yöntemini kullanarak telesismik cisim dalgalarının ters çözüm analizini yapmış ve 2011 Tabanlı-Van depreminin kırılma sürecini incelemiştir. Telesismik cisim dalgaları, Uluslararası Sismoloji Araştırma Enstitüleri Birliği (IRIS) veri merkezinden elde edilmiştir. Ters çözümde episantır uzaklıkları 30 ile 90 derece arasında farklı azimutlarda yer alan 37 istasyon kullanılmıştır.

Ters çözüm mekanizmalarına göre deprem 3 şoktan oluşmuştur. Bunların büyüklüklerini oluş sırasına göre verecek olursak $M_w=6.6$, $M_w=7.1$ ve $M_w=6.5$ olarak belirlenmiştir (Şekil 4.156). Bu şoklara ait moment değerleri ise sırasıyla, $M_0=7.9 \times 10^{25}$ dyn cm, $M_0=4.5 \times 10^{26}$ dyn cm ve $M_0=5.6 \times 10^{25}$ dyn cm olarak bulunmuştur. Şokların uzaysal dağılımına göre, kırılma KD'da başlayıp GB'ya doğru sistematik bir şekilde ilerlemiş ve farklı geometrilere sahip faylanmalarla meydana gelmiştir. Birinci ve ikinci şok, uzay ve zaman boyutunda birbirlerine yakın yerlerde meydana gelmiş ve mekanizmaları ters faylanma bileşenin hâkim olduğu oblik faylanma türüne işaret etmektedir. Üçüncü şok ise yaklaşık 30 saniye sonra, deprem bölgesinin GB kısmında normal faylanma mekanizmasıyla oluşmuştur. En büyük şokla birlikte oluşan sismik moment serbestlenmesi 20 km derinlikte meydana gelmiştir. Bunun birinci ve ikinci düğüm düzlemlerinin parametreleri (doğrultu, eğim ve kayma vektörü) sırasıyla; 116° , 57° , 110° ; 262° , 38° , 62° 'dir. Buna göre kayma vektörleri, birinci düğüm düzleminde KB-GD ve ikinci düğüm düzleminde KD-GB doğrultusundadır.



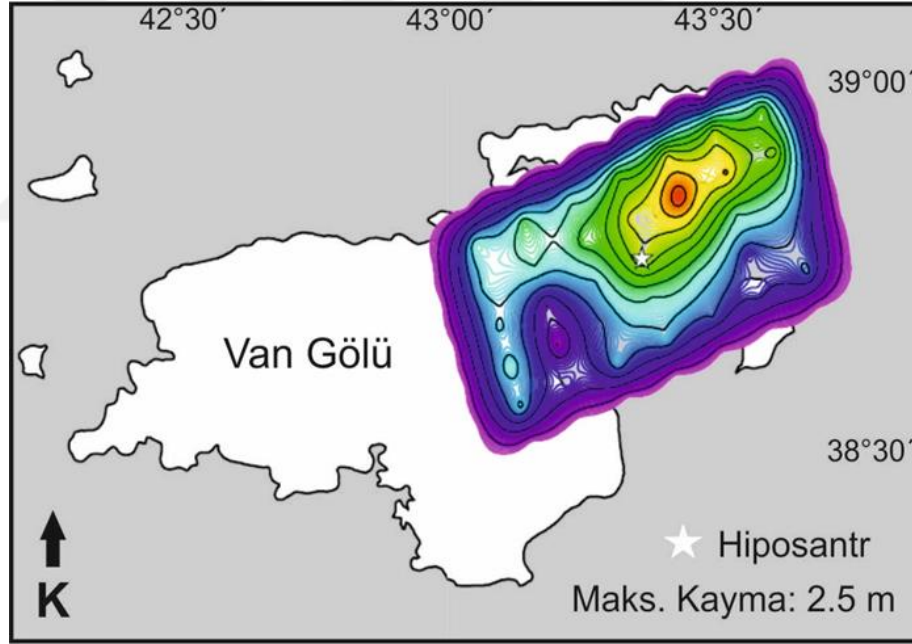
Şekil 4.156. Tabanlı Depreminin kaynak-zaman fonksiyonu ve odak mekanizması çözümü (Poyraz ve diğ. 2011).

Ana yırtılmadan sonra devam eden artçı depremlerin dağılımı yırtılmanın KD'dan başlayıp GB'ya ilerleme sürecini net olarak ortaya koymaktadır. Depremin üçüncü gününden itibaren Van Gölü içerisinde, Çarpanak adası doğusundan güneye uzanan hat boyunca, gölün güney kısımlarına doğru depremler gerçekleşmiştir. Bu depremlere ait episantr dağılımları Şekil 4.157'de gösterilmiştir. Bu depremlerin bir kısmı gölün içerisindeki farklı karakterdeki faylarla ilişkili olabileceği gibi, KD'dan gelen ana bindirme düzlemlerinin göl içerisindeki devamları niteliğinde de olabilir. Zira artçı depremlerin bazılarının mekanizma çözümleri ters bileşene sahip doğrultu atımlı fay düzlemlerine işaret etmektedir.



Şekil 4.157. Artçı depremlerin zamansal dağılımı, A: 23-25 Ekim arası, B: 30 Ekim - 01 Kasım tarihleri arası, (Poyraz ve diğ. 2011).

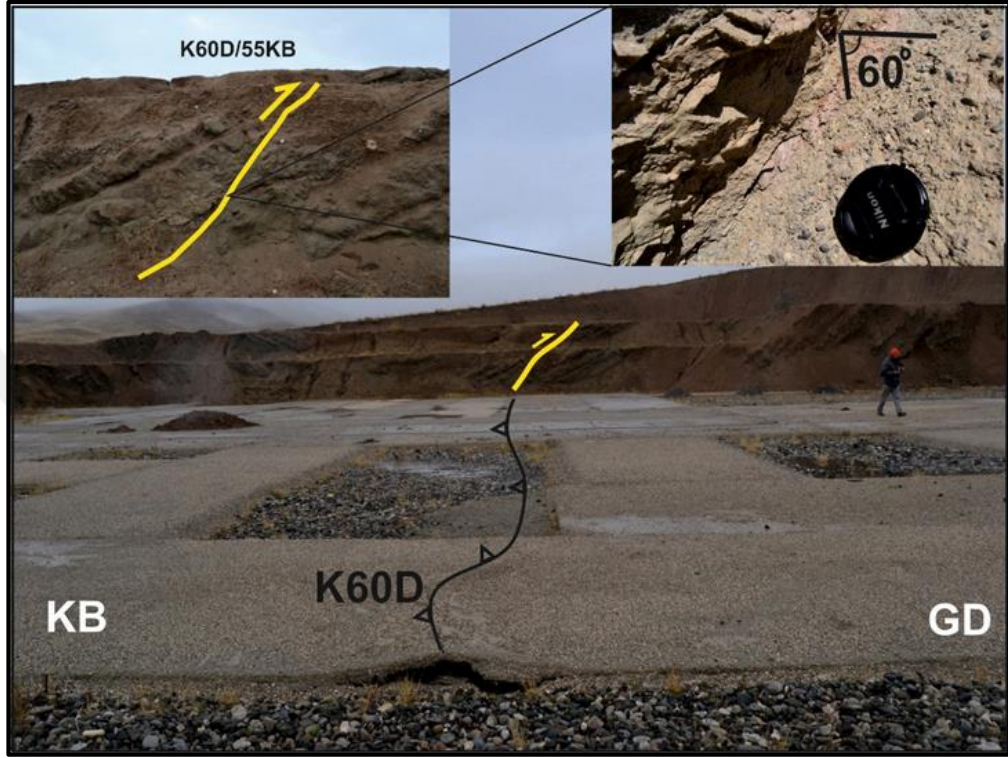
Ana şokun meydana geldiği düzlem ise sırasıyla $262^0, 38^0, 62^0$ doğrultu, eğim ve kayma vektörüne sahip sol yön bileşenli ters faylanma mekanizmasına sahip düzlemdir. Gerek saha verileri gerekse artçı depremlerin dizilimi bu veriyi doğrulamaktadır. Kayma dağılımlarına bakıldığında bu düzlem üzerinde yaklaşık 16-20 km derinlik arasında ve kuzeydoğu kesimde maksimum 2.5 m civarında kayma hesaplanmıştır (Şekil 4.158). Düzlemin güneybatı ucunda ve yüzeye yakın kesiminde ise bu oran 50 cm'lere kadar düşmektedir. Saha çalışmalarında yüzeyde yaklaşık 10 cm güneye doğru atım yapan ters bileşenli kırıklar gözlenmiştir. Bu kırıklar daha çok Şekil 4.155'te 8 nolu fay düzlemi üzerinde ölçülmüştür. Yırtılma boyunca düşük boyutlu gerçekleşen yüzey kırılması depremin ikinci ve üçüncü günü de devam etmiş, Van'ın kuzeybatısındaki Bardakçı köyünün hemen kuzeyinde asfalt yolda yine ters bileşenli yüzey deformasyonu oluşmuştur (Emre ve diğ. 2011). Bu durum aynı zamanda yırtılmanın GB'ya ilerlemesinin göstergelerinden birisidir.



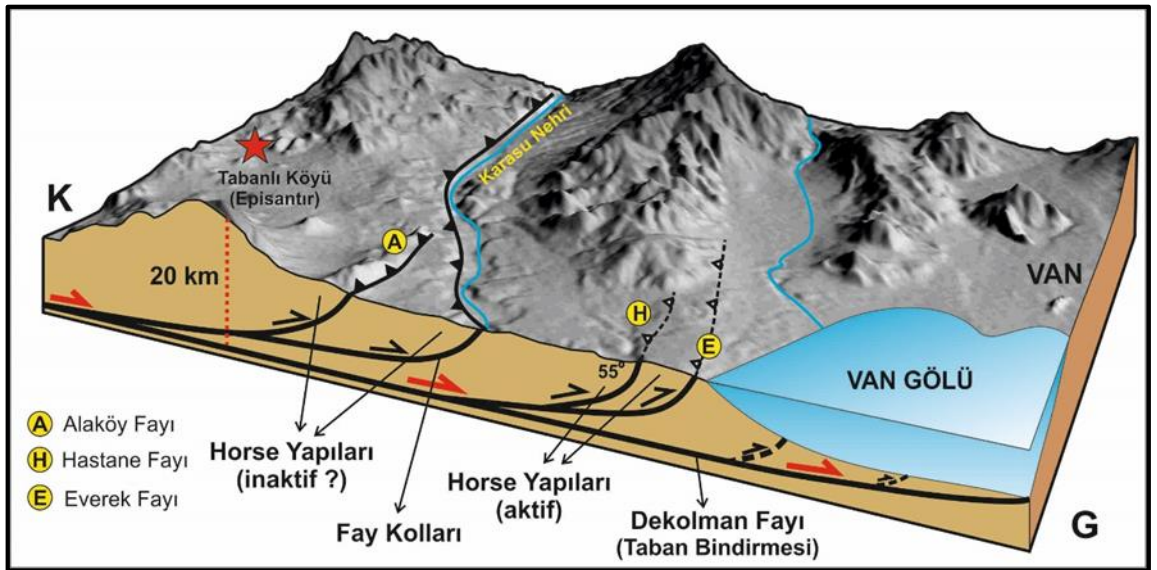
Şekil 4.158. Fay düzlemi üzerinde gelişen kayma dağılımı, kırmızı renk maksimum kaymayı temsil eder, (Poyraz ve diğ. 2011).

Depremin büyüklüğüne rağmen yüzeyde kesintili olarak sadece 10 cm'lik bir deformasyon gerçekleşmesinin nedenleri şöyle sıralanabilir. Depremin odak derinliği yaklaşık 20 km civarındadır. Bu derin sayılabilecek bir yırtılma seviyesidir. Bu derinlikte depreme kaynaklık eden fayın düzlemi ise yaklaşık 38^0 kuzeye doğru eğimlidir. Fayın hemen kuzeyinde yırtılan ikinci düzlemin yüzeylendiği alandaki eğimi ise 55^0 nin üzerindedir (Şekil 4.159). Yani bir

diğer deyişle fayın tavan bloğunun 20 km derinden üzerinde kaymaya başladığı düzlem yüzeye doğru dikleşmekte ve yaklaşık 60° nin üzerine çıkararak terslenme hareketini zorlaştırmaktadır (Şekil 4.160).

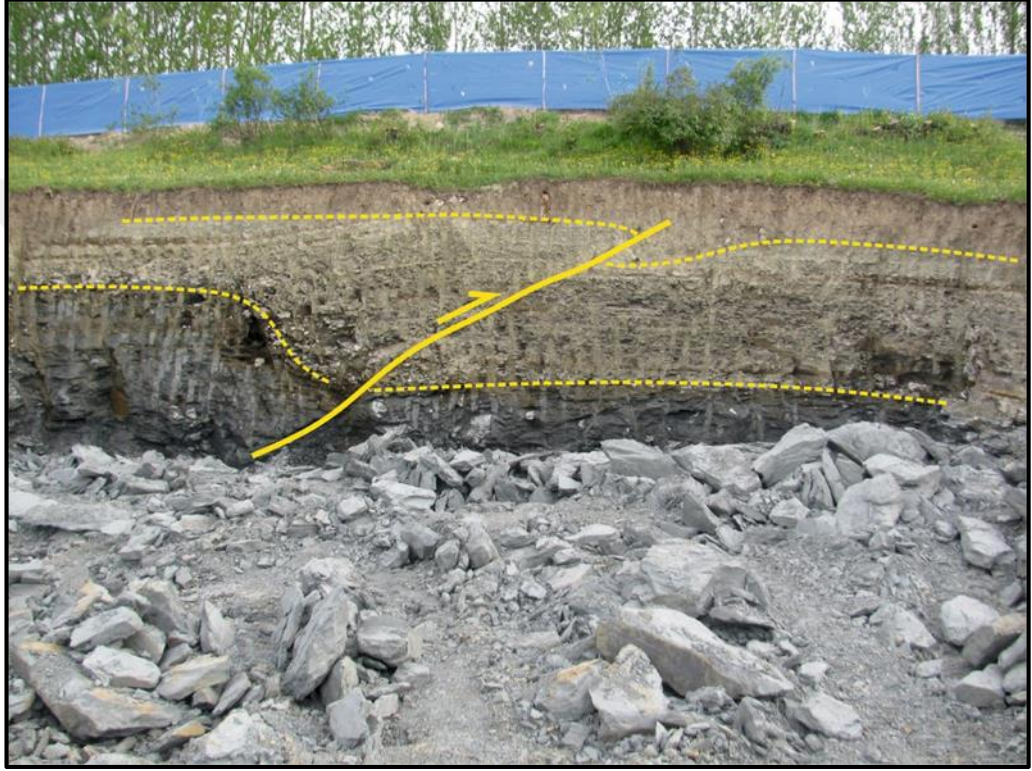


Şekil 4.159. Hastane temeli alanında gözlenen, Everek Fayının kuzeyindeki segment, bakış yönü KD.



Şekil 4.160. Yüzeye doğru dikleşen fay kollarını gösteren blok diyagram.

Şayet fayın yüzeydeki eğimi de bindirme düzlemi eğimlerinde yani 45^0 nin altında ve de yırtılma derinliği daha sığ olsaydı yüzey kırığı çok daha farklı boyutlarda gerçekleşebilirdi. Keza Van'ın 10 km güneyinde bulunan Edremit yerleşimi yakınındaki bir temel kazısında ortaya çıkan Oligo-Miyosen yaşlı Van Formasyonunu keserek yüzeye ulaşmış ve üzerinde bitkisel toprak dışında herhangi bir genç çökel bulunmayan, kuzeye 35^0 eğimli bindirme fayında yaklaşık 80 cm atım ölçülmüştür (Şekil 4.161).



Şekil 4.161. Edremit yakınlarındaki temel kazısında belirlenen bindirme, atım yaklaşık 80 cm, bakış yönü GD.

Deformasyonun yüzeye kadar yeterince ulaşamamasının bir diğer nedeni ise litolojik özellikler olmalıdır. Zira yırtılmanın gerçekleştiği alanda Oligo-Miyosen yaşlı Van Formasyonu yüzeylenmektedir. Yaklaşık 1000 m kalınlığa (Acarlar ve diğ. 1991) varabilen bu birimin altında ise Doğu Anadolu Yığılma Karmaşığının mafik-ultramafik türevi kayaları yer almaktadır. Gerek Van Formasyonu gerekse temel kayaları daha çok kiltası, çamurtaşı, ince taneli kumtaşı, serpantin ve benzeri plastisitesi yüksek kayalardan oluşmaktadır. Bu durum deformasyonun kayalar tarafından soğurulmasını ve yüzeye kadar iletilememesini beraberinde getiriyor olmalıdır. Derin deformasyon bu sebeplerden dolayı post sismik (ana şok sonrası) süreçte yüzeye kadar gelebilmiş, özellikle fayın GB ucuna yakın yerlerde, Bardakçı köyü

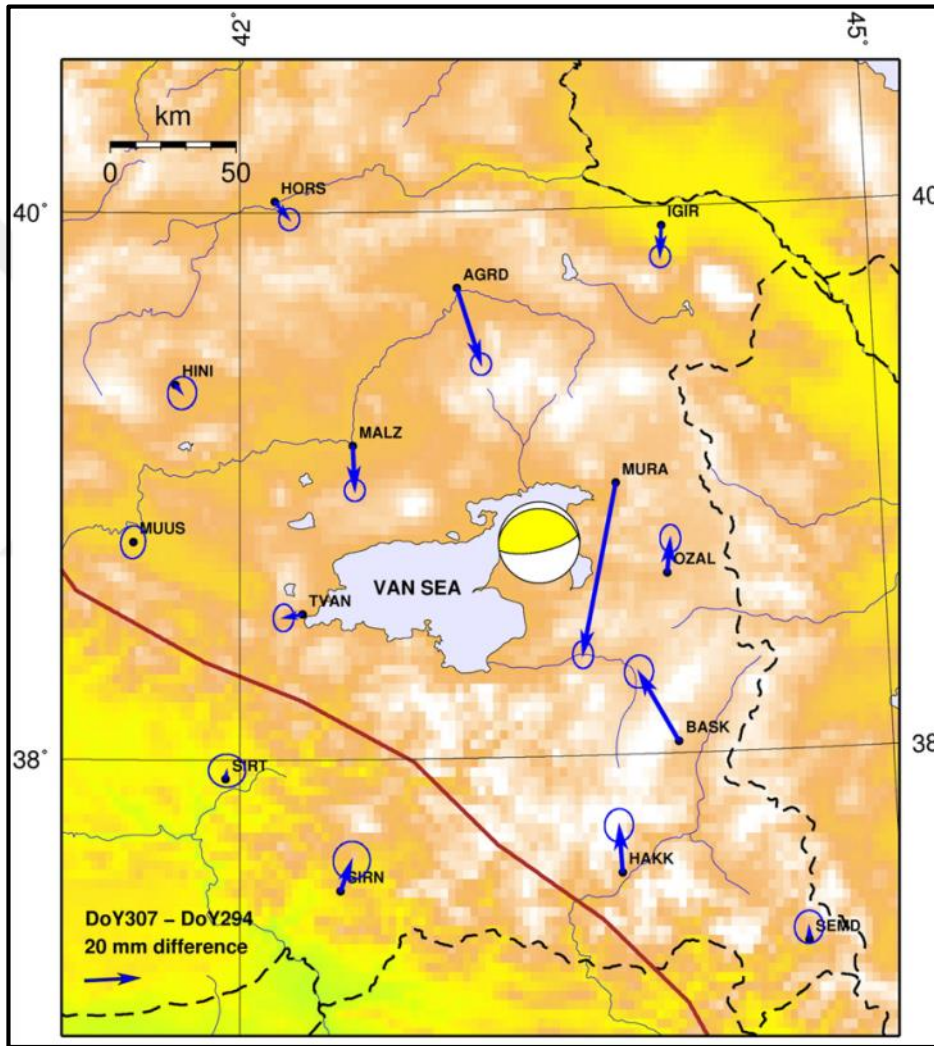
kuzeyinde yol üzerinde depremden iki gün sonra yüzeylenebilmıştır. Ancak bu 10 cm lik yamulma-yırtılma fayın doğrultusu boyunca her yerde değil, beton, sert asfalt, kaldırım taşı gibi gevrek-kırılgan malzemelerin olduğu kesimlerde belirgin olarak oluşmuştur (Şekil 4.162). Bu durum enerji boyutuna ve litolojik farklılığa dikkat çekmektedir.



Şekil 4.162. Su kanallarında depremle birlikte gelişen deformasyon, Bardakçı Köyü yakını, bakış yönü KB.

Tabanlı depremi sonrasında yüzeyde gelişen hareketleri ve yönünü belirlemek amacıyla jeodezik çalışmalar da yapılmış, gerek TUSAGA (Türkiye Sabit GPS Ağı- CORS-TR) kapsamındaki istasyon verileri gerekse interferogramlar (InSAR) yardımıyla depremi meydana getiren faylanmanın geometrisi ve yatay yerdeğiştirmeler belirlenmeye çalışılmıştır (Altınar ve diğ. 2013, Elliott ve diğ. 2013). Bu çalışmalar daha çok bölgesel bazda olup Van Gölü Havzası dışında, Doğu Anadolu Bölgesinin neredeyse tamamını kapsayacak şekilde yapılmıştır. Altınar ve diğ. (2013) çalışmasında 21 Ekim - 03 Kasım 2011 tarihleri arasında gerçekleşen co-sismik (deprem anı) ve post-sismik (deprem sonrası) yatay yerdeğiştirme miktarlarını hesaplamıştır. Bu çalışmaya göre Şekil 4.163’de de gözlenen sabit istasyonlar boyunca vektörel olarak hareket yönü ve miktarı hesaplanmıştır. En çok yatay yerdeğiştirme depreme kaynaklık eden fayın tavan bloğu tarafında kalan Muradiye (MURA) istasyonunda belirlenmiş olup bu değer yaklaşık 62.6 mm civarındadır.

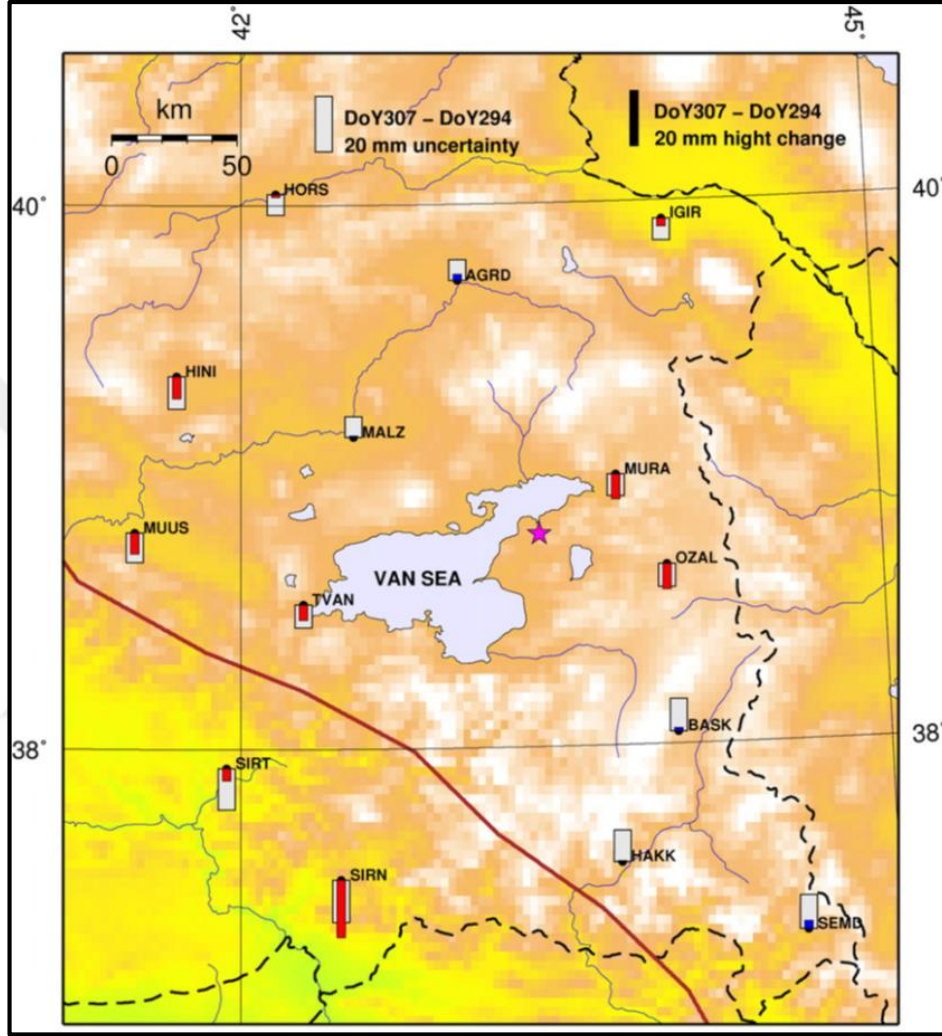
Beklenildiği üzere fayın kuzeyinde kalan alanlar göreceli olarak güneye, güneyde kalan istasyonlar ise kuzeye doğru hareket etmiştir. Yine göreceli olarak fazla miktarda yerdeğiştirme gözlenen istasyonlar Ağrı (AGRD) 28.2 mm, Malazgirt (MALZ) 17.0 mm, Iğdır (IGIR) 13.9 mm istasyonları olup bu istasyonların hareket yönü güneye doğrudur. Fayın güneyinde kalan Başkale (BASK) 28.7 mm, Özalp (OZAL) 12.2 mm, Hakkâri (HAKK) 16.8 mm istasyonları göreceli olarak kuzeye doğru yatay yerdeğiştirme gerçekleştirmiştir (Şekil 4.163).



Şekil 4.163. Deprem sonrası gelişen yatay yerdeğiştirmeler (Altınar ve diğ. 2013).

Depreme kaynaklık eden faya 200 km den fazla uzak olan, kuzeydoğu ve kuzeybatı da yeralan istasyonlarda ise yatay yerdeğiştirme miktarları en fazla 10 mm civarında gerçekleşmiştir (Altınar ve diğ. 2013).

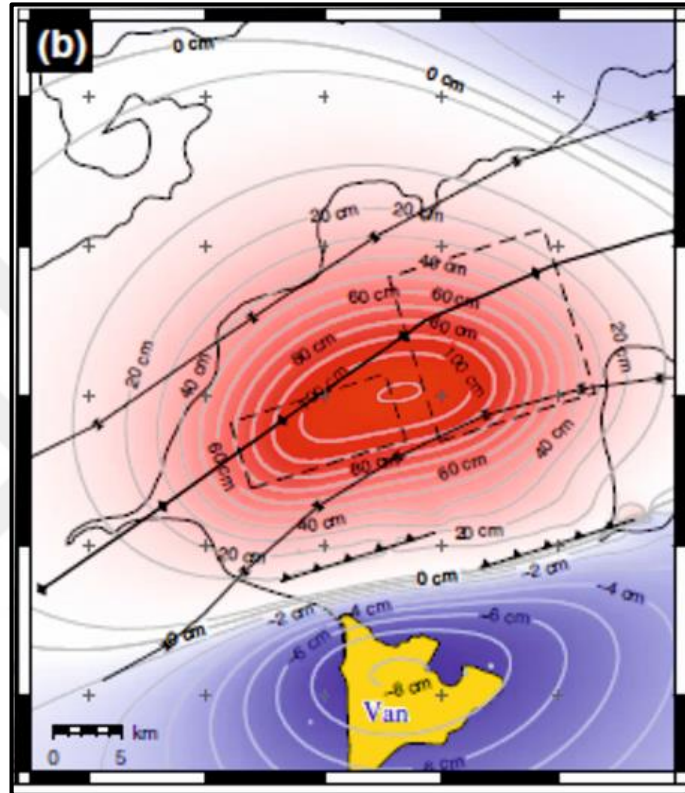
Yine çalışma kapsamında aynı istasyonların uluslararası sisteme kayıtlı ANKR (Ankara), IST (İstanbul) ve ZECK (Rusya) isimli uzak alan istasyonlara kıyasla düşey bileşenli hareketleri de belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 4.164).



Şekil 4.164. Deprem sonrası gelişen düşey yerdeğiştirmeler (Altınır ve diğ. 2013).

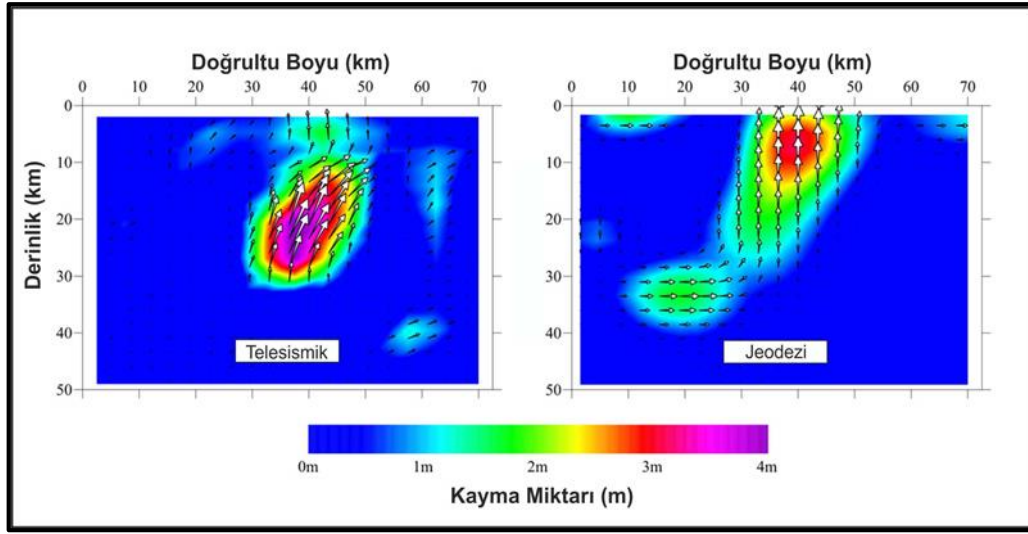
Elde edilen sonuçlara göre kırmızı çubukla gösterilen istasyonlarda çökme veya alçalma, mavi çubukla gösterilen istasyonlarda ise yükselme belirlenmiştir. Beyaz çubuklar ise belirsizliği tanımlamaktadır. Bu veriler değerlendirildiğinde, depremin etkisinin uzak mesafelerde düşey bileşen değerleri etkilemediği veya belirli bir anlam içerecek oranda sonuçlar ortaya çıkarmadığı görülebilir. Zira aynı jeolojik ortamlarda bulunan Şırnak ve Şemdinli istasyonlarının birinde alçalma diğerinde yükselme belirlenmiş, fayın doğusunda ve batısında kalan Muradiye, Özalp ve Tatvan istasyonlarında ise göreceli olarak alçalma belirlenmiştir (Altınır ve diğ. 2013).

Ellriott ve diğ. (2013) depremi InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) verileri, uydu görüntüleri ve sismik verileriyle değerlendirmiş ve depremin telesismik verilerle odak mekanizması çözümünü ve kayma dağılımını yaparak, InSAR verileriyle belirledikleri kayma dağılımlarını karşılaştırmışlardır. Bununla beraber kayma dağılımına bağlı olarak kısa zaman düşey yerdeğiştirme miktarlarını yorumlamışlardır (Şekil 4.165).



Şekil 4.165. Tabanlı depremi sonrası gelişen düşey hareket dağılımı, kırmızı alan yükselme, mavi alan alçalmayı göstermektedir (Elliott ve diğ. 2013).

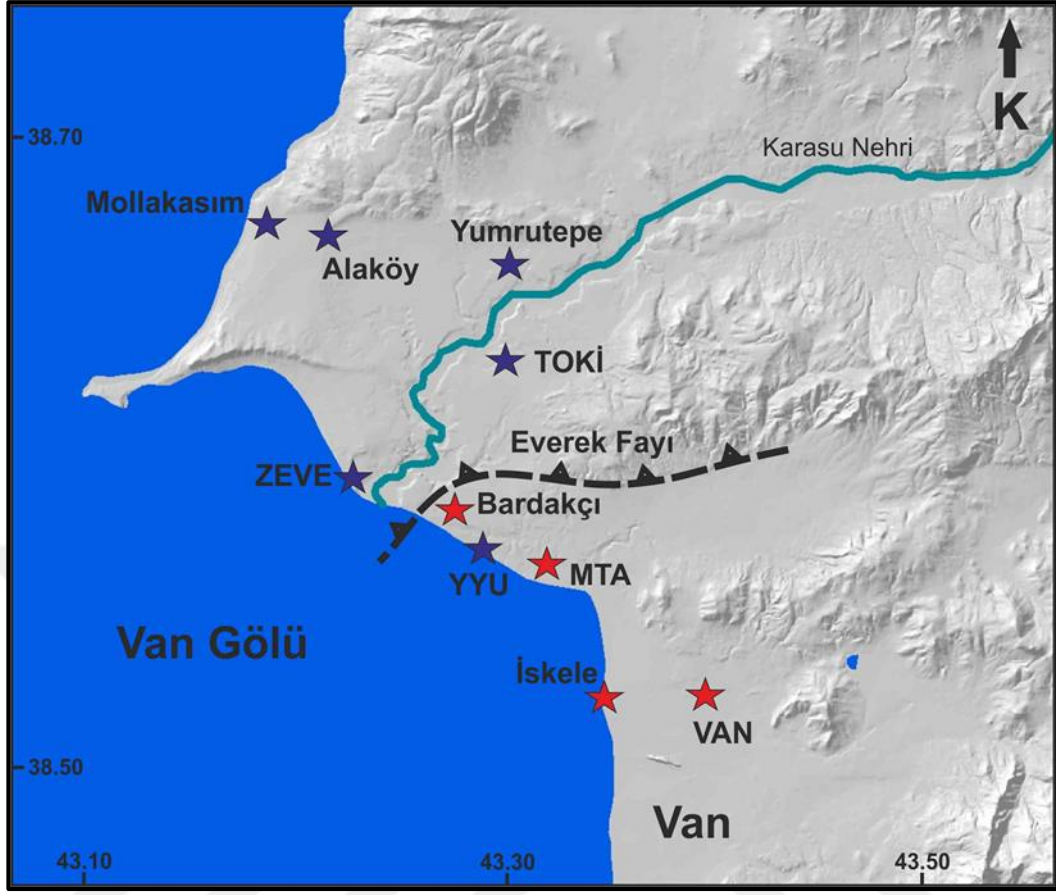
Bu veriler ışığında fayın kuzeyinde kalan alanda 100 cm'nin üzerinde yükselme, fayın güneyinde yani taban bloğunda ise göreceli olarak 8 cm lere varan alçalma belirlemişlerdir. Araştırmacılar bölgedeki yükselmenin elipsoidal olarak yaklaşık faya paralel uzandığını da saptamışlardır. Bu elipsoidal geometri, doğal olarak, belirledikleri kayma dağılımlarından yola çıkılarak yapıldığından maksimum düşey yerdeğiştirme oranı en fazla kaymanın (9 m civarında) gözleendiği alanda gerçekleşmiştir. Altiner ve diğ. (2013)'de ise kayma dağılımı telesismik velirler ve jeodezik veriler doğrultusunda farklı boyutlarda belirlenmiştir (Şekil 4.166). Buna göre telesismik verilerde maksimum kayma değeri 4 m civarında ve 20 km derinde, Jeodezik verilerde ise yaklaşık 3 m civarında ve ilk 5-10 km derinde gerçekleşmiştir.



Şekil 4.166. Telesismik ve Jeodezik veriler doğrultusunda depremin kayma miktarları (Altınar ve diğ. 2013).

Bu veriler aslında kendi içerisinde tutarlıdır. Doğal olarak fay düzlemi üzerinde derinde meydana gelen yerdeğiştirmelerin yüzeye yansımaları gerekecek ve InSAR verilerinden üretilen kayma modelleriyle uyumlu olacaktır. Poyraz ve diğ. (2011) yine telesismik verilerle oluşturdukları kayma dağılımı modelinde fay düzlemi üzerinde gerçekleşen maksimum kayma miktarını 2.5 m civarında ve yaklaşık 20 km. derinde belirlemişlerdir.

Sonuç ne olursa olsun, deformasyonun derinlerdeki miktarının ne kadarının yüzeye yansıdığı ortadadır. Bunun nedenleri yukarıda tartışılmış ve gelişen 10 cm lik yüzey kırığının anlamı sorgulanmıştır. Bu anlamda yapılan başka bir çalışma ise fayın etki alanı dâhilindeki bir bölgede -ki bu fayın yaklaşık 20 km kuzeyi ve 10 km güneyini içine alan bir alandır- DGPS (Digital Global Positioning System) kullanılarak düşey yöndeki hareketler takip edilmeye çalışılmıştır. Bu sayede depremin, özellikle de yırtılan fayın bölge morfolojisi üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmış ve bu sonuçlar üzerinde sismotektonik yorumlar yapılmıştır. Bu çalışmaya altlık olarak Kuzucuoğlu ve diğ. (2010) çalışması ve Van yerleşiminde gaz dağıtım altyapısını oluşturan VANGAZ firmasının sabit altyapı ölçüm noktalarının verileri kullanılmıştır (Şekil 4.167).



Şekil 4.167. Everek fayı çevresinde ölçüm yapılan DGPS istasyonları, mavi yıldızlı noktalar Kuzucuoğlu ve diğ. (2010), kırmızı yıldızlı noktalar VanGaz altyapı ölçüm istasyonlarıdır. Siyah kesikli çizgi depreme kaynaklık eden Everek Fayı (Koçyiğit, 2013).

Kuzucuoğlu ve diğ. (2010) çalışmasında Van Gölü Havzası dâhilinde gözlenen Geç Pleyistosen dönemi terasların belirlenmesi, ayırtlanması, yaşlandırılması ve sedimantolojik özelliklerinin belirlenmesine dönük olarak Van yerleşimi kuzeyinde ve güneyinde birçok noktada hassas konum belirleme cihazıyla (DGPS) hata payları 5 cm den daha az oranda yükselti ölçümleri yapmıştır. Bu çalışma kapsamında ise Kuzucuoğlu ve diğ. (2010) çalışmasından belirlenen 20 istasyon ve VanGaz firması altyapı çalışmalarında kullanılan 9 istasyonun verileri değerlendirilmiş ve 2012 ve 2013 yıllarında aynı istasyonlarda DGPS ile tekrar ölçüm yapılmıştır (Şekil 4.168). Kuzucuoğlu ve diğ. (2010) çalışmasında kullanılan 20 noktanın ilk ölçümü 2006 yılında, VanGaz firmasının noktalarının ilk ölçümü ise 2007 yılında yapılmıştır. Çalışma kapsamında 2012 yılında ilk ölçümler yapılmasına karşın koordinat sistemindeki uyumsuzluk nedeniyle veriler denestirilememiş, ancak 2013 yılının Şubat ve Ağustos aylarında sistem güncellenerek yeniden yeniden ölçüm yapılabilmiştir (Tablo 4.8).



Şekil 4.168. DGPS ölçümü, Yumrutepe YA1 ölçüm noktası.

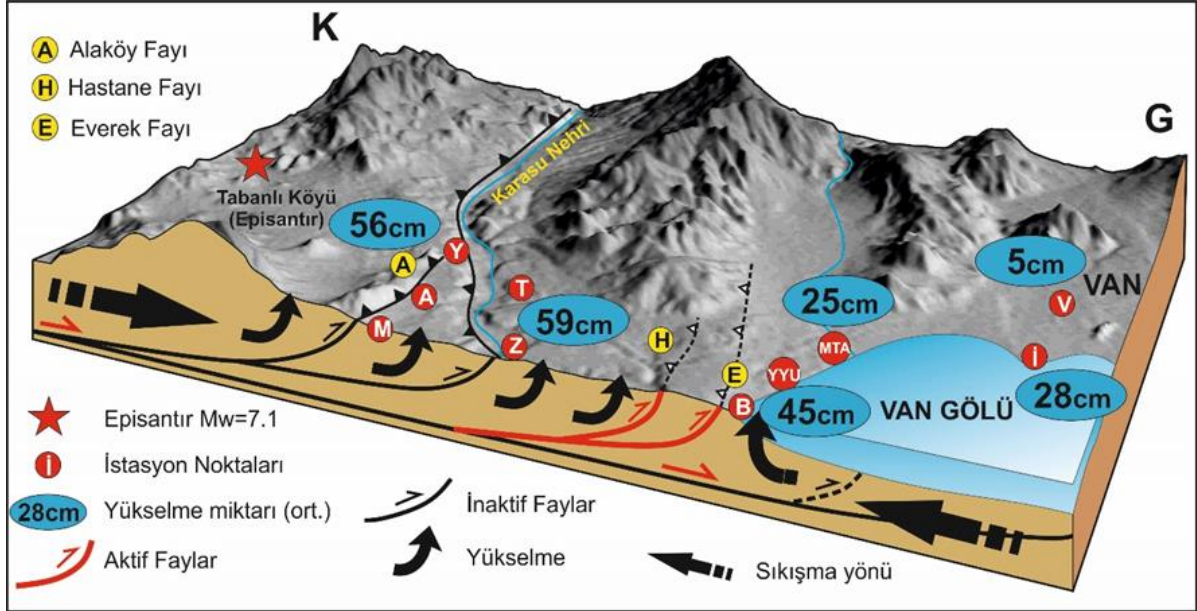
Ölçümü yapılan noktalar birbirlerine yakın olmaları nedeniyle gruplandırılmış ve ana lokasyona göre isimlendirilmiştir (Tablo 4.8). Yapılan ölçümlerde, fayın 8-10 km kuzeyinde kalan ölçüm noktaları olan Mollakasım grubu noktalarında ortalama 56.0 cm, Alaköy grubu noktalarında 55.6 cm, Yumrutepe noktalarında 54.8 cm ve Toplu Konut İdaresi - TOKİ noktasında 54.0 cm yükselme ölçülmüştür. Bununla beraber Everek Fayının hemen 1 km kuzeyinde kalan Zeve noktalarında ise ortalama 59.1 cm yükselme ölçülmüştür. Yani yırtılan fayın yüzeydeki izine yaklaşıldıkça bölgesel olarak yükselme artmaktadır. Fayın güneyinde kalan alandaki durum ise beklenenin tersine çıkmış, fayın hemen 1 km güneyinde yeralan YYÜ-Sosyal Tesisler noktasında 45.0 cm yükselme, Bardakçı köyü noktalarında 74.2 ve 38.2 cm yükselmeler ölçülmüştür. Faydan güneye doğru uzaklaşıldıkça yükselme miktarlarında azalma görülmüştür. MTA noktalarında ortalama 25.0 cm, İşkele noktasında ise 28.7 cm yükselme ölçülmüştür. Van şehrinin içerisinde kalan ve faydan yaklaşık 10 km güneyde yeralan noktalarda ise çok çok düşük yükselme değerlerinin yanısıra çökme değerleri de ölçülmüştür. Buna göre bölgede ortalama 6 mm yükselmenin yanında 4 mm alçalma oranları da kaydedilmiştir (Akköprü ve diğ. 2013).

Tablo 4.8. DGPS noktaları ve ölçüm değerleri (Kuzucuoğlu ve diğ. 2010, Akköprü ve diğ. 2013).

LOKASYON	ENLEM (K)	BOYLAM (D)	2006 yılı ölçümü (Z)	2013 yılı ölçümü (Z)	Fark (m)
MOLLAKASIM					
MOL	38°40'29,75"	43°10'23,67"	1708.730	1709.290	+0.560
M72	38°40'29,09"	43°10'25,42"	1707.894	1708.454	+0.560
M77	38°40'26,42"	43°10'07,26"	1689.137	1689.697	+0.562
M84	38°40'26,69"	43°09'51,61"	1646.540	1647.104	+0.564
M24	38°40'31,90"	43°10'49,09"	1723.385	1723.942	+0.557
MD1	38°40'31,55"	43°10'41,63"	1714.100	1714.658	+0.558
ALAKÖY					
MC1	38°40'15,47"	43°11'37,71"	1731.800	1732.356	+0.556
M91	38°40'26,85"	43°11'48,60"	1734.760	1735.315	+0.555
TOKİ					
TOKİ	38°38'27,86"	43°19'02,26"	1751.109	1751.649	+0.540
YUMRUTEPE					
YMR	38°40'28,13"	43°18'45,19"	1719.442	1719.990	+0.548
YA1	38°40'20,17"	43°18'36,46"	1725.900	1726.447	+0.547
Y3	38°40'40,22"	43°18'24,20"	1740.355	1740.903	+0.548
Y5	38°40'24,76"	43°18'46,91"	1694.969	1695.516	+0.547
Y8	38°39'58,48"	43°18'44,25"	1676.685	1677.230	+0.545
ZEVE					
ZV	38°35'25,91"	43°14'06,78"	1686.741	1687.331	+0.590
Z12	38°35'28,92"	43°14'14,85"	1688.466	1689.054	+0.588
Z15	38°35'38,34"	43°14'06,09"	1665.457	1666.049	+0.592
Z18	38°35'41,32"	43°14'02,77"	1657.169	1657.762	+0.593
Z21	38°35'20,22"	43°13'46,45"	1659.557	1660.148	+0.591
YYÜ					
Sosyal Tesisler	38°33'38,61"	43°16'54,77"	1663.928	1664.378	+0.450
BARDAKÇI					
K5030004	38°34'31,39"	43°16'17,35"	1681,916	1682,658	0,742
K5030008	38°34'28,04"	43°15'18,95"	1667,564	1667,946	0,382
MTA					
K5030005	38°34'28,95"	43°18'44,56"	1686,765	1686,981	0,216
K5030010	38°33'57,89"	43°18'50,26"	1676,384	1676,69	0,306
K5030016	38°33'26,28"	43°18'49,74"	1660,272	1660,473	0,201
VAN					
K5030029	38°31'51,94"	43°21'24,12"	1684,115	1684,213	0,098
K5030035	38°31'18,60"	43°21'24,51"	1674,734	1674,771	0,037
K5030044	38°30'44,00"	43°21'22,91"	1675,593	1675,552	-0,041
İSKELE					
K5030037	38°31'16,07"	43°18'58,35"	1651,187	1651,474	0,287

Tüm bu veriler doğrultusunda fayın yakın alan kuzeyi ile güneyi arasında çok büyük yükselme farkı bulunmamakla birlikte, ZEVE ve YYÜ noktaları arasında sadece 14.0 cm civarında, daha kuzeydeki noktalar (Mollakasım-Yumrutepe-Alaköy-TOKİ) ile yaklaşık sadece 10.0 cm yükseklik farkı olduğu belirlenmiştir. Bir diğer deyişle bölgede gelişen yaklaşık K-G yönlü sıkışma hareketi ve buna bağlı oluşan faylanma neticesinde tavan bloğu olan kuzey kesim ile taban bloğu olan güney kesimin faya yakın bölümü beraber yükselmiştir (Şekil 4.169). Aradaki yükseklik farkı ise yüzeyde gelişen ve her yerde takip edilemeyen 10 cm'lik yüzey kırığını açıklayabilmektedir. Fayın yakın etki alanının yaklaşık eşit oranlarda yükselmesinin temel nedeni fay düzleminin yüzeyde dikleşmesi (yaklaşık 55°-60°) olabilir. Aksi takdirde, düzlemin

düşük eğimlerde olması sonucunda yüzey kırığının ve güneye doğru hareketin boyutunun çok daha fazla olması beklenebilirdi.



Şekil 4.169. Depreme bağlı gelişen yükselme miktarları (elips içindeki değerler) ve tektonik model. Ölçüm yapılan noktalar; M: Mollakasım, A: Alaköy, Y: Yumrutepe, T: TOKİ, Z: Zeve, B: Bardakçı, YYU: Sosyal Tesisler, MTA: MTA, İ: İskele, V: Van.

Tabanlı depremi nedeniyle zeminde gelişen deformasyon yapıları çoğunlukla, yanal yayılma, sıvılaşma, heyelan, kaya düşmesi olarak gerçekleşmiştir (Emre ve diğ. 2011, Akyüz ve diğ. 2011, Özkaymak ve diğ. 2011, YTÜ 2011). Bunun temel nedeni bölgenin birçok kesiminde, özellikle suya doygun, gevşek veya yarı tutturulmuş zemin koşullarının hâkim olduğu alanların yaygın olmasıdır. Özellikle Erçiş ilçesi ve Van'ın kuzeyinde kalan bazı köyler bu tip zeminler üzerinde yerleşik durumdadır (Özvan ve diğ. 2008). Yanal yayılma ve sıvılaşma olaylarının en bariz şekilde gözlemlendiği yer depremin odak noktasından yaklaşık 70 km KB'da yer alan Erçiş İlçesine bağlı Çelebibağı Mahallesi olmuştur. Bu bölgede suya doygun zeminlerin deprem etkisiyle çok düşük eğimli yamaçlarda eğim boyunca akması ve yayılmasıyla yüzeyde yarılmalarda gerçekleşmiştir (Şekil 4.170).

Bölgedeki yerleşim birimlerinde aynı zamanda zemin sıvılaşması da gerçekleşmiş, birçok yapının temel seviyesinde kum fişkırmaları ve kolon gömülmesi gözlemlenmiştir. Ancak depremin etkilediği alan dâhilinde en büyük boyutlu zemin sıvılaşması olayı Karasu Deltasının düzlüklerinde gerçekleşmiştir (Şekil 4.171).



Şekil 4.170. Çelebibağı yerleşiminde gözlenen yanal yayılmalar, bakış yönü KB.



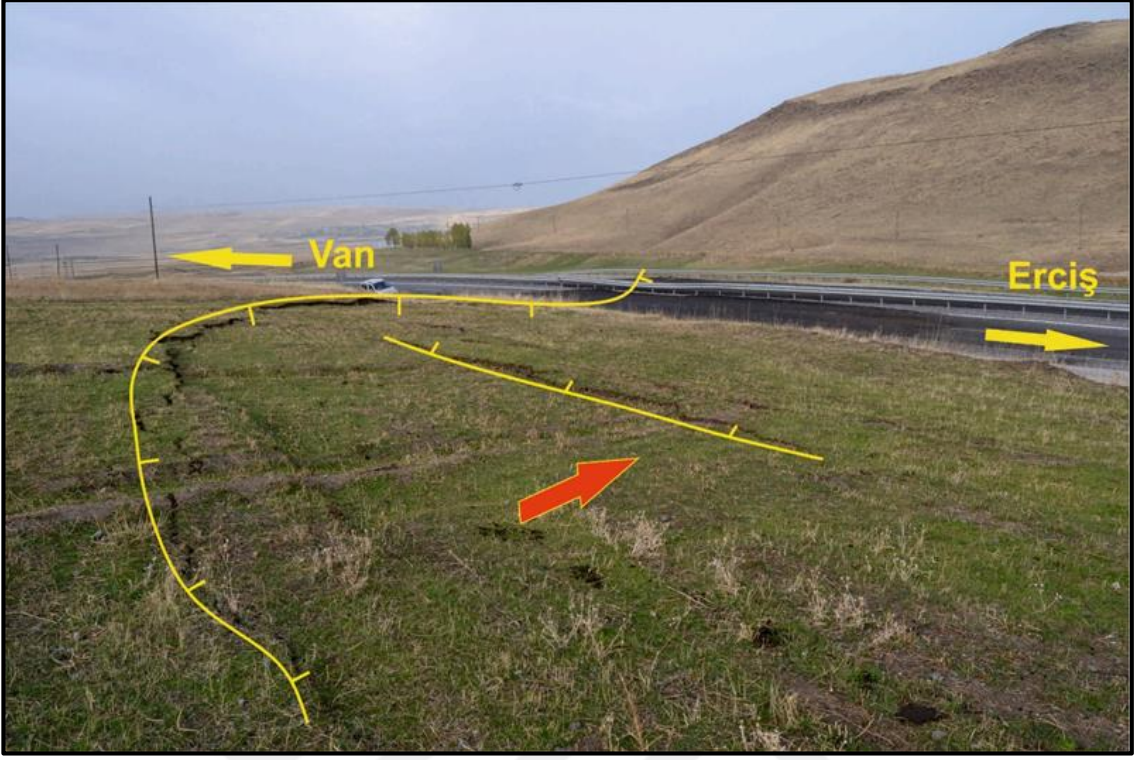
Şekil 4.171. Karasu Deltası düzlüklerinde gözlenen zemin sıvılaşmaları.

Topaktaş ve Arısu köyleri civarındaki bu düzlük alanda grimsi renkli ince kum, siltli kum boyutundaki birim deprem etkisiyle 8 m yüksekliğe kadar fıskırmış ve kum bacalarını oluşturmuştur. Sıvılaşmanın gerçekleştiği alanda herhangi bir yapının bulunmamaktadır. Deprem etkisiyle Karasu Nehri boyunca gözlenen bir diğer deformasyon yapısı ise oturmalardır. Bu yapılar özellikle düzlük ova alanları sınırlayan alçak tepelerin kenarı boyunca yer yer 80 cm'yi bulan düşey atımların gerçekleştiği yırtılmalarla kendisini göstermektedir (Şekil 4.172).



Şekil 4.172. Arısu Köyü civarında gözlenen yamaç diplerinde oturmaya bağlı gelişen kırılmalar.

Bu yapılar doğal zeminde gerçekleştiği gibi bölgedeki asfalt yollar ve dolgular üzerinde de gelişmiştir. Depremin etkisine bağlı olarak aktif olan heyelanların bir kısmında da hareket gözlenmiştir. Bu heyelanların en büyüğü Van-Erçiş karayolunun Timar (Gedikbulak) Köyü civarında olanıdır. Deprem sırasında yolun bir bölümü kopmuş, daha önceden istinat duvarı yapılarak tutulmaya çalışılan kesimin dışında kalan yerlerde yamaç boyunca kütle hareketi meydana gelmiştir (Şekil 4.173). Heyelanın taç kesiminde yaklaşık 40 cm lik kopmalar gerçekleşmiş, kütlenin kendi içerisinde de iki üç dilime ayrılmıştır.

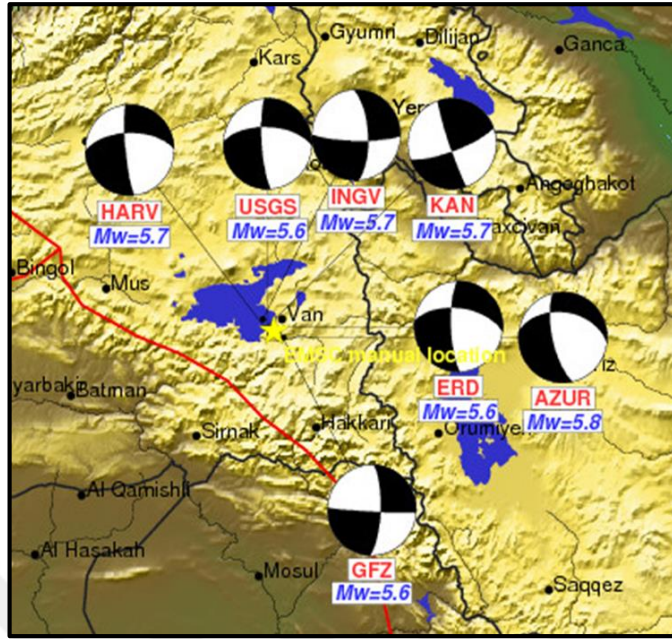


Şekil 4.173. Timar (Gedikbulak) Köyü yakınında aktif hale gelen heyelan.

4.3.2. Edremit (Van) Depremi, 9 Kasım 2011, $M_w=5.7$

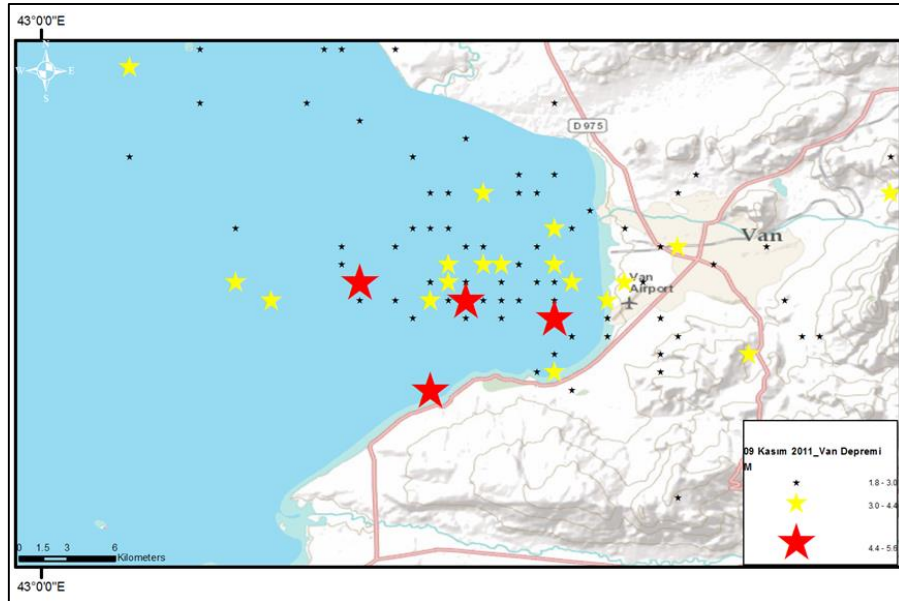
Ekim ayında gerçekleşen $M_w=7.1$ büyüklüğündeki (Poyraz ve diğ. 2011) ana depremin ardından bölgede birçok fay üzerinde yırtılma gerçekleşmiş ancak hiçbiri 9 Kasım 2011 tarihinde gerçekleşen $M_w=5.7$ büyüklüğündeki deprem kadar etkili ve yıkıcı olmamıştır. Deprem her ne kadar Van yerleşiminin 10 km güneyinde yeralan Edremit ilçesi odaklı olsa da esas yıkım Van merkezde gerçekleşmiştir. Bu yeni deprem nedeniyle bir kısmı daha önceki depremde hasar görmüş ve boşaltılmış olmak kaydıyla 20 civarında bina yıkılmış ve 40 kişi hayatını kaybetmiştir. Edremit ilçesinde ise herhangi bir yıkım gerçekleşmemiştir.

Deprem sonrasında farklı merkezler tarafından sismik verilere göre depremin odak noktası belirlenmiş ve fay mekanizma çözümleri yapılmıştır (Şekil 4.174). Bu mekanizma çözümlerine göre yırtılmanın gerçekleştiği fay için hemen hemen aynı sonuçlar elde edilmiş, fayın türü “Doğrultu Atımlı Fay” olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.174. Farklı merkezlerin depreme ait mekanizma çözümleri (HARV: Harvard Uni., USGS: US Geological Survey, INGV: Bologna-İtalya, KAN: Kandilli Rasathanesi ve DAE, ERD: AFAD-Ankara, AZUR: GeoAzur-Fransa, GFZ: Geoforschung Zentrum,Almanya) (EMSC-Avrupa-Akdeniz Sismoloji Merkezi).

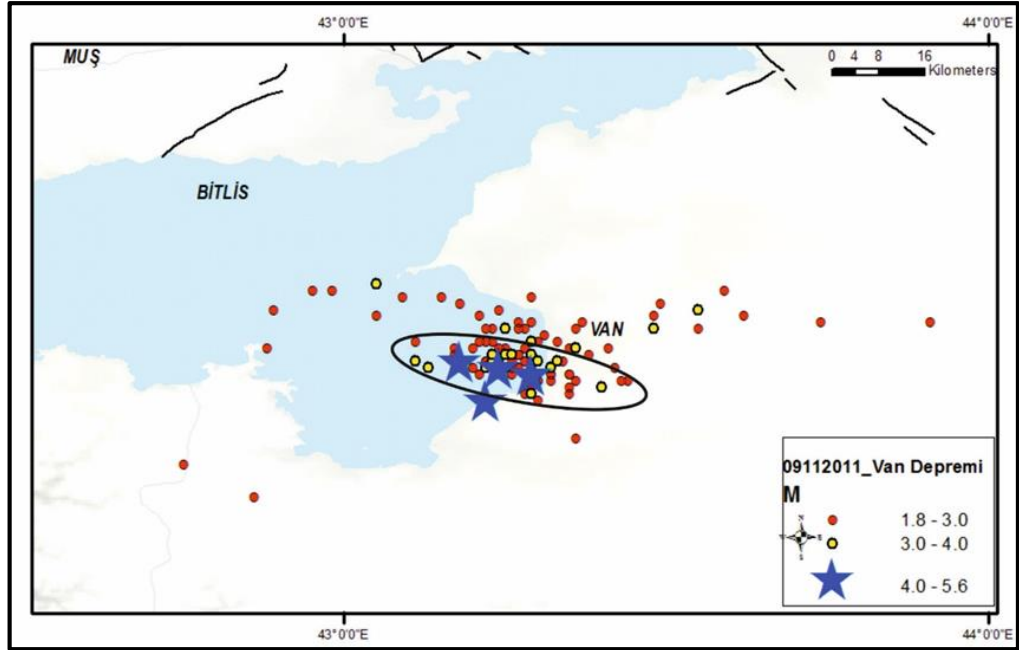
Depremi hemen sonrasında büyüklüğü $M=4.4$ 'ün üzerinde 3 adet, $M=3.0-4.4$ arasında ise 16 adet artçı deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin büyük bölümü Van Gölü içerisinde odaklanmıştır (Şekil 4.175).



Şekil 4.175. Artçı depremlerin dağılımı (Şengül ve diğ. 2012).

Depremi kaynağı olarak yorumlanan fayın karakteri, uzanımı ile sismik veriler, ivme değerleri ve de hasar gözlemleri arasında çelişkiler bulunmaktadır. Bu kapsamda depremin kaynak fayının belirlenmesinde, fay mekanizma çözümleri, artçı depremlerin dağılımı, gerçekleşen ivme değerleri ve yönleri, yıkım ve hasar gerçekleşen binaların konumlarına göre aldıkları hasarın durumu gibi değişkenler değerlendirilerek bir yaklaşımda bulunulmuştur.

Sismik veriler doğrultusunda çözümlenen fay düzlemlerinden biri yaklaşık K-G doğrultulu “sol yanal atımlı”, diğeri yaklaşık D-B uzanımlı “sağ yanal atımlı” olarak belirlenmiştir (Şekil 4.177). Bu düzlemlerden gerçekte yırtılanın K-G doğrultulu olduğu varsayılır ise yırtılan fayın hareketine bağlı olarak artçı depremlerin odak noktalarının hata paylarıyla birlikte yaklaşık aynı düzlem üzerinde dizilmeleri beklenir. Bu anlamda artçı depremlere özellikle de $M > 4$ olan büyüklükteki depremlerin dağılımına bakıldığında K75B doğrultuda bir hat boyunca, batıya, gölün içine doğru dizildiği gözlenmektedir (Şekil 4.177). Keza yine depremin merkezinin Edremit ve civarında olduğu düşünülürse fayın göl sınırından daha güneye doğru olan uzantısında süreç içerisinde hiç bir artçı depremin odaklanmamış olması da bir anlam içermektedir. Artçı deprem dağılımlarının geneline bakıldığında depremlerin yaklaşık D-B veya K70B uzanımlı bir çizgisellik sunması mekanizma çözümlerinde ikinci düzlemin (D-B) yırtılan fay düzlemini temsil edeceğini düşündürmektedir.



Şekil 4. 177. Edremit Depremi sonrası artçı deprem dizilimi, KRDAE.

Bu verilere ek olarak bölgede AFAD tarafından yerleştirilmiş kuvvetli yer hareketi ölçümünü yapan ivmeölçer cihazların verileri de bölgede deprem esnasında ana salınım yönünün ve yerdeğiştirme miktarlarının D-B yönünde K-G yönüne oranla neredeyse iki katı boyutunda olduğunu göstermektedir (Tablo 4.9 ve Tablo 4.10).

Tablo 4.9. Edremit depreminde gerçekleşen ivme değerleri (AFAD, 2011).

İl	İlçe/Semt	Cihaz	K-G (cm/sn ²)	D-B (cm/sn ²)	Düsey (cm/sn ²)	İstasyona olan uzaklık (km)
Van	Merkez	CMG	148.1	245.9	150.5	12.7
Van	Edremit	GSR	65.7	102.6	44.3	2.9

Tablo 4.10. Hız bileşen genliği ve yerdeğiştirme miktarları (AFAD, 2011).

Van İstasyonu	K-G	D-B	Düşey	Uzaklık
Hız Bileşen Genliği (maks.)	16.4 cm/sn	33.3 cm/sn	6.1 cm/sn	12.7 km
Yer Değiştirme Miktarı (maks.)	2.9 cm	6.5 cm	1.3 cm	
Edremit İstasyonu				
Hız Bileşen Genliği (maks.)	25.1 cm/sn	26.9 cm/sn	9.5 cm/sn	2.9 km
Yer Değiştirme Miktarı (maks.)	11.1 cm	-	-	

Bu sonuçlara bakıldığında Edremit istasyonunun odak noktasına daha yakın olmasına karşın hem K-G yönünde hem de D-B yönünde büyük yerdeğiştirmelere sahip olmadığı görülmektedir. Buna karşın yaklaşık 13 km mesafede bulunan Van istasyonunda D-B yönlü yer değiştirme miktarının K-G yönüne oranla iki kattan daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durumlar maksimum hız bileşen genliklerinde de aynı oranlardadır. Bu veriler doğrultusunda, ivmeölçer cihazlarının benzer zemin koşullarında yerleşik olduğu varsayılırsa, hareket eden fayın Edremit ile Van yerleşimi arasında, Van il merkezine daha yakın olduğu ve de tüm üstyapıyı da etkisi altına alan hareketin K-G yönünden ziyade D-B yönünde olduğunu düşündürmektedir. Bu da yırtılan fayın karakteri ve hareket yönüyle doğru orantılı olup, K-G doğrultulu normal bileşenli bir fayın kaynak fay olma olasılığını düşürmektedir.

Zira ivme yönlerini destekleyen bir diğer olgu ise üstyapıda, yani binalarda, meydana gelen deformasyonların şeklidir. Binaların plan şekline göre uzun ve kısa eksenleri boyunca salınımları farklı olacağından, coğrafik olarak hangi yönde konumlandıkları önem kazanmaktadır. Bununla beraber deprem yükleri karşısında oluşacak deformasyonun boyutu binaların salınım yönleri ile doğru orantılı olacaktır. Bu durum Edremit depremi ile de deneştirilmiş ve plan şekli “I” veya “L” olan bazı binaların yönleri ve hasar durumları incelenmiştir.

Bu binalardan bazıları, Van Havalimanı yakınında bulunan DSİ’ye ait yarıbodrum+3 katlı betonarme binalar, diğeri ise 2 Nisan Caddesi başında bulunan Zemin+6 katlı betonarme bir binadır. Bu binaların her ikisinin de uzun eksenleri D-B yönünde durmakta oluşan hasarlar ise yıkım şeklinde değil sadece salınım yönüne göre kısa kolonlarda ve yan duvarlarda mafsallaşma şeklinde gerçekleşmiştir (Şekil 4.178 ve Şekil 4.179).



Şekil 4.178. DSİ binalarında D-B salınım sonucunda gerçekleşen mafsallaşma.



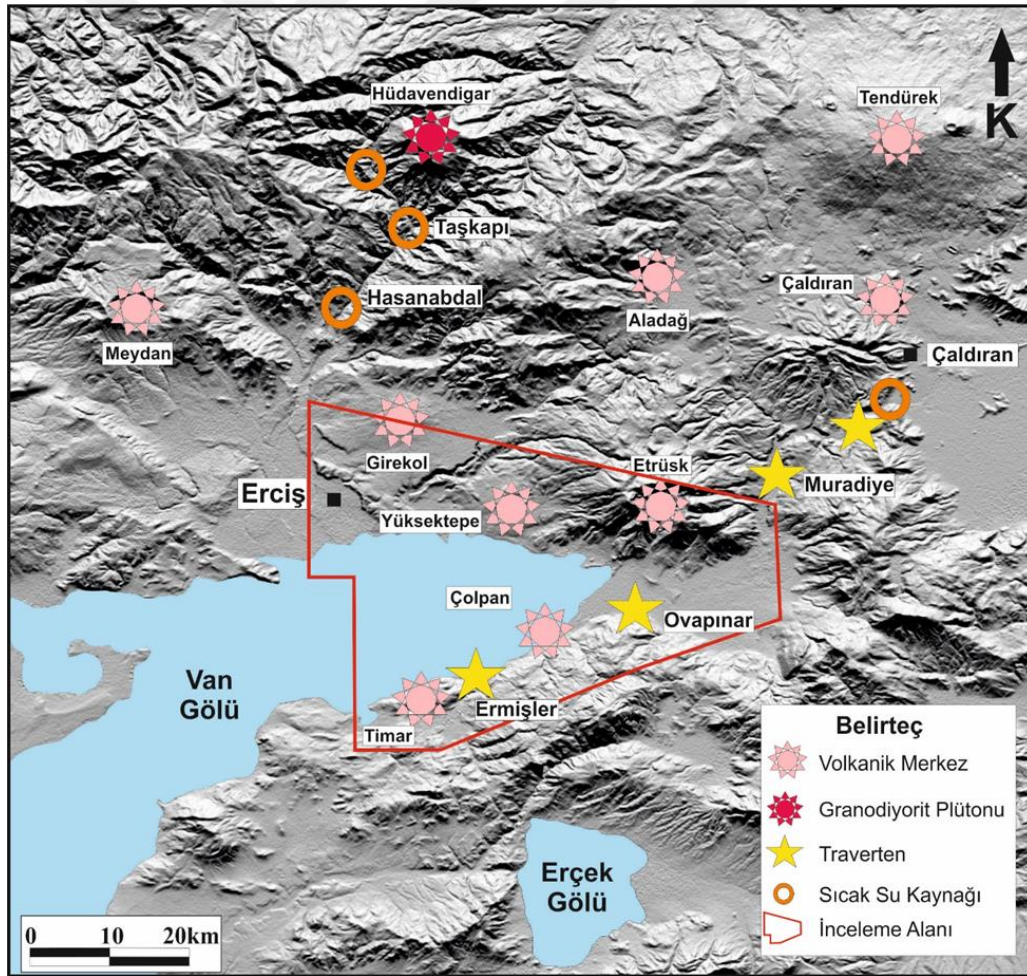
Şekil 4.179. Betonarme yapılarda D-B salınım sonucunda gerçekleşmiş makaslama çatlakları.

Bununla beraber bu depremde gerçekleşen hasar benzer zemin koşullarında yerleşmiş eski Edremit yerleşiminden ziyade Van merkezde kümelenmiş ve çoğunlukla K-G uzanımlı binalarda daha ağır boyutta gözlenmiştir.

Tüm bu veriler ışığında 9 Kasım 2011 tarihinde gerçekleşen $M_w=5.7$ büyüklüğündeki Edremit depreminin olası kaynak fayının D-B doğrultulu, sağ yönlü doğrultu atımlı fay olması kuvvetle muhtemeldir. Bu geometriyi destekleyen veriler ise ana artçı deprem dağılımlarının yaklaşık K70B doğrultusunda olması; ivme kayıtlarında ve yerdeğiştirmelerde D-B salınımların K-G salınımlara oranla bir kaç kat daha fazla kaydedilmesi; Edremit ilçesinin odak merkezine en yakın yerleşim yeri olmasına rağmen bu yerleşimde herhangi bir hasarın gerçekleşmemesi; gelişen hasarların, özellikle yüksek betonarme yapılarda plan şekillerine de bağlı olarak D-B yönünde sınırlı düzeyde kalması şeklinde tanımlanabilir.

4.4. JEOTERMAL POTANSİYEL

Bu başlık altında, inceleme alanını da içine alan, Van Gölü'nün kuzeydoğu kesiminde gözlenen sıcak su kaynakları ve olası jeotermal potansiyeli tartışılacaktır. İnceleme alanının özellikle kuzey kesimlerinde Erken Pliyosen döneminden Geç Pleyistosen'e kadar, kesintiye uğramasına rağmen yoğun bir volkanizma gelişmiş ve geniş alanlara yayılmıştır (Oyan ve diğ.2016). Bu volkanizmanın en büyük kaynağını Erken Pliyosen döneminde yoğun aktivitesi ile Etrüsk Volkanı sağlamaktadır. Bununla birlikte, inceleme alanının kuzey kesiminde iki ayrı bölgede Kuvaterner volkanizması da yüzeylenmektedir. Bu volkanizmaların çıkış noktaları Girekol ve Yüksektepe Volkanları'dır (Şekil 4.180). Güney kesimde ise Erken Pliyosen dönemi volkanizması ürünleri olan Timar Bazaltları ve Geç Pleyistosen dönemine ait Çolpan Bazaltları yüzeylenmektedir.



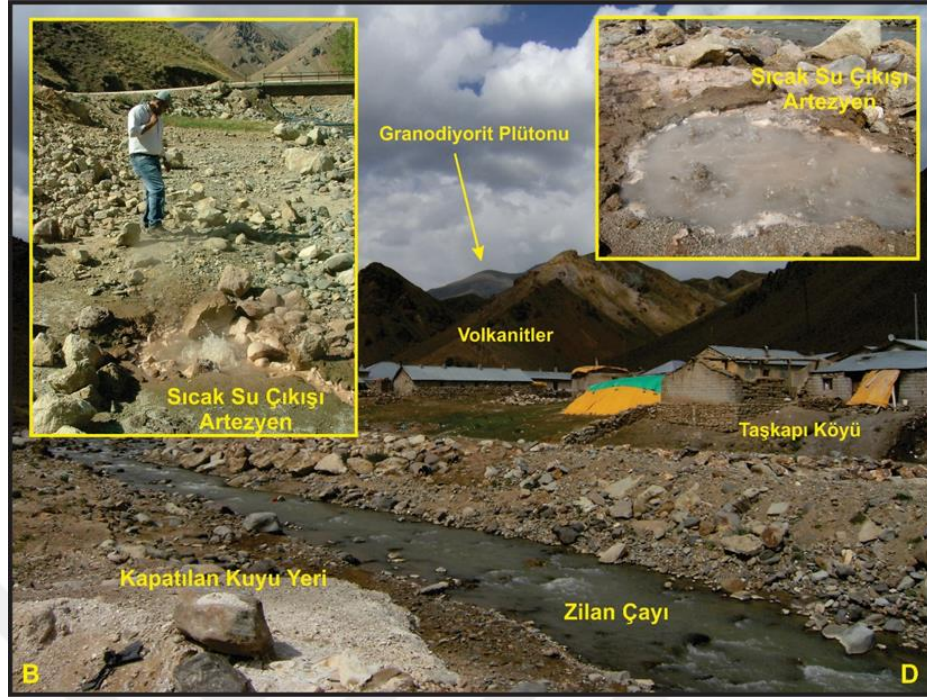
Şekil 4.180. İnceleme alanı ve çeresindeki volkanik merkezler, olası ısı kaynakları, sıcak su kaynakları ve traverten oluşum noktaları.

Bu volkanik merkezler bölgedeki olası ısı kaynaklarını oluşturmaktadır. İnceleme alanı dışında ise yine benzer volkanik merkezler ile daha kuzeyde Hüdevandigar Dağı'nı oluşturan Granodiyorit Plütönu bulunmaktadır. Bu plütönu yaşı için Zirkon minerallerinden U/Pb radyometrik yaş tayini ile yaşlandırma yaptırılmış ve 21.9 - 22.9 My, yani Alt Miyosen yaşı elde edilmiştir (Şengül 2013, yayımlanmamış).

İnceleme alanı içerisinde belirlenmiş sıcak su çıkış noktası bulunmamaktadır. Bölgedeki en yoğun sıcak su çıkışları Erciş İlçesi kuzeyinde, Zilan Vadisi içerisinde, Granodiyorit Plütönu'na doğru olan kesimdedir. Bu bölgede, Hasanabdal Köyü ve kuzeyinde Taşkapı Köylerinde MTA tarafından açılan ve daha sonra kapatılan derin sıcak su kuyuları bulunmaktadır (Karamanderesi ve diğ. 1984). Hasanabdal Köyü kuzeyindeki sıcak su kaynakları üzerinde kaplıca işletilmektedir (Şekil 4.181). Özellikle Taşkapı Köyü civarında yapılan sondajlarda elde edilen sıcaklık ve debi değerleri sırasıyla 40 lt/sn 80⁰, 4lt/sn 92⁰ ve 22lt/sn 98⁰ dir. Sondajlarda genellikle üst kesimde bölgedeki volkanik birimler ve sedimanter birimler kesilmiş ve tabanında Granodiyorit birimine girilmiştir. Kuyuların bazılarında artezyen gerçekleşmiş, devamlı jeotermal akışkan elde edilmiştir (Ertürk ve diğ. 2000) (Şekil 4.182). Halen, Taşkapı Köyü bölgesinde, Zilan Çayı alüvyonu içinde sıcak su çıkış noktalarında neredeyse kaynama derecesinde su çıkışları gözlenmektedir (Şekil 4.182).



Şekil 4.181. Zilan Vadisi, Hasanabdal Köyü kuzeyinde yeralan kaplıca alanı ve bölgedeki traverten oluşumları (küçük görseller).



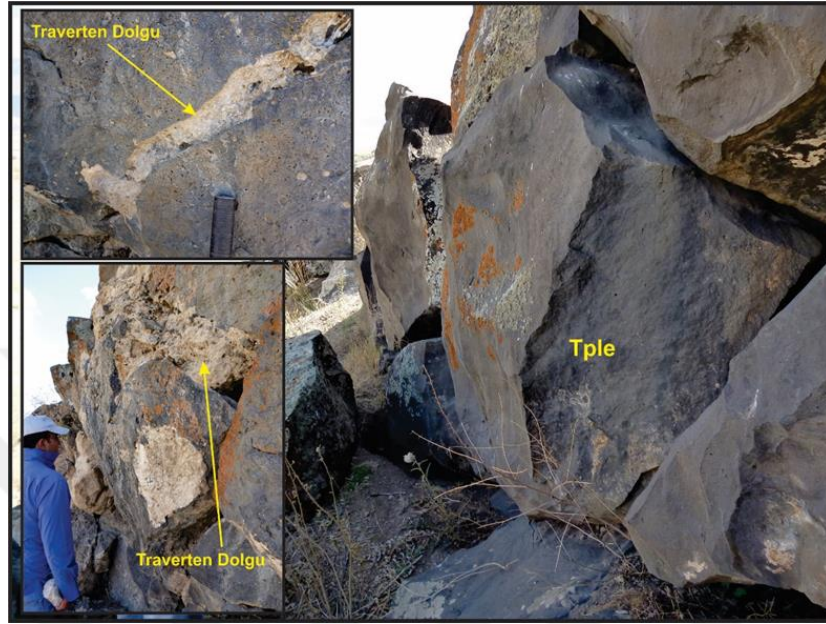
Şekil 4.182. Zilan Vadisi, Taşkapı Köyü'nde bulunan artezyen noktaları (küçük görseller) ve kapatılmış kuyu yeri, bakış yönü K.

İnceleme alanı dışında kalan diğer bir sıcak su çıkışı ise sahanın kuzeydoğusunda Çaldıran İlçesi'nin güney kesiminde bulunmaktadır. Bu lokasyonda su çıkışının çok az debide ve çok düşük sıcaklıkta olduğu gözlenmiştir. Yine aynı şekilde bu kesimde Bendimahi Çayı boyunca traverten oluşumları bulunmaktadır.

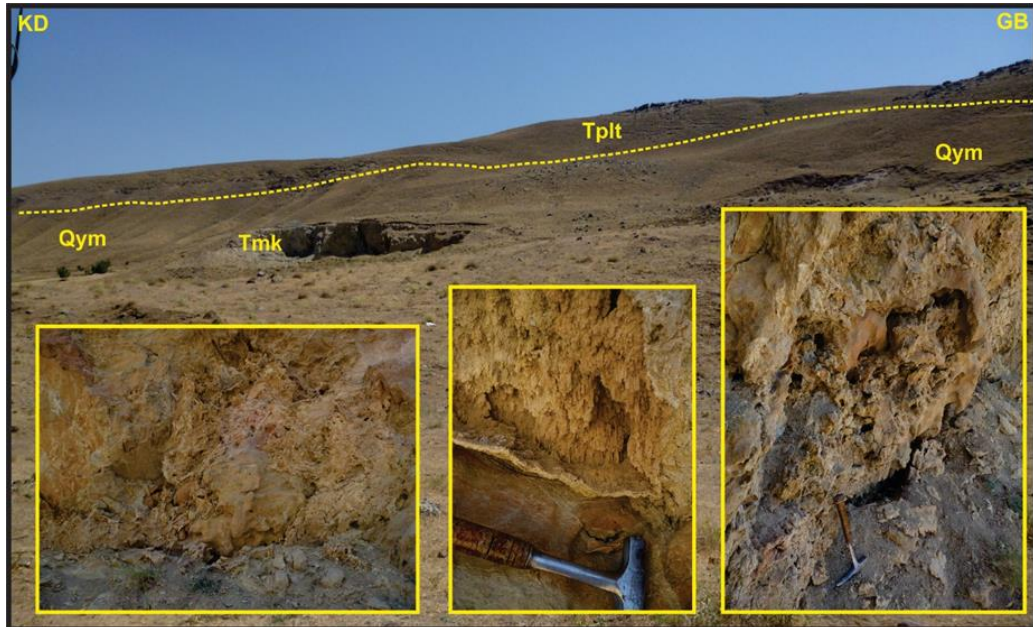
İnceleme alanı içerisinde sıcak su varlığını kanıtlayan oluşumlar sadece iki alanda gözlenen traverten oluşumlarıdır. Bunlardan ilki, sahanın kuzey kesiminde Ovacınar Köyü civarında yüzeylenen volkanik birimler içerisinde bölgesel olarak gözlenmektedir. Volkanik birimler içerisinde gelişen geniş açıklıklı eklemelerin veya soğuma çatlaklarının içerisi bej renkli traverten birim ile dolmuştur. Çatlak dolgularının kalınlığı yer yer 40 – 50 cm'lere varmaktadır (Şekil 4.183). Travertenin oluşum yaşı bilinmemektedir. Ancak çatlakları içerisine yerleştiği volkanik birim Erken Pliyosen dönemini temsil etmektedir.

İnceleme alanı içerisinde traverten biriminin gözlemlendiği ikinci bölge ise, güneyde yüzeylenen Üst Miyosen yaşlı Kurtdeği Formasyonu'dur. Ermişler Köyü batısında, Ermişler Fayı sarplığında, eski bir açık işletme içerisinde traverten birimler gözlenmiştir. Burada birimin kalınlığı yaklaşık 7 – 8 metre civarındadır. Erime boşluklu, borucuklu yapısı ile karakteristik dokudadır (Şekil 4.184). Bu travertenin oluşumu olasılıkla normal fay karakterli Ermişler Fayı

ile ilintilidir. Bu fay Alt Pliyosen yaşı Volkanik birimleri kesmektedir. Yaşı olasılıkla Geç Pliyosen olmalıdır. Bu anlamda, traverten oluşum sürecinin de yine bu zaman dilimi veya daha genç bir süreçte olması gerekmektedir.



Şekil 4.183. Ovapınar Köyü güneyinde volkanitlerin çatlaklarını dolduran kalın traverten oluşumları, Tple – Etrüsk Volkanitleri



Şekil 4.184. Kurtdeği Formasyonu içerisinde gözlenen traverten oluşumları, açık işletme yapılmış kesim, Tmk: Kurtdeği Fm., Tplt: Tımar Bazaltları, Qym: Yamaç Molozu, bakış yönü GD.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

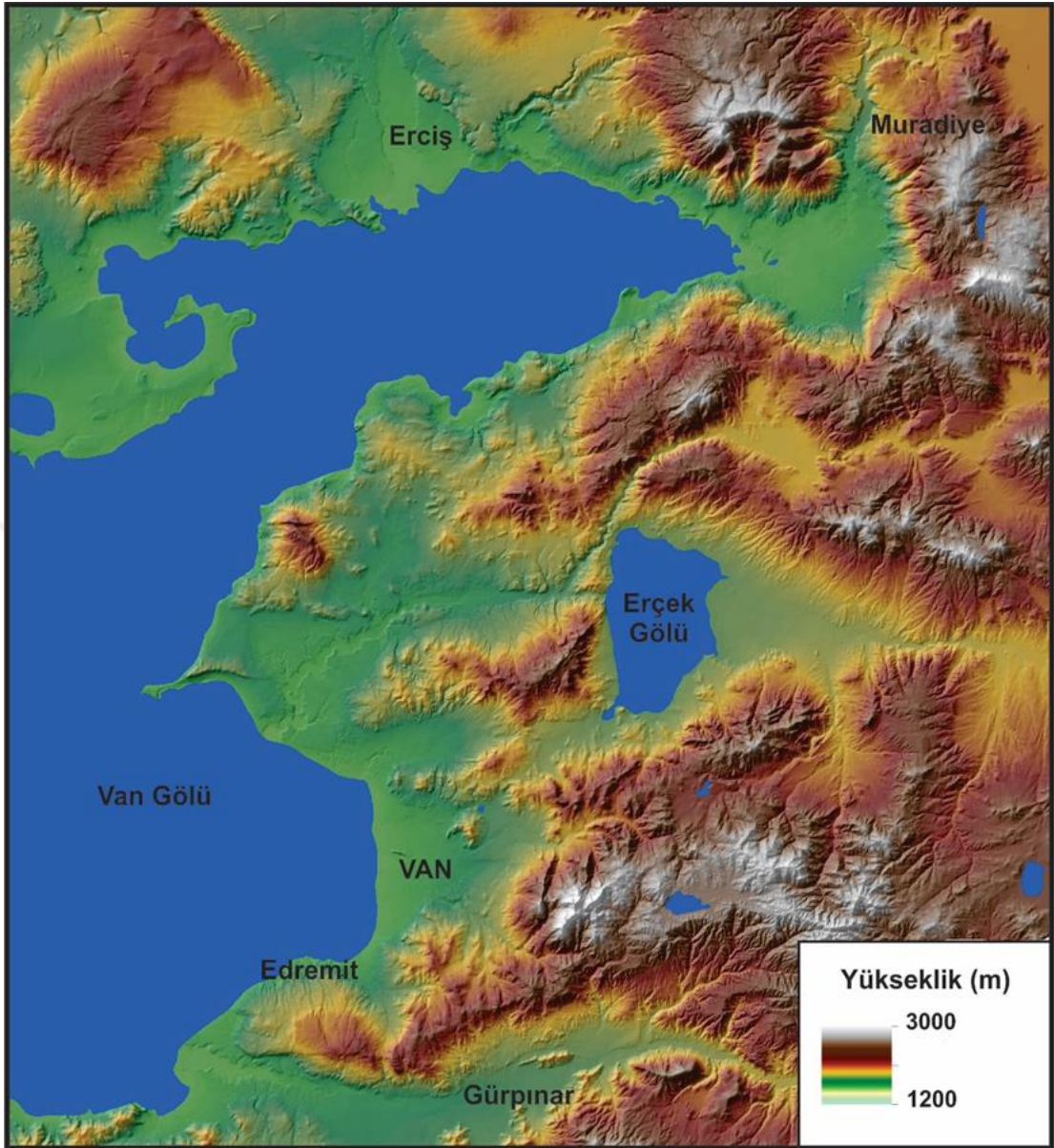
İnceleme alanı ve yakın çevresi, özellikle 23 Ekim 2011 yılında meydana gelen $M=7.1$ büyüklüğündeki Van Depremi sonrasında, oldukça geniş ölçekte ve detayda araştırma çalışmasına altlık oluşturmuştur. Bölge ile ilgili genel jeoloji konularında en temel çalışmalar MTA tarafından yapılmış, bölgenin 1/25.000 ölçekli jeoloji haritalarının (MTA, 2008) yanı sıra aktif tektonik yapıların gösterildiği diri faylar haritalanmış ve yayımlanmıştır (Emre ve diğ. 2013). Son on yılda yapılan çalışmalar bölge genelinde birçok konunun detaylandırılmasını sağlamış, özellikle bölgede yüzeyleyen volkanik birimlerin kronolojisi ile ilgili çok sayıda veri üretilmiştir (Lebedev ve diğ. 2010, Oyan ve diğ. 2016). Elde edilen yaş ve jeokimya verilerinin öncesinde jeofizik tomografi ve bölgesel jeoloji verileri ile birlikte tüm Doğu Anadolu'yu kapsayan kabuk modeli ve jeodinamiği ortaya konulmuştur (Keskin 2003 ve 2007, Barazangi 2006, Lei ve Zhao 2007). Van Gölü Havzası'nda özellikle gölün oluşumu, gelişimi ve geçirdiği evreler üzerine çalışmalar yapılmış, göl terasları yaşlandırılmıştır (Kuzucuoğlu ve diğ. 2010, Görür ve diğ. 2015). Aktif tektonizma ile ilgili yapılan çalışmalar bölgedeki fayların konumlarını, özelliklerini ve yaşlarını belirlemeye yönelik yapılmış, özellikle Van Depremi sonrasında gözlenen deformasyonları konu edinmiştir (Özkaymak 2003, Copley ve Jackson 2006, Özkaymak ve diğ. 2011, Doğan ve Karakaş 2013, Koçyiğit 2013, Çukur ve diğ. 2013a, Sağlam ve diğ. 2016, Üner 2019, Şengül ve diğ. 2019, Sağlam ve diğ. 2020).

Bölge geneli ve inceleme alanı özelinde elde edilen veriler doğrultusunda, öncel çalışmalar neticesinde ortaya konan dinamik modeller, fay geometrileri bu bölümde tartışılmış, inceleme alanını içerisine alan Van Gölü doğusu ve kuzeydoğusu için aktif tektonik süreci belirleyen yeni bir model önerilmiştir. Bu modele altlık oluşturan veriler, bölgede gözlenen ana süreksizliklerin düzlemlerine ait kinematik analizler, eklem setlerinin gerilme analizi, gerçekleşen depremlerin mekanizma çözümleri ve jeomorfolojik özelliklerdir.

Bu bölüm kapsamında ayrıca öncel çalışmalarda sunulan bazı verilerin varlığı, bölgedeki karşılığı tartışılmış, elde edilen veriler ile uyumu denetlenmiştir. Tüm tartışma konuları ve sonuçlar alt başlıklar altında sunulmuştur.

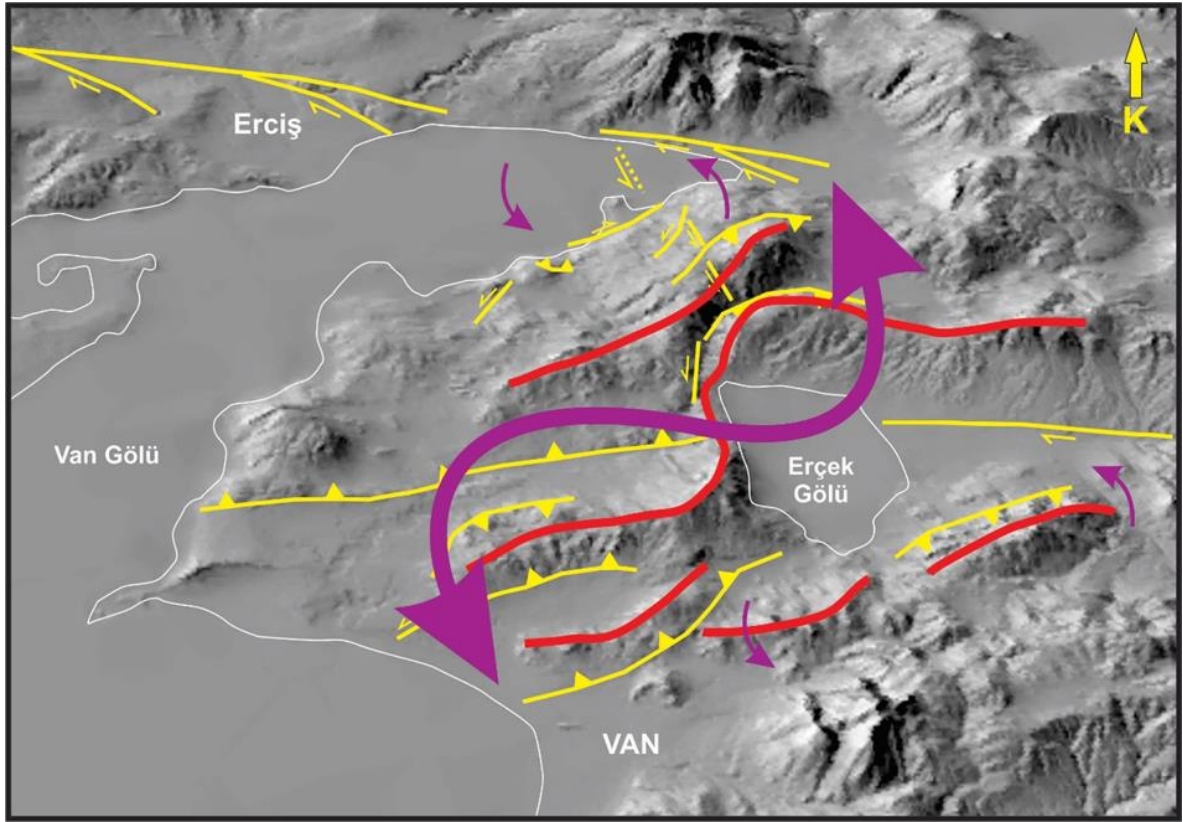
Jeodinamik Model

İnceleme alanı ve yakın çevresi için bu çalışmada önerilen jeodinamik modelin, bölgenin saat yönünün tersine doğru döndüğü ve ana süreksizlikler olan ters faylanma ve bindirme düzlemlerinin tavan bloklarının, eğim yönlerine bağlı olarak bu dönmeyi gerçekleştiren “pervane”nin birer kanadı olduğu düşünülmektedir. Bu yapının diğer ürünleri olan bölgedeki doğrultu atımlı fayların bir bölümünün bu pervanelerin hareket yönlerine dik açılı olarak yırtılma fayları şeklinde geliştiği, bazı doğrultu atımlı fayların pervanelerin uç kesiminde pervane geometrisine uygun bir ovallikte şekillendiği ve hareket yönü kazandığı, bir anlamda da pervanelerin dış bükey sınırlarını belirlediği düşünülmektedir. Saat yönünün tersine gerçekleşen dönme hareketi morfolojik veriler ile de desteklenmektedir. Bölgedeki sırt yapılarının, sırtlar arasında kalan daralan ve genişleyen vadilerin geometrisi bu dönmenin şekline uygun olarak belirgindir. Dönme hareketinin ana eksenini Erçek Gölü kuzeybatısı civarında ve batı yönlerine doğru eğiktir. Bölge morfolojisine bakıldığında eksenin doğusunda kalan kesimlerin batıya oranla yaklaşık 1000 metre daha yüksekte olduğu gözlenmektedir (Şekil 5.1). Erçek Gölü hizasından K-G yönlü bir çizgi çekildiğinde, doğuda kalan kesimlerde yüksekliklerin 3000 m’lere vardığı, batıda Van Gölü civarında ise morfolojinin alçalarak 1700 m’lere kadar indiği gözlenmektedir (Şekil 5.1). Bölgedeki volkanik merkezleri sistemin dışında tutarsak, sıkışmaya bağlı yükselmenin, özellikle Doğu Anadolu Yığılma Karmaşığı ürünleri içerisinde Erçek Gölü doğusunda daha fazla, batısında daha az olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 5.1. Van Gölü doğu ve kuzeydoğusunun morfoloji haritası.

Bölgedeki yapısal unsurların konumları saat yönü tersine gerçekleşen bu dönme hareketini destekler durumdadır. Şekil 5.2’de verildiği gibi, Erçek Gölü KB ucu civarını dönme hareketinin ekseni olarak kabul ettiğimizde ve bölgeyi mor renkli büyük ok yönlerinde hareket ettirdiğimizde, batı kesimde kalan bindirme / ters fay düzlemlerinin ağırlıkça kuzey yönlerine, doğuda kalan düzlemlerin ise ağırlıkça güney yönlerine doğru eğimli olduğunu görmekteyiz.



Şekil 5.2. Saat yönü tersine gerçekleşen dönme hareketinin yönleri (mor renkli oklar) ve bölgedeki ana yapısal unsurlar (sarı renkli kalın çizgiler fayları, sarı oklar fayın hareket yönünü, içi dolu sarı üçgenler ters fay/bindirmenin tavan bloğunu, kırmızı renkli çizgiler sırt hatlarını göstermektedir).

Bu jeodinamik sistem içerisinde ana dönme eksenini haricinde hem kuzeyde hem de güneyde küçük ölçekli dönme merkezlerinin olduğu düşünülmektedir. Bunlardan biri inceleme alanının kuzeydoğu kesiminde yer almakta olup sağ yönlü doğrultu atımlı Çolpan Fayı'nı oluşturan sistemdir (Şekil 5.3). Çolpan Fayı sahadaki düzlem verileri ve de alüvyal fan çökellerini oluşturan ana derelerdeki yerdeğiştirmelerin şekil ve miktarına göre sağ yönlü doğrultu atımı sunmaktadır. Öncel çalışmalarda (Koçyiğit ve diğ. 2001, Bozkurt 2001, Özkaymak 2003, Dhont ve Chorowicz 2006, Koçyiğit 2013) öngörülen doğrultu atımlı fay karakterleri şayet fayın uzanımı KD-GB ise sol yönlü, KB-GD ise sağ yönlü olduğu şeklindedir. Doğu Anadolu Bölgesi'nde gözlenen ana süreksizliklerin büyük bölümü bu karakterleri sunmaktadır. Ancak bu durum döngüsel deformasyondan çok karşılıklı, bir ekseninde gelişen deformasyonun ürünü olarak gözlenmektedir. İnceleme alanında bu sisteme aykırı duran Çolpan fayının GB daki ucu yaklaşık D-B ya dönecek şekilde kıvrılmakta, fayın geometrisi yay şeklini almaktadır (Şekil 5.3). Çolpan Fayının güneydoğusunda kalan Çakırbey Fayı ise sol yönlü doğrultu atım karakterini sunmaktadır. Ancak bu fayın kestiği ve atım miktarının en iyi gözlemlendiği birimler

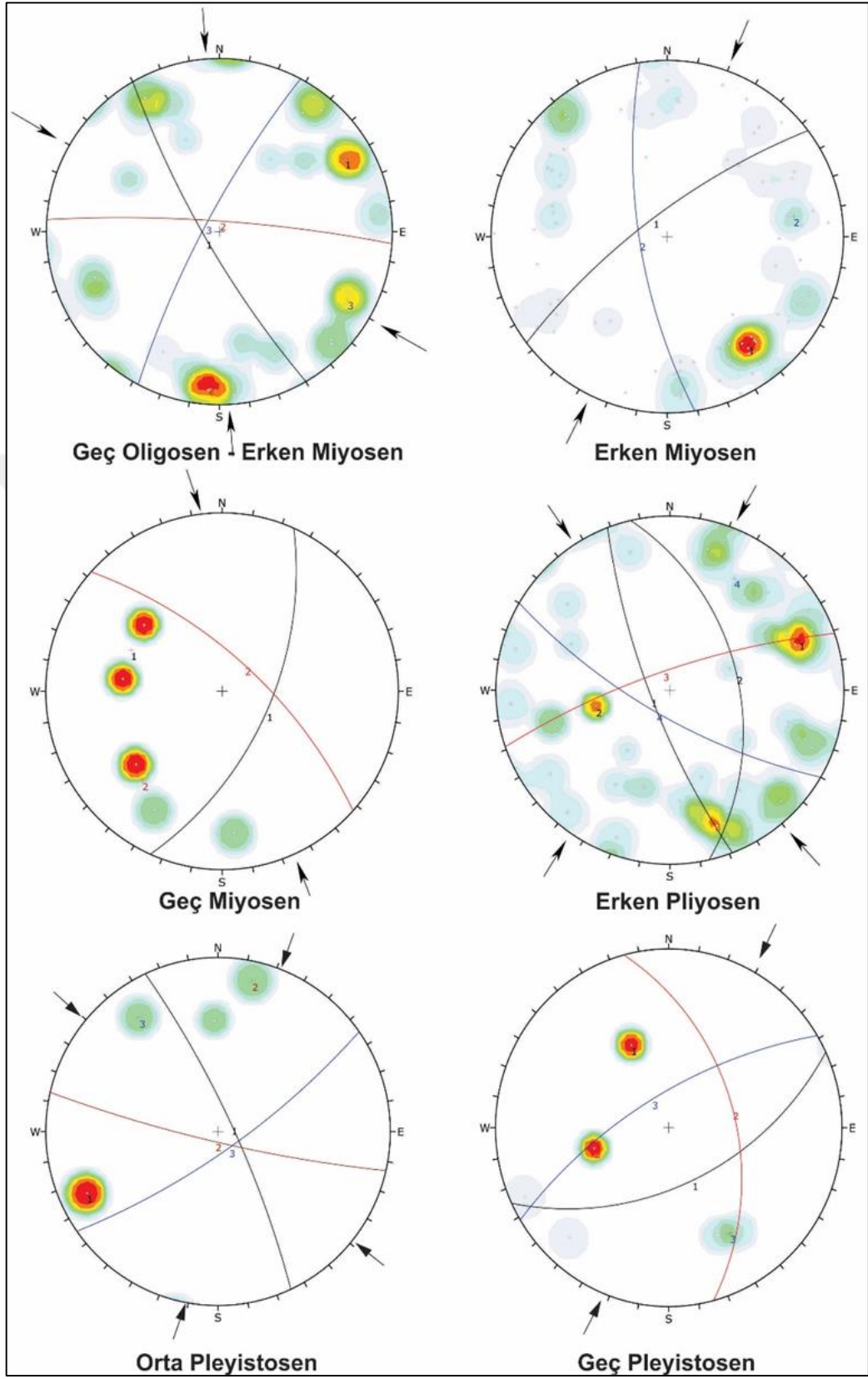
temel kayaları olan Triyas yaşlı neritik kireçtaşı ve Oligo-Miyosen yaşlı kırıntılı kaya birimleridir. Dolayısı ile dönme hareketinin KB'dan GD'ya olan yön değişimi Çolpan Fayı'nın oluşumunu beraberinde getirmiştir. Depremsellik başlığı altında verilen mekanizma çözümlerinin bazıları da bu kesimde sağ yönlü düzlemi desteklemektedir.



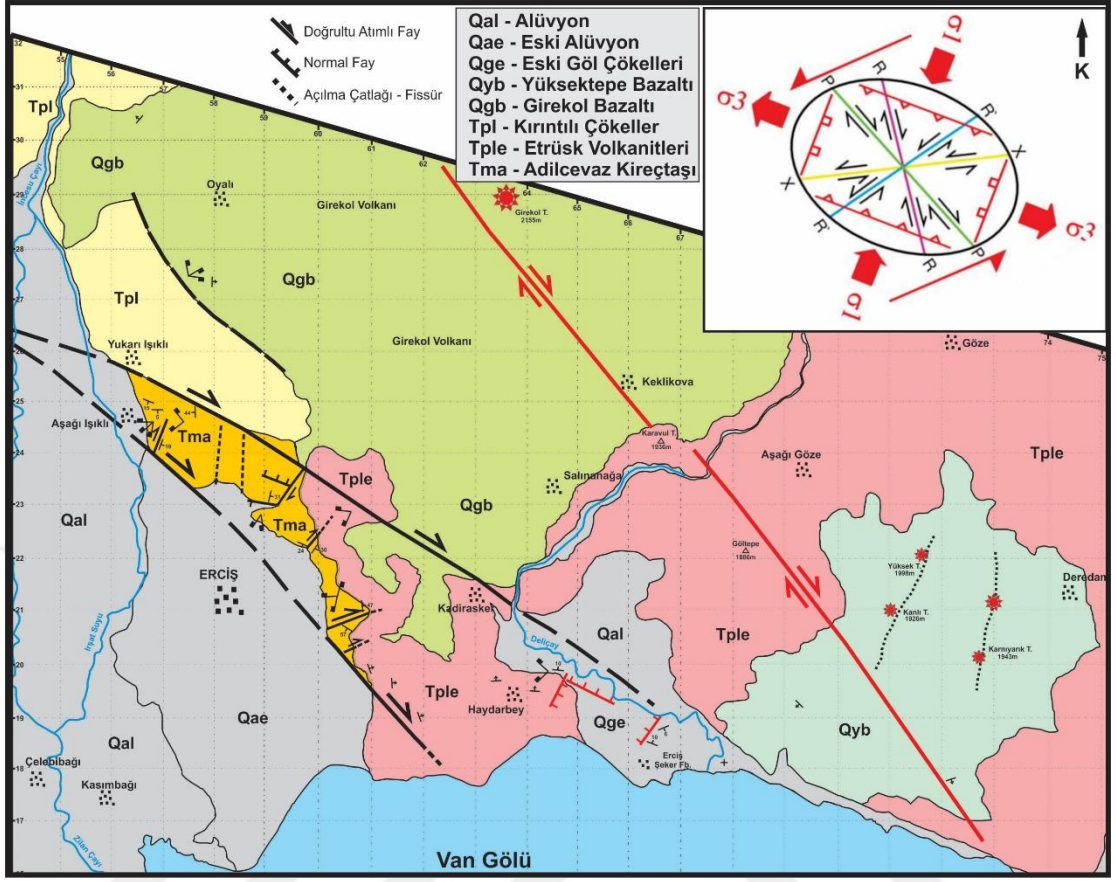
Şekil 5.3. Van Gölü doğu ve kuzeydoğusuna gözlenen ana faylar dönme hareketi yönleri (beyaz oklar).

İnceleme alanı içerisinde yüzeylenen, farklı yaş dönemlerine ait kaya birimlerinde yapılan eklem ölçümleri asal sıkışma yönleri hakkında değerlendirme yapma imkânı sunmuştur. Birimlerin yaşlıdan gence doğru genel özellikleri ise şu şekildedir; Geç Oligosen Erken Miyosen dönemine ait Van Formasyonu birimlerinde gözlenen eklem takımlarının oluşumu için temel olarak iki ana sıkışma eksenine gözlenmektedir. Bunlar **K60B** ve **K10B** yönlerindedir (Şekil 5.4). Van Formasyonuna ait kaya birimleri Van Gölü Havzasının güney ve doğu kesimlerinde yüzeylenmektedir. Gölün kuzey kesimlerinde ve de inceleme alanının kuzeyinde bu birimlere rastlanılmamaktadır. Bu nedenle aksenal sıkışmanın temsil ettiği kesim aslında inceleme alanının doğu ve güneyi, yani Van Gölü havzasının doğu kesimidir. Belirlenen yönlerden K60B olanı daha baskın olup Çolpan Fayı gibi konumda olan sağ yönlü mekanizmaları oluşturmak için uygundur.

Erken Miyosen dönemi çökeli Adilcevaz Kireçtaşı birimi, inceleme alanının sadece kuzeyinde yüzeylenmektedir. Yapılan analizde baskın bir şekilde **K20D** yönlü asal sıkışma eksen belirlenmiştir. Bu yön, inceleme alanının kuzey kesimlerini temsil etmesi açısından önemlidir. Gelişmiş iki yöndeki eklem takımları ve asal sıkışma eksenine göre oluşturulan gerilme elipsoidi Şekil 5.5’de verilmiştir. Burada, Riedel kırıkları (R ve R') eklem setlerini, P düzlemi Erciş Fayı güney kolunu ve Emre ve diğ. (2013)’de sunulan Erciş Fayı’nı temsil etmektedir. Sıkışma eksenine paralel uzanan normal faylar ise Haydarbey Köyü doğusunda ve Erciş Şeker Fab. kuzeyinde gözlenen faylar ile uyumludur. Elipsoidin dönme ve makaslama yönü yukarıda bahsi geçen saat yönü tersine gelişen dönme hareketini de temsil etmektedir. Bu verilerin yanı sıra bölgede Geç Pleyistosen’de gelişmiş Yüksektepe Bazaltlarının çıkış noktası olan, yaklaşık konumları K10D ve birbirine paralel iki ayrı fissürün uzanımı da gerilme elipsoidi içerisindeki açılma çatlaklarını temsil etmektedir (Şekil 5.5).



Şekil 5.4. Eklemler ana düzlemleri, kontür diyagramı, projeksiyonu ve asal eksenler.



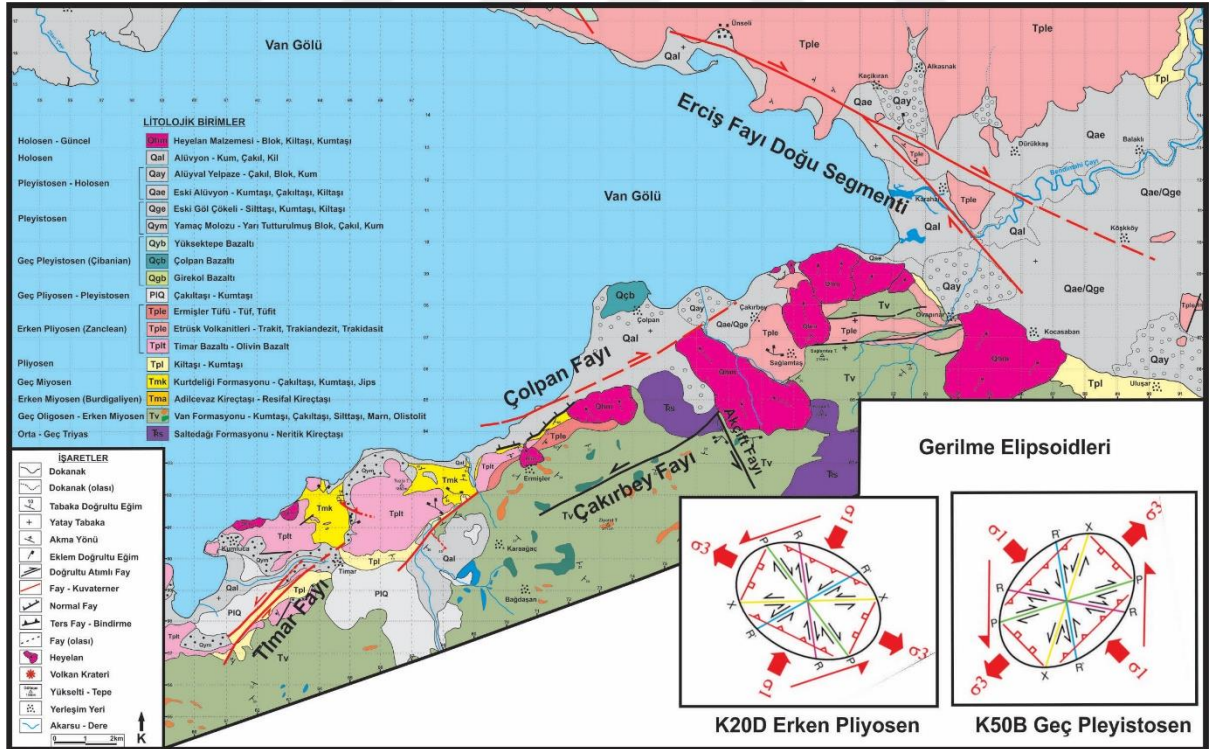
Şekil 5.5. Erciş civarının jeolojisi ve bölgede gözlenen ana yapısal unsurlar. Alt Miyosen yaşlı Adilcevaz Kireçtaşı birimi (Tma) ve civarını temsil eden gerilme elipsoidi (sağ üstte gösterilmiştir).

Geç Miyosen döneminde ise Van Gölü Havzasının doğu ve güneyinde Van Formasyonu ile birlikte gözlenen, kırıntılı birimler içeren Kurtdeliği Formasyonu eklemleri analiz edilmiş ve aksel olarak asal sıkışma yönü **K10B** olarak bulunmuştur (Şekil 5.4). Bu durum yukarıda Van Formasyonu için yapılan analizdeki yönlerden biri ile aynıdır. Ancak analizde dikkat çeken durum kırıkların eğim yönlerinin doğu yönlerinde olduğudur. Yani normal koşullarda beklenti, eklem eğim yönlerinin ters yönlerde olması yönündedir. Bu anlamda elde edilen sıkışma yönü aslında **K10B** ile **K80B** arasında dönmektedir. İnceleme alanının doğu ve güneydoğu kesiminde aksel dönmenin kanıtlarından biri olarak bu durumu gösterebiliriz. Benzer durum Adilcevaz Kireçtaşı biriminde gözlenirse de, yani eklem setlerinin eğimleri aynı yön tarafını işaret etse de, düzlemlerden birinin ters yönde gelişen kutup yoğunluğu da bulunmaktadır (Şekil 5.4).

Erken Pliyosen döneminde bölgede çok geniş bir yayılım ile volkanizma gerçekleşmiş ve volkanik ürünler bölgeyi kaplamıştır. İnceleme alanının daha çok kuzey kesimlerinde

yüzeylenen Etrüsk Volkanı'nın Erken Pliyosen dönemine ait kaya birimlerine ait eklemlerin analizinde iki temel yön ortaya çıkmıştır. Bunlardan biri **K30-40B** diğeri **K20D** dur (Şekil 5.6). İnceleme alanının güney kesimlerinde yüzeylenen yine aynı yaş konağındaki Timar Bazalt birimlerinde de K20D yönlü asal sıkışma yönü belirlenmiştir. Bu durumda sahanın Erken Pliyosen dönemini temsilen en baskın asal sıkışma yönünün **K20D** yönünde olduğunu söyleyebiliriz.

Kuvaterner dönemine geldiğimizde ise, analizi yapılan Geç Pleyistosen dönemi volkanitleri inceleme alanının kuzey kesimlerinde yüzeylenmektedir. Analiz sonucunda belirlenen asal sıkışma yönleri **K50B** ve **K20D**'dur (Şekil 5.6). Sahanın güney kesimini temsilen Geç Pleyistosen dönemi eski göl çökelleri içerisinde alınan az sayıdaki ölçü ile yapılan analizlerde asal sıkışma yönü **K25D** gibi görünmektedir. Ancak burada, elde edilen ana süreksizlik düzlemlerinin eğimleri aynı yöne, doğu yönlerine doğrudur. Bu durumda Geç Pleyistosen dönemi için düzlemleri oluşturan stres yönünün K45B'dan K85B'ya doğru doğru dönmüş olması gerekmektedir.

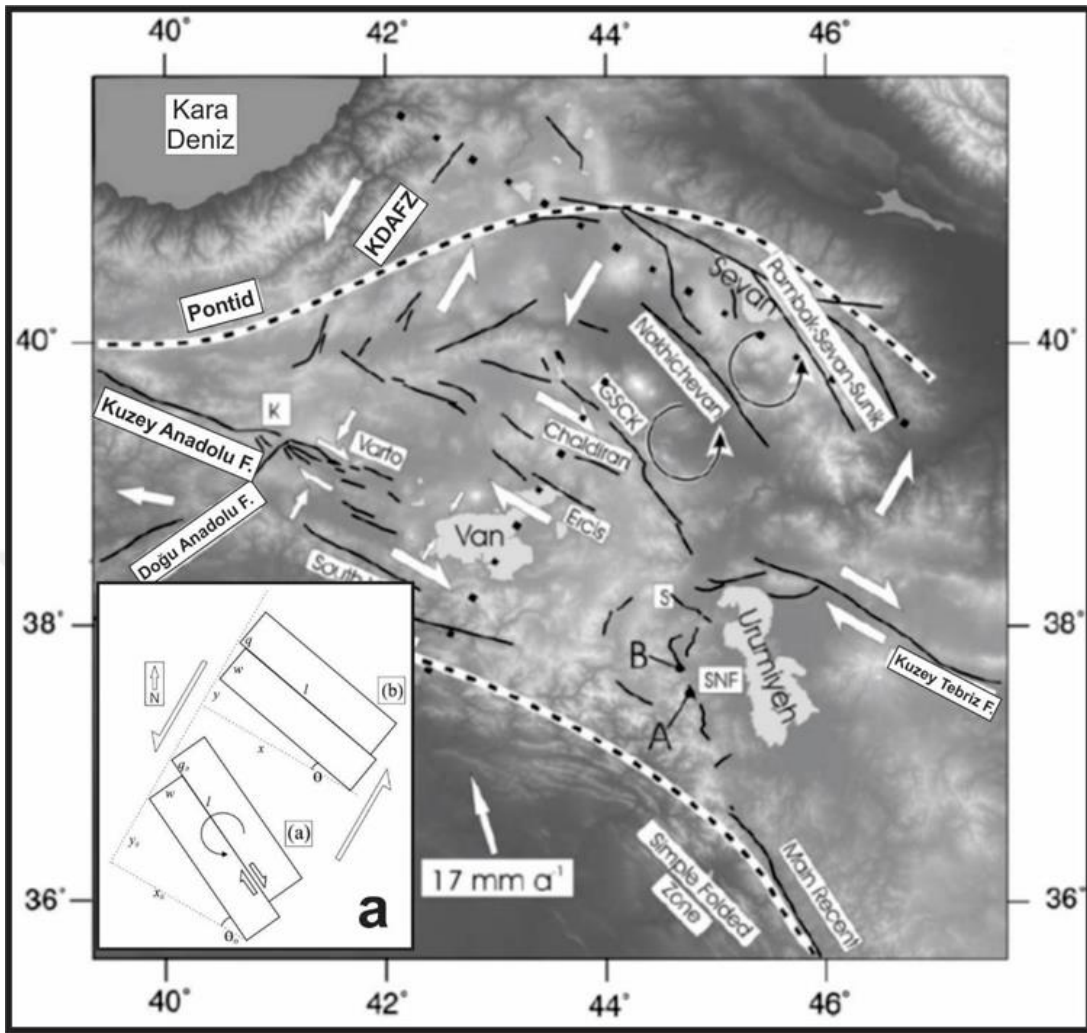


Şekil 5.6. İnceleme alanı güneyinin jeolojisi ve bölgede gözlenen ana yapısal unsurlar. Erken Pliyosen ve Geç Pleyistosen dönemlerini temsil eden gerilme elipsoidleri (sağ altta gösterilmiştir).

Eklem düzlemlerinin projeksiyonunda ortaya çıkan genel durum, birden fazla asal eksenin baskın olduğu, kırık sistemlerinin ve ana süreksizliklerin bu yönde geliştiğidir. Farklı dönemlerde, Geç Oligosen Erken Miyosen döneminden bu yana K10B - K20D gibi başlayan asal sıkışma ekseninin Erken Pliyosen dönemi sonrasına kadar yaklaşık aynı ekseninde devam ettiği ve olasılıkla Erken Pliyosen sonrası bölgedeki volkanizmanın çok etkin olması, derinlerde kabuk altında mantoda ısı akısı dengesinin yeniden şekillenmesi ile Kuvaterner döneminde etkin olmaya başlayan K40-60B yönlerine asal sıkışma, eksenin dönmesini sağlamıştır. Bu döngü bölgedeki ana süreksizliklerin konumlarını şekillendirmiştir.

İnceleme alanı içerisinde gözlenen bu yapıların en önemlisi, kuzey kesimdeki, parçalı yapısı ile Erciş Fay Zonu'dur. Erciş Fayı'nın konumu, yaşı ve oluşumu ile ilgili yapılmış öncel çalışmalarda sunulan veriler üzerine görüşler ve elde edilen yeni bulgular aşağıda verilmektedir.

Copley ve Jackson (2006) yayınında, Türk İran Platosu'nda gözlenen aktif tektonik yapıları tartışmış, inceleme alanı kuzeyinde bulunan Erciş ve Çaldıran Fayları boyunca gerçekleşen yerdeğiştirme miktarlarını yılda 8 mm olarak belirtmiş ve bölgede birbirine yaklaşık paralel uzanan sağ yönlü doğrultu atımlı fayların saat yönünün tersine doğru hareket eden blokların sınırlarını oluşturduklarını belirtmişlerdir (Şekil 5.7).

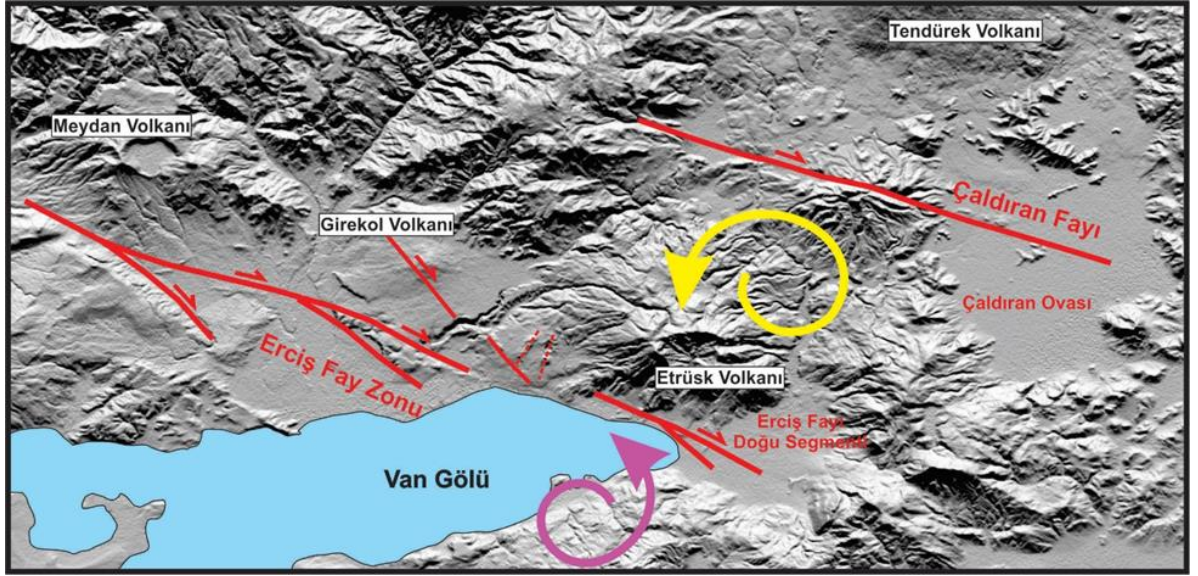


Şekil 5.7. Türk İran Platosu'nda gözlenen ana faylar ve dönen blok mekanizması (a). KDAFZ: Kuzeydoğu Anadolu Fay Zonu, K: Karlıova Eklimi, GSCCK: Gailatu-Siah-Keşmeh-Hoy Fayı, S: Salmas Fayı, SNF: Serov Normal Fayı. A ve B noktaları Serov Fayı düzlemi ölçüm noktaları (makale içinde verilmiştir). Kesikli siyah çizgiler suture zonlarını göstermektedir (Copley ve Jackson (2006)'dan alınmıştır).

Şekil 5.7'de küçük görselde verilen modelde, sağ yönlü doğrultu atımlı faylar ile sınırlanan bir bloğun saat yönü tersine doğru gelişen dönme hareketi boyunca gerçekleştirdiği yerdeğiştirme mekanizması gözlenmektedir. Copley ve Jackson (2006) çalışmasında bu modeli Erciş Fayı ve Çaldıran Fayı için uyarlamış ve Erciş Fayı'nda yaklaşık 12 km'lik bir toplam yerdeğiştirme, GPS verilerine bağlı olarak 8 mm/yıl kayma hızı belirlemiş ve fayın yaşını bu veriler doğrultusunda yaklaşık 1.5 My yani Orta Pleyistosen olarak tanımlamışlardır.

Önerilen modelde, sağ yönlü doğrultu atımlı fayların dönen blokların kenar sınırlarını oluşturduğu belirtilmektedir. Bu haliyle normal koşullarda bu sınır faylarında dönme yönünün

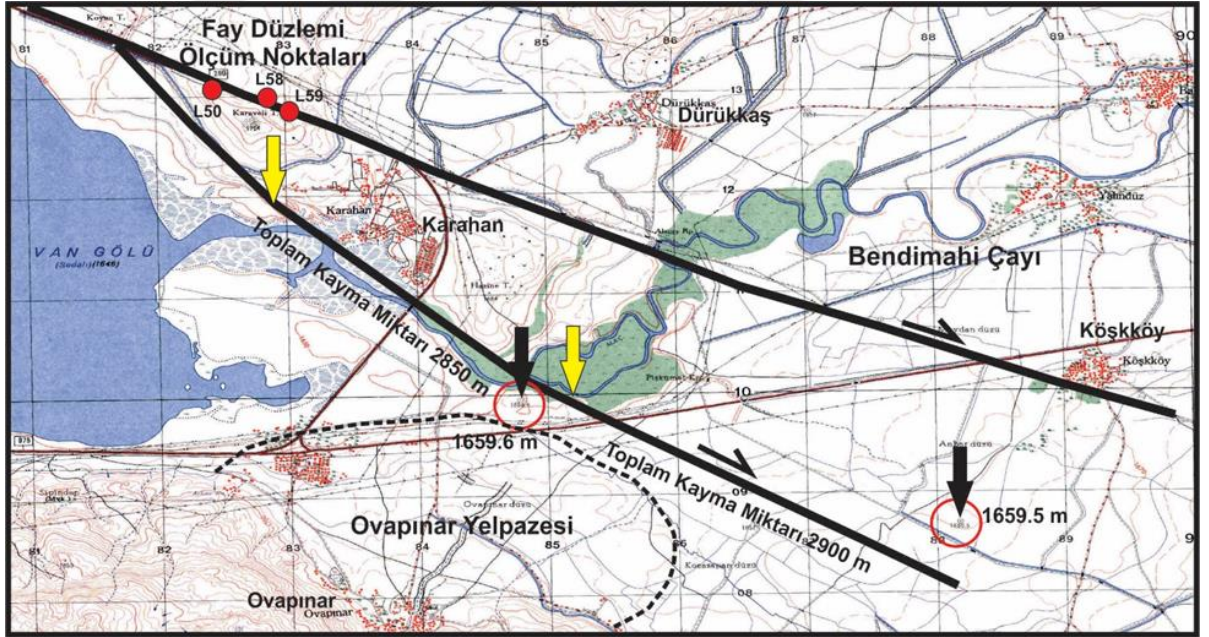
sıkışma eksenine uygun, ana faydan kopmuş veya bağlantılı tali fayların gelişmesi gerekir. Bu durumda Erciş Fayı'nın kuzeyinde kalan kesimde yaklaşık KB-GD uzanımlı sağ yönlü fayların olması gerekmektedir. Şekil 5.8'de görüldüğü gibi, Çaldıran ve Erciş Fayları arasında kalan bölgenin saat yönünün tersine (sarı renkli döngü) dönmesi durumunda gelişmesi olası yapılar bulunmamaktadır. Girekol Volkanı'nı kateden KB-GD uzanımlı sağ yönlü doğrultu atımlı fay ise önerilen dönen blok sistemi sınırlarının dışında kalmaktadır. Yani kuzeyde bu bloğu sınırlaması beklenen Çaldıran Fayı'nın devamı gözlenmemektedir. Girekol Volkanı kütlesi içerisine gözlenen bu fay ile ilgili görüşler ilerleyen kısımlarda sunulacaktır. Erciş Fay Zonunun güney kesiminde ise mor renkli okla gösterilen dönme hareketinin yönü boyunca Erciş Fayı atkuyruğu yapısı sergileyecek şekilde kollara ayrılmıştır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Çaldıran ve Erciş Fayları arasında kalan bloğun dönme hareketi (sarı renkli ok) (Copley ve Jackson 2006), Erciş Fay Zonu güneyinde aynı yönde gerçekleşen blok hareketi (mor renkli ok) ve Erciş Fayı'na ait segmentler.

Erciş Fayı doğu segmenti inceleme alanında atkuyruğu yapısı şeklinde gözlenmektedir (Şekil 5.9). Burada kuzey kesimde kalan fay ana kolu, güneye açılan kol ise daha kısa ancak yerdeğiştirme miktarının en net görüldüğü yapıyı oluşturmaktadır. Güneydeki kol için Ünner (2019) çalışmasında, Van Gölü'ne dökülen Bendimahı Çayı'nın faydaki ötelenme nedeniyle KB yönünde sıçradığını, yerdeğiştirdiğini, eski yatağını ve deltasını terk ederek kuzeybatıda yeni bir delta oluşturmaya başladığını belirtmiştir. Çalışma kapsamında segmentin kuzeydeki kolundan bahsedilmemiş ancak yayında kuzey kolda yer alan L58 lokasyonuna ait görsel kullanılmıştır.

Şekil 5.9’da görüleceği gibi, güney kol üzerindeki toplam yerdeğiştirme miktarının ölçülebileceği iki ana unsur bulunmaktadır. Bunlardan biri Bendimahi Çayı’nın ötelenmesi, diğeri ova içerisinde gözlenen ve hemen hemen aynı yüksekliğe sahip tepelerdir. Bendimahi Çayı üzerinde gerçekleşen yerdeğiştirme miktarı yaklaşık 2850 m olarak, bölgedeki 1659.6 m yükseklikli iki tepenin arasındaki yerdeğiştirme miktarı ise yaklaşık 2900 metre olarak ölçülmüştür. Bendimahi Çayı’nın yatağını değiştirmesinde az da olsa etkisi olabilecek bir diğer yapı ise sahanın güneyinde gözlenen ve Ovapınar Köyü yerleşiminin hemen kuzeyinde başlayıp alüvyal düzlüğe dolan alüvyal yelpaze yapısıdır. Bu yelpazenin kuzey ve kuzeybatı yönündeki ilerleyişi çayın yatağının az da olsa dolmasına ve kısmen ötelenmesine neden olmuştur. Ancak yelpaze çökellerinin ulaştığı en uç nokta çayın yeni delta sahasının yakınına dahi gelememektedir. Bu nedenle akarsuyun ötelenmesi tamamiyle tektonik kontrollü olarak gerçekleşmiştir (Üner 2019).

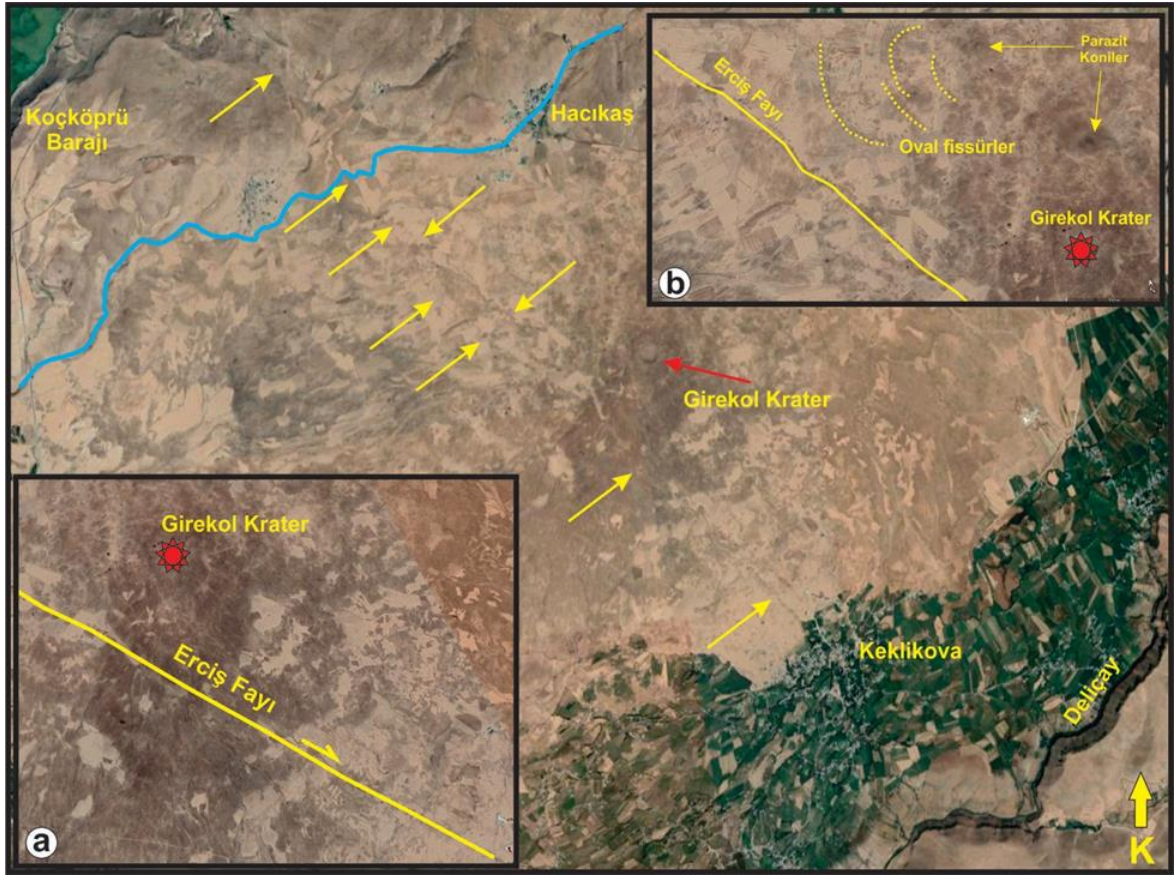


Şekil 5.9. Erciş Fayı Doğu Segmenti kolları ve toplam yerdeğiştirme miktarları.

Burada temel sorun, kuzey kolda bu boyutta yerdeğiştirme miktarlarının gözlenmiyor olmasıdır. Kuzey kolun Bendimahi Çayı’nı kestiği lokasyonda yerdeğiştirme miktarı yaklaşık 300 metre civarındadır. Bu miktar güney kolun neredeyse 1/10’u kadardır. Erciş Fayı Doğu Segmenti’nin güney kolunun bu boyutta yerdeğiştirme miktarına sahip olmasının temel nedeni hemen güneyindeki yükseltinin de içinde olduğu bloğun saat yönünün tersine doğru yaptığı dönme hareketidir. Blok dönmesini ilk karşılayan süreksizlik olması nedeniyle stres yükünün

önemli bir bölümü bu kol üzerindedir. Güneydeki bloğun KB yönüne doğru döngüsel hareketi nedeniyle fay daha kolay yırtılmakta, bir yandan da çekme gerilmesine maruz kaldığı için faylarda düşey bileşenler de gelişmektedir. Saha gözlem noktası L58 v L59 da bu durum oldukça nettir. Erciş Fayı'nın oluşumu, döngüsel deformasyonun kuzeyde yeralan Etrüsk Volkanı ana gövdesini deforme edememesi ve güney çeperinde yırtılma gerçekleştirmesi şeklinde açıklanabilir. Fayın yaşı konusunda Copley ve Jackson (2006) ya göre verilen 1.5 My'nin yeni ve yersel olarak elde edilecek jeodezik veriler ile denetlenmesi gerekmektedir. Zira çalışmada verilen 8 mm/yıl verisi Çaldıran Fayı ile birlikte değerlendirilerek verilmiştir. Doğu Segmenti Güney Kolda gerçekleşen toplam yerdeğiştirme miktarını yıllık kayma hızı ile denestirdiğimize fayın yaşı yaklaşık 362.5ka (binyıl) olarak hesaplanmaktadır. Bu tarih çok anlamsız değildir, zira görülen deformasyonların hemen hepsi Kuvaterner dönemi içerisinde kalmaktadır. Fayın, deprem tekrar periyodu ise daha detaylı paleosismoloji çalışmaları ile netlik kazanacaktır.

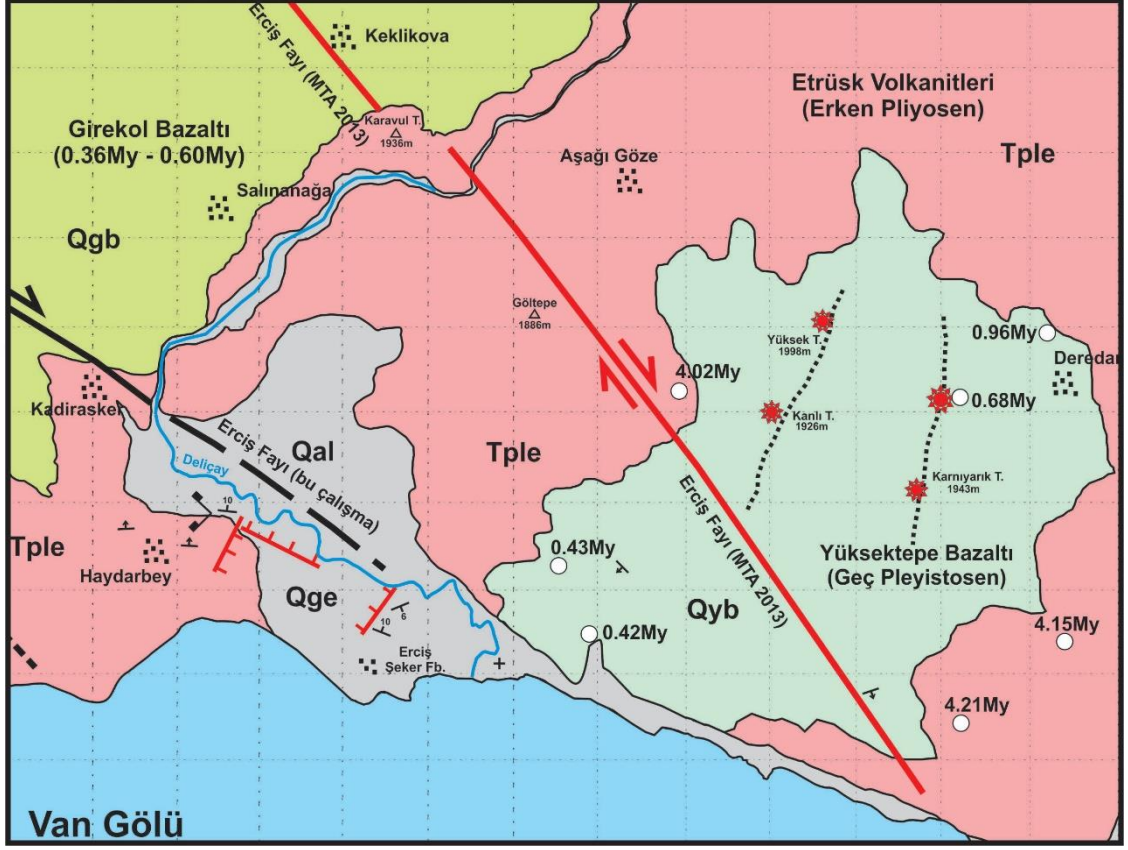
Erciş Fayı, Emre ve diğ. (2013) diri fay haritasında yaklaşık K45B uzanımlı olarak haritalanmıştır (Şekil 5.10). Fay, GD ucunda Keklikova Köyü'nden başlamakta, doğrultusu boyunca Girekol Volkanik kütlesi içerisinde devam edip KB'da Zilan Vadisi Koçköprü Barajı'nı katedip sonlanmaktadır. Fayın sahada gözlemlendiği uzanımı boyunca volkanik aktivitenin izleri mevcuttur (Şekil 5.10). Bu durum fayın düzleminin volkanizma tarafından kullanıldığını göstermektedir. Fayın uzanımı herhangi bir büklüm yapmadan KB ya doğru devam etmektedir, bu da düzlemin yaklaşık düşey geometride olduğunu işaret etmektedir. Girekol Volkanı'nın ana krateri Erciş Fayının yaklaşık 800 m KD'sunda yer almaktadır. Bu anlamda Girekol Volkanizmasının ana çıkış noktasının Erciş Fayı'ndan daha yaşlı olduğu düşünülmektedir. Girekol Bazalt biriminden elde edilen radyometrik yaş verileri ise volkanın güney kesimlerinde 600ka (binyıl), doğu kesimlerinde 530ka ve kuzey-kuzeybatı kesimlerinde 360ka olarak belirlenmiştir (Lebedev ve diğ. 2010). Erciş Fayı'nın kestiği birimler güneydeki 600ka ve kuzeybatıya doğru 360ka yaşındaki bazalt birimleridir. Bu durumda fayın yaşı en genç volkanik birim olan 360ka kesmesi nedeniyle bu yaştan daha genç olmalıdır.



Şekil 5.10. Erciş Fayı'nın Girekol Volkanı'nı kateden segmenti (Emre ve diğ. 2013), a) Girekol Volkanı ana krateri ve Erciş Fayı'nın konumu, b) ağırlıklı olarak kuzey kesimde gözlenen fissürler ve parazit koniler ile fayın konumu.

Görüntü itibarıyla Erciş Fayı, Girekol Volkanizmasına ait bir fissürü andırmaktadır. Zira volkan kütlelerinin kuzey kesimlerinde de benzer çıkış noktası dizinleri seçilebilmektedir (Şekil 5.10b). Volkanik birimler içerisinde gözlenen ana süreksizliklerin hareket yönleri ve yerdeğiştirme miktarları ile ilgili genel olarak zorluklar bulunmaktadır. Kayaçların sertliği ve dayanımı nedeniyle fay çizgilerinin veya düzlem üzerinde gelişen yapıların oluşması zor olabilmektedir. Aynı durum bu segment için de geçerlidir. Kuzeydeki Hacikaş Köyü'nden GB'ya uzanan derenin Erciş Fayı ile kesişim yerinde yaklaşık 100 m gibi bir yerdeğiştirme söz konusudur. Fayın en son kestiği volkanik birimlerin yaşını temel alırsak toplam yerdeğiştirme miktarı için yıllık 0.27 mm gibi bir kayma hızı ortaya çıkmaktadır. Bu hız Erciş Fayı'nın Doğu Segmenti ve Copley ve Jackson (2006) çalışmasında geçen yıllık 8 mm'lik kayma hızının çok çok gerisindedir. Yani bir anlamda fayın neredeyse hareket etmediğini söyleyebiliriz. Bu durumda Erciş Fayı'nın Girekol Volkanik kütlesi içerisindeki yapısının bir açılma çatlağı olma olasılığı düşünülmelidir. Yukarıda bahsi geçen döngüsel (rotasyonel) deformasyonun sıkışma ekseninin

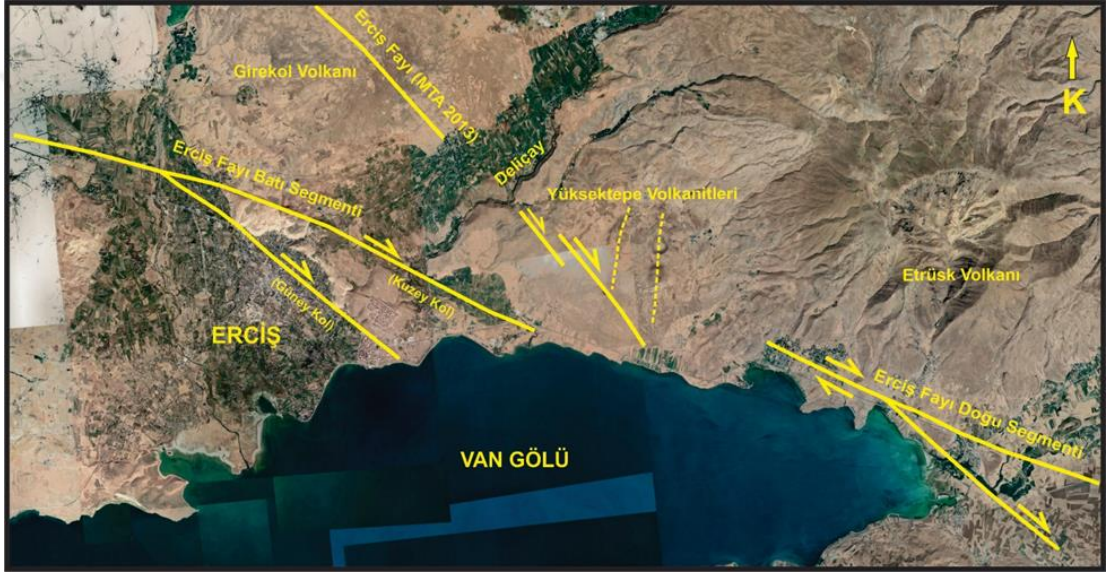
Geç Pleyistosen sonrasında K50B gibi olduğu düşünülürse fayın uzanımının bu yönü desteklediği ortaya çıkacaktır. Benzer durum Emre ve diğ. (2013) yayınında verilen ve Erciş Fayı'nın devamı niteliğinde olan GB ucu için de geçerlidir (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. Erciş Fayı'nın Yüksektepe Kuvaterner Volkanizması içerisindeki konumu (Emre ve diğ. 2013), yaş verileri (beyaz noktalar) Lebedev ve diğ. (2010)'dan alınmıştır.

Erciş Fayı bu kesimde yine yaklaşık K40B doğrultuludur. KB ucunda Deliçay Vadisi'ni kesmekte, GD ucunda ise Van Gölü'ne varmadan sonlanmaktadır (Şekil 5.12). Fayın sahada takibi iki şekilde yapılmıştır. Birincisi, Deliçay Vadisi'nde meydana gelen yamulma ve yerdeğiştirme, diğeri Alt Pliyosen yaşlı volkanik birimler içerisinde gözlenen yerdeğiştirmedir. Fayın Yüksektepe Volkanitleri'ni kateden kısmında ise yerdeğiştirme miktarı keskin değildir. Bazalt biriminin çıkış noktaları sahada dört farklı krater yapısı ve bunların uzanımı nedeniyle belirgindir. Bunlar Yüksektepe ve Kanlı Tepe eksenini ile hemen doğusundaki Düzgeyik Çukuru (Krateri) – Karnıyarık Tepe ekseninden geçen açılma çatlaklarıdır (Şekil 5.12). Bu çatlakların uzanımı yaklaşık K10D gibidir. Daha doğudaki çatlakın ana krateri olan Düzgeyik Çukuru civarından alınan örneğin yaşı 680ka olarak belirlemiştir (Lebedev ve diğ. 2010). Yüksektepe

Volkanitleri'nden elde edilen en genç yaş verisi ise 420ka civarındadır. Lavların yüzeye çıktığı fissürler geometrik olarak Erciş Fayı'nın hareket yönü ve deformasyon oluşturma kuvvet yönü ile uyumlu değildir. Yani, bir başka deyişle, bu açılma çatlaklarının mevcut uzanımıyla gelişebilmesi için Erciş Fayı'nın sol yönlü doğrultu atım karakteri sunması gerekmektedir. Her ne kadar sahada atım miktarı ve yönü ile ilgili keskin veriler olmasa da, Emre ve diğ. (2013) ve daha eski çalışmalarda fay sağ yönlü olarak tanımlanmıştır. Bu kabul ile ve de Erciş Fayı'nın diğer segmentlerindeki genel yaş verilerine baktığımızda Erciş Fayı'nın 420ka'dan daha genç olduğu, volkanizmayı üreten fissürlerin yaşlı olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.



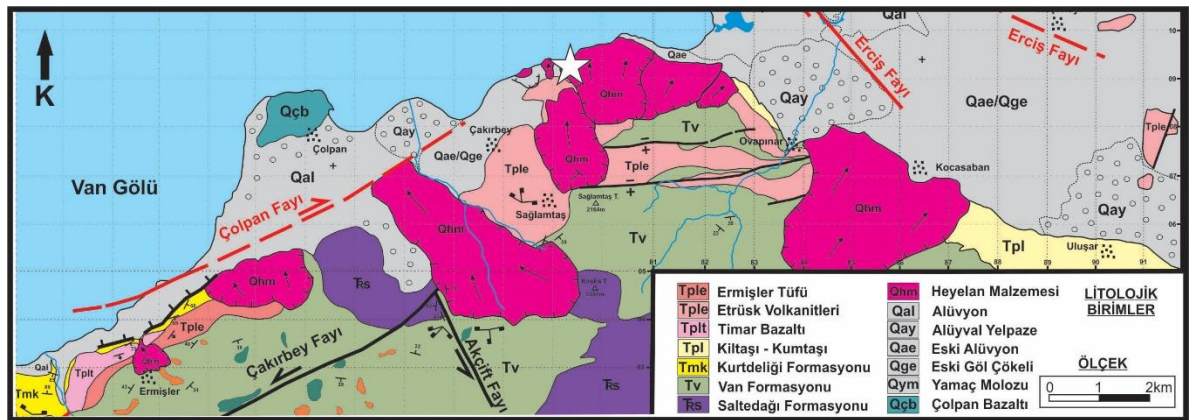
Şekil 5.12. Erciş Fay Zonu'nun genel görünümü. Yüksektepe Volkanitlerini kesen fayın konumu ve açılma çatlaklarıyla olan ilişkisi (faylar Emre ve diğ. 2013 ve bu çalışma).

İnceleme alanının güney kesimlerini temsilen yapılan çalışmaların bazılarında sahadan elde edilen veriler ile uyumsuzluklar bulunmaktadır. Bu konulara açıklık getirmek amacıyla bu bölümde elde edilen veriler ile yayımlanmış çalışmalar karşılaştırılarak tartışılacaktır.

İnceleme alanının güney kesimlerinde yoğun bir şekilde aktif tektonik yapılardan biri olan kütle hareketleri (heyelanlar ve akmlar) gözlenmektedir. Şekil 5.13'te gösterildiği şekilde, özellikle Van Gölü'ne bakan yamaçlarda, geniş alanlarda heyelan kütlelerini görmek mümkündür. Bu heyelanların temel bir kaç sebebi vardır. Bunlardan biri litolojik ve yapısal nedenlerdir. Bölgede Van Formasyonu'na ait ince taneli kırıntılı kaya birimleri yüzeylenmektedir. Bununla birlikte Van Formasyonu'nun tabaka eğimleri yamaç dışına, yani Van Gölü'e doğrudur. Eğim miktarına da bağlı olarak bu olumsuz koşul bir başka etmen olan su kaynakları ile birleşince

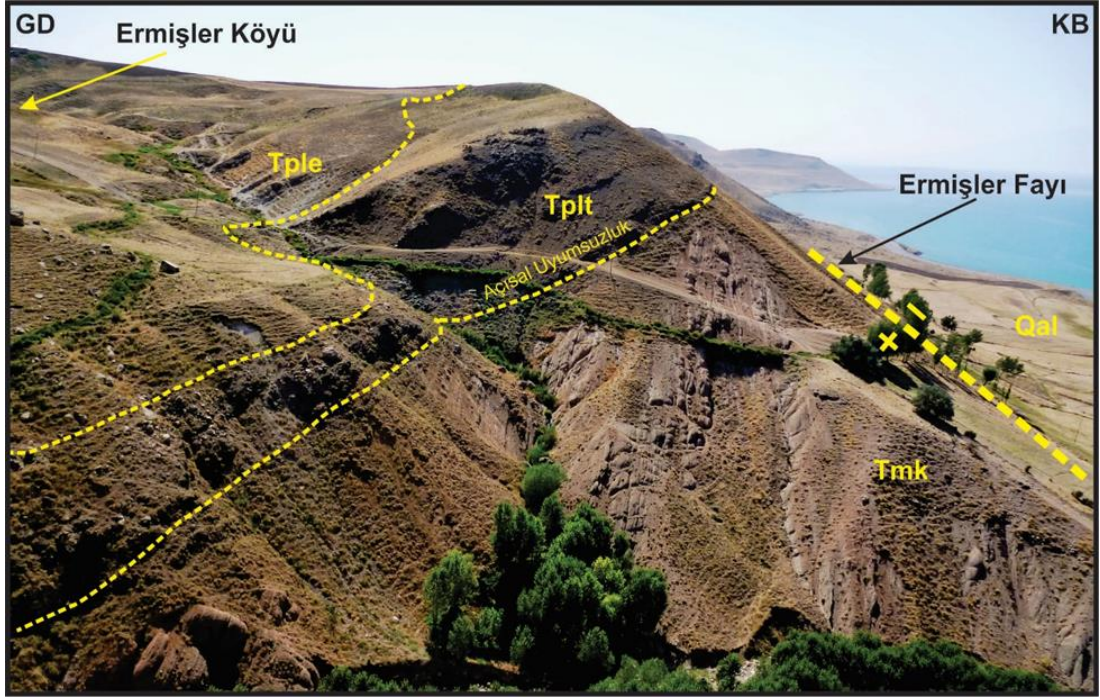
kütle hareketlerinin oluşumu kolaylaşmaktadır. Bölgede yoğun bir şekilde su çıkış noktaları bulunmaktadır. Van Formasyonu içerisinde bulunan serpantin türevi olistolitler de su ile temas ettiklerinde kayanın kesme dayanımını düşüren bir özelliğe sahip olmaktadır. Heyelan gelişimindeki diğer iki etken ise depremsellik ve de tektonizmaya bağlı yükselimdir. Özellikle inceleme alanı dışında kalan ve güneye eğimli ters fayların oluşturduğu itki ile birlikte bölge hem tavan bloğu hem de taban bloğu boyunca yükselmektedir. Bu durumun örneği 23 Ekim 2011 Van Depremi sonrasında yapılan çalışmalarda gözlenmiştir. Yükselmeye bağlı olarak suya doymuş, kilce zengin tabakalar üzerindeki birimler gravitenin etkisiyle, düzlemler boyunca akmaya ve kaymaya başlamaktadır. Bu durumu bazen depremlerin de tetiklediği bilinmektedir ki yine Van Depremi ile birlikte bölgede birçok kütle hareketi meydana gelmiştir (Özkaymak ve diğ. 2011, Akın ve diğ. 2013).

Heyelan kütleleri birimlerin ilksel konumlarını yitirmesine neden olmaktadır. Hem kendi içerisinde hem de topuk kısmında yer alan birimler deforme olmakta ve yerdeğiştirmektedir. Sağlam ve diğ. (2020) çalışmasında Çolpan Fayı olarak tanımladıkları, sundukları haritada gösterdikleri fayın çok uzağından aldıkları fay düzlemini temsil eden lokasyon bir heyelan kütesinin topuk kısmında yer almaktadır (Şekil 5.13 beyaz yıldız). Ölçüm alınan lokasyon ve çevresi aktif bir kütlenin etkisinde deforme olmuş ve en basit hali ile yön değiştirmiştir. Zaten çalışmada fay ters fay olarak tanımlanmış ve K80B doğrultulu olarak verilmiştir. Ancak haritalanan fayın konumu ve doğrultusu Şekil 5.13 deki Çakırbey Fayı ile birebir aynıdır. Sahadan alınan düzlem verisinin heyelan nedeniyle ilksel konumundan uzak olduğu ve bölgeyi yapıyı temsil etmediği düşünülmektedir.



Şekil 5.13. İnceleme alanı güney kesimlerinde gözlenen aktif kütle hareketleri (Qhm) ve yapılarla etkisi. Beyaz yıldız Sağlam ve diğ. (2020) çalışmasında fay düzlemi ölçümü yapılan yeri göstermektedir.

Yine aynı çalışma içerisinde Ermişler Köyü civarında yüzeyleyen Timar Bazaltı'na (Tplt) ait birimden üç adet örnek üzerinde K/Ar yöntemi ile radyometrik yaş tayini yaptırılmıştır (Sağlam ve diğ. 2020). Aynı bölgeden tez çalışması kapsamında hem Timar Bazaltı'ndan hem de üzerine uyumlu gelen Ermişler Tüf biriminden örnekler alınmış ve yine aynı yöntem ile yaş tayini yaptırılmıştır. Sağlam ve diğ. (2020) çalışmalarında elde ettikleri yaş verileri sırasıyla 11.7My, 18.8My ve 7.1My'dır ki bu veriler Miyosen dönemi içerisinde dağınık halde olup Erken Miyosen'den Geç Miyosen'e kadar değişkenlik göstermektedir. Bu yaş verileri, stratigrafi, öncel çalışmalar ve tez çalışmasında elde edilen yaş verileri ile oldukça uyumsuzdur. Stratigrafik olarak, Timar Bazaltı altında açılal uyumsuzluk ile Geç Miyosen dönemi çökelleri olan Kurtdeliği Formasyonuna ait kırıntılı kaya birimi bulunmaktadır (Şekil 5.14).

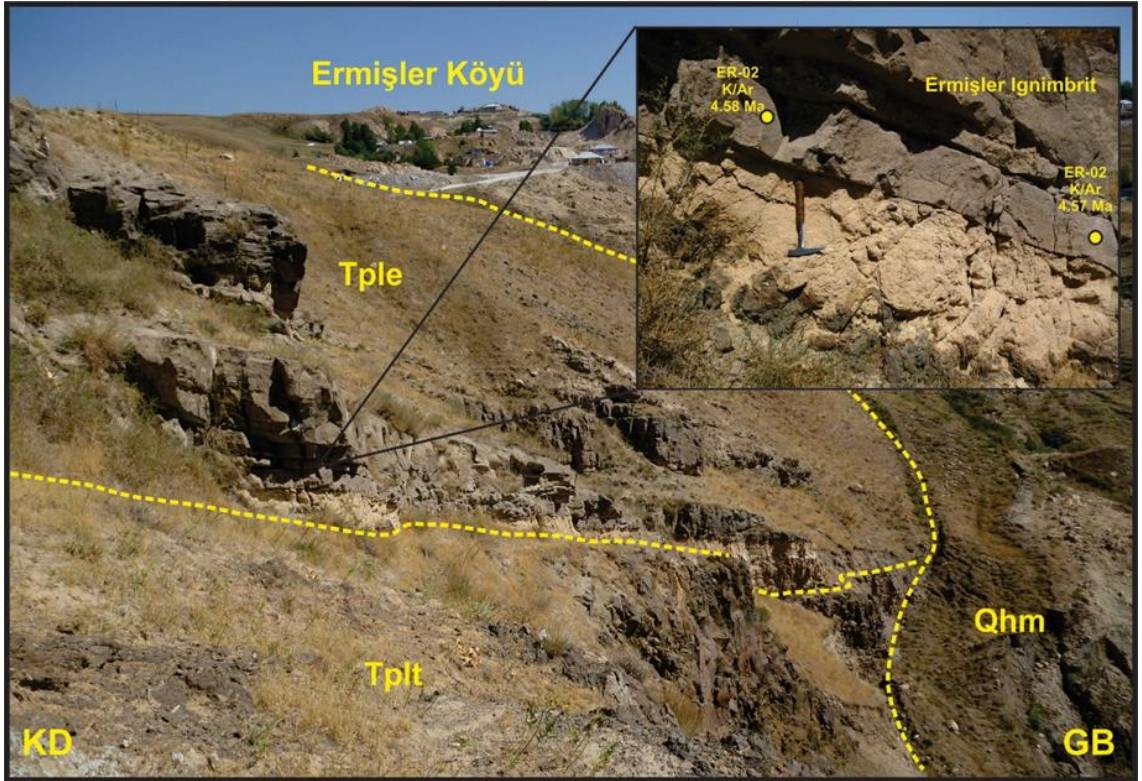


Şekil 5.14. Ermişler Köyü civarında gözlenen birimlerin stratigrafik ilişkisi, Tmk: Kurtdeliği Fm. Üst Miyosen, Tplt: Timar Bazaltı, Alt Pliyosen, Tple: Ermişler Tüf, Alt Pliyosen, Qal: Alüvyon, Kuvaterner, bakış yönü GB.

Bölgede Timar Köyü kuzey ve kuzeydoğusunda yüzeyleyen Timar Bazalt biriminden alınan örnekler üzerinde K/Ar yöntemiyle yapılan radyometrik yaş tayininde sırasıyla, 4.65My, 4.70My ve 4.90My (Lebedev ve diğ. 2010), 4.18My (bu çalışma) yaşları elde edilmiştir. Timar Bazalt birimi ile uyumlu dokanaklı olan Ermişler Tüf biriminden bu çalışma kapsamında iki adet örnek alınmış ve yaş tayini yaptırılmıştır. Elde edilen yaş verileri 4.57My ve 4.58My'dır (Şekil 5.15).

Görüldüğü gibi, gerek Timar Bazalt birimi gerekse üzerine gelen Ermişler Tüf biriminden elde edilen yaş verileri, farklı laboratuvarlarda analiz ettirilmiş olmasına karşın birbiriyle uyumlu ve tutarlıdır. Verilerin bölge stratigrafisiyle uyumunun yanı sıra, Van Gölü güney bölgelerinde Erken Miyosen dönemine ait volkanizma verisi bulunmamaktadır. Bölgenin güneyinde, Van Gölü güneydoğusu ve doğusunda Geç Lütəsiyen'den Geç Oligosen dönemine kadar devam eden yay volkanizmasının ürünleri olan Gövelek Volkanitleri yüzeylenmektedir (Elmas 1994). Daha genç döneme, Miyosen dönemine ait volkanik birimler Van Gölü Havzası'nın kuzey kesimlerinde yaygınca yüzeylenen Aladağ Volkanizmasına ait ürünlerdir (Keskin 2003, 2007, Lebedev ve diğ. 2010, Oyan ve diğ. 2016). Dolayısı ile Sağlam ve diğ. (2020) çalışmalarında sundukları, volkanik birime ait yaş verileri gerçeği yansıtmamaktadır.

Benzer bir şekilde, aynı çalışma içerisinde eski göl çökeli teraslarının yaşlandırılması amacıyla fosil kırıntıları alınmış ve U/Th yöntemi ile radyometrik yaş tayini yaptırılmıştır. Bu yaş verilerinden ikisi inceleme alanı sınırları içerisinde bulunmaktadır.



Şekil 5.15. Ermişler Köyü civarında gözlenen birimlerin stratigrafik ilişkisi, Tplt: Timar Bazaltı, Alt Pliyosen, Tple: Ermişler Tüf, Alt Pliyosen, Qhm: Heyelan malzemesi, Kuvaterner. Ermişler Tüf – İgnimbrit seviyesinden elde edilen radyometrik yaş verileri (küçük görsel), bakış yönü GD.

Örneklerden biri, GDK22 kodu ile Gedikbulak Köyü (Timar veya Canik) civarında, verilen koordinata göre Van Gölü içerisinde gözlenmektedir, ancak koordinat hatası olduğu düşünülerek en yakın kıyı şeridi olarak kabul edilmiştir. Diğer örneğin ise ERM22 kodu ile Çolpan Köyü'nün kuzeydoğusunda göl kenarına yakın bir lokasyonda olduğu görülmektedir (Şekil 5.16). Alınan örneklerden elde edilen yaş verileri sırasıyla 214 ± 2 ka (binyıl) ile 384 ± 9 ka olarak belirlenmiştir.

Van Gölü Havzası içerisinde gözlenen tüm eski göl terasları Kuzucuoğlu ve diğ. (2010) kapsamında ayrıntılı olarak yaşlandırılmış ve tanımlanmıştır. Bu çalışmanın akabinde yine bölgedeki Kuvaterner çökel birimleri Görür ve diğ. (2015) tarafından çalışılmış ve yine yaş tayinleri yapılarak Kuvaterner istifin kronostratigrafisi çıkarılmaya çalışılmıştır. Her iki çalışma kapsamında da çok sayıda yaş verisi bulunmaktadır. Bu çalışmaların haricinde az sayıda da olsa Üner ve diğ. (2019) çalışmasında da Kuvaterner çökellerden yaş tayini yaptırılmıştır. Elde edilen en yaşlı teras verisi yaklaşık 117ka (Mouralis ve diğ. 2010), 102ka (Kuzucuoğlu ve diğ. 2010) ve 20ka (Görür ve diğ. 2015) ve 33ka (Üner ve diğ. 2019) dır. İlk iki yaş verisinin alındığı yer Van Gölü'nün en güneybatı ucu olan ve gölün ilk oluşmaya başladığı bölge olan Tatvan İlçesi güneyidir. Kuzucuoğlu ve diğ. (2010) çalışmasında Van Gölü'nün oluşmaya başladığı dönemi yaklaşık 120ka olarak belirtmişlerdir. Yine aynı çalışmada havza genelinde belirledikleri en yüksek teras kotu 1755 m civarındadır.

Bu çalışma kapsamında, inceleme alanı içerisinde ise, Gedikbulak (Timar) Köyü civarındaki göl çökelleri içerisinde bulunan gölsel gastropodlardan ve de kırıntı örnekler üzerinde yaş tayini yaptırılmış ve 40ka ile 83ka değerleri elde edilmiştir (Şekil 5.16). Bu örneklerin alındığı yükseklik ise yaklaşık 1760 metredir. Bir diğer yaş verisi ise yine aynı bölgede ve daha düşük kotlarda (1686 m) gözlenen göl ve akarsu çökellerinden elde edilmiştir. Bu değer ise yaklaşık 26ka'dır.

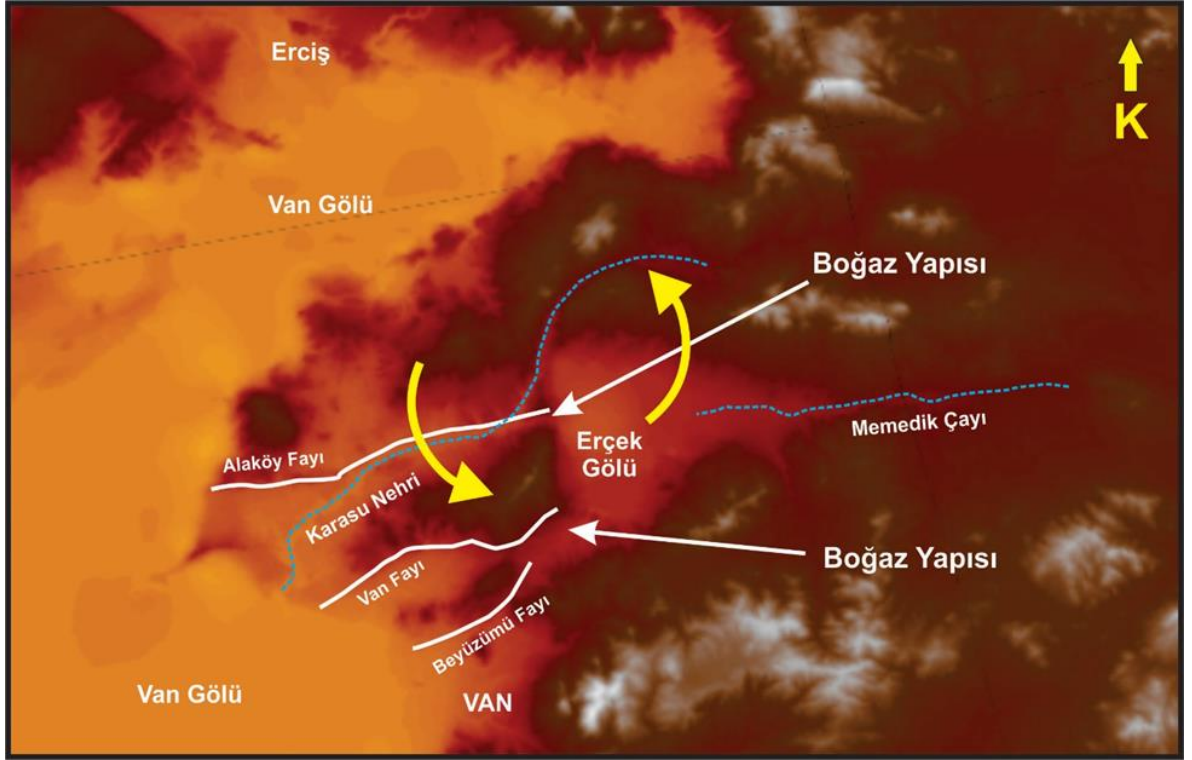


Şekil 5.16. Van Gölü teraslarından kavkı kırıntısı örnekleri alınan GDK22 ve ERM22 lokasyonları (Sağlam ve diğ. 2020) ve tez çalışması kapsamında OSL ve C^{14} yöntemi ile yaş tayini yaptırılan göl akarsu çökellerinin yerleri ve sonuçları (küçük görseller).

Yapılan tüm çalışmalarda elde edilen yaş verilerinden de görüleceği gibi Van Gölü Havzası içerisinde göle ait en eski taraçanın yaşı 117ka'a kadar gerilemektedir. Mevcut göl seviyesine yakın olan tüm taraça ve çökellerden elde edilen yaş verileri ise 10ka ile 30ka arasında değişmektedir. Yüksek kotlara çıkıldığında ise yaş verisi artmaktadır. Ancak Sağlam ve diğ. (2020) de belirtilen ve inceleme alanı içerisinde kalan kesimdeki göl çökellerinden elde edilen 214ka ve 384ka değerleri diğer çökeller ile tutarlı değildir. Üzerinde yaşlandırma yapılan fosilin/kavkının taşınmış olma olasılığı vardır. Yani oluştuğu döneme ait başka bir göl veya akarsu havzasından taşınarak gelmiş olma olasılığı mevcuttur. Her halukarda bu verinin eski Van Gölü çökellerine ait olmadığı kesindir zira gölün yaşı yaklaşık 120ka olarak belirlenmiştir (Kuzucuoğlu ve diğ. 2010).

İnceleme alanı için, bu bölüm kapsamında Van Gölü doğusu ve kuzeydoğusu için sunulan saat yönünün tersine doğru blok hareketlerinin varlığı ve de buna bağlı olarak özellikle ters faylanma ve bindirme düzlemlerinin etkin rol aldığı, modeli destekleyen bir başka veri ise

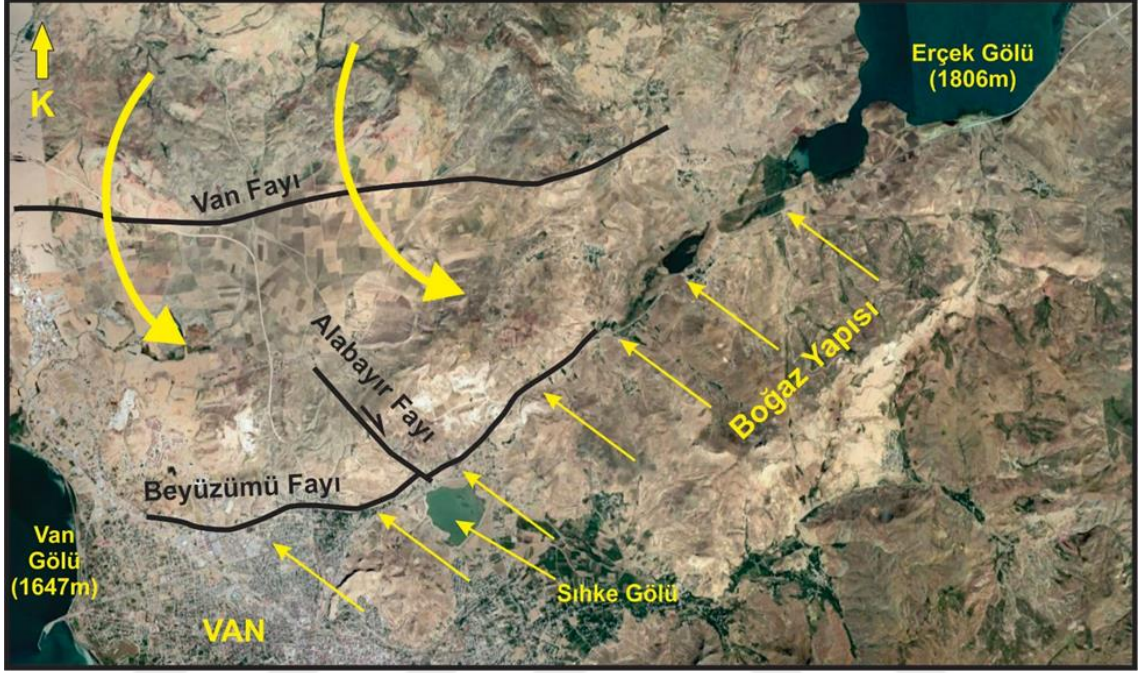
jeomorfolojik verilerdir. Duman ve Çiçek (2011) çalışmalarında Erçek Gölü (Van Gölü doğusu) yakın çevresinin jeomorfolojik özelliklerini belirlemiş ve bölgedeki terasların seviyeleri, özellikleri ve dağılımı hakkında elde ettikleri verileri aktarmışlardır. Bu çalışmaya göre Erçek Gölü doğusunda Memedik Çayı (Büyükçaylak Deresi) vadisinde bulunan teraslar ile gölün batısında kalan Karasu Nehri vadisindeki bazı terasların eşlenik olduğu belirlenmiştir. Çalışmada S3 olarak adlandırılan ve vadi tabanına göre 70 -90 m yüksekliklerinde bulunan bu terasın Şekil 5.17 de verilen kuzeydeki boğaz yapısı yüksekliği ile aynı olması nedeniyle terasın oluşumundan önceki süreçte Memedik Çayı'nın Karasu'ya doğru aktığını, Erçek Gölü'nün henüz oluşmadığını belirtmişlerdir. Çalışmada belirtilen yükselmenin yaşı Geç Pleyistosen olarak verilmiştir (Erol 1979, 1983, Duman ve Çiçek 2011).



Şekil 5.17. Erçek Gölü ve civarında görülen ana süreksizlikler, bağlantılı akarsular ve boğaz yapıları (Emre ve diğ. 2013, Özkaymak 2003, Duman ve Çiçek 2011).

Bölgedeki bir diğer boğaz yapısı ise nispeten daha güneyde olan, Erçek Gölü'nün GB ucu ile Van yerleşimi kuzeyini birleştiren yapıdır. Bu bölge kuzeye eğimli Beyüzümü Fayı ile yine kuzeye eğimli ana fay olan Van Fayı'nın kontrolü altındadır (Şekil 5.18). Bu iki fay arasında yırtılma fayı olarak yaklaşık KB-GD uzanımlı, sağ yönlü doğrultu atımlı Alabayır Fayı'da (Özkaymak, 2003) GD'ya doğru hareketin önemli etkenlerinden biridir. Beyüzümü Fayı

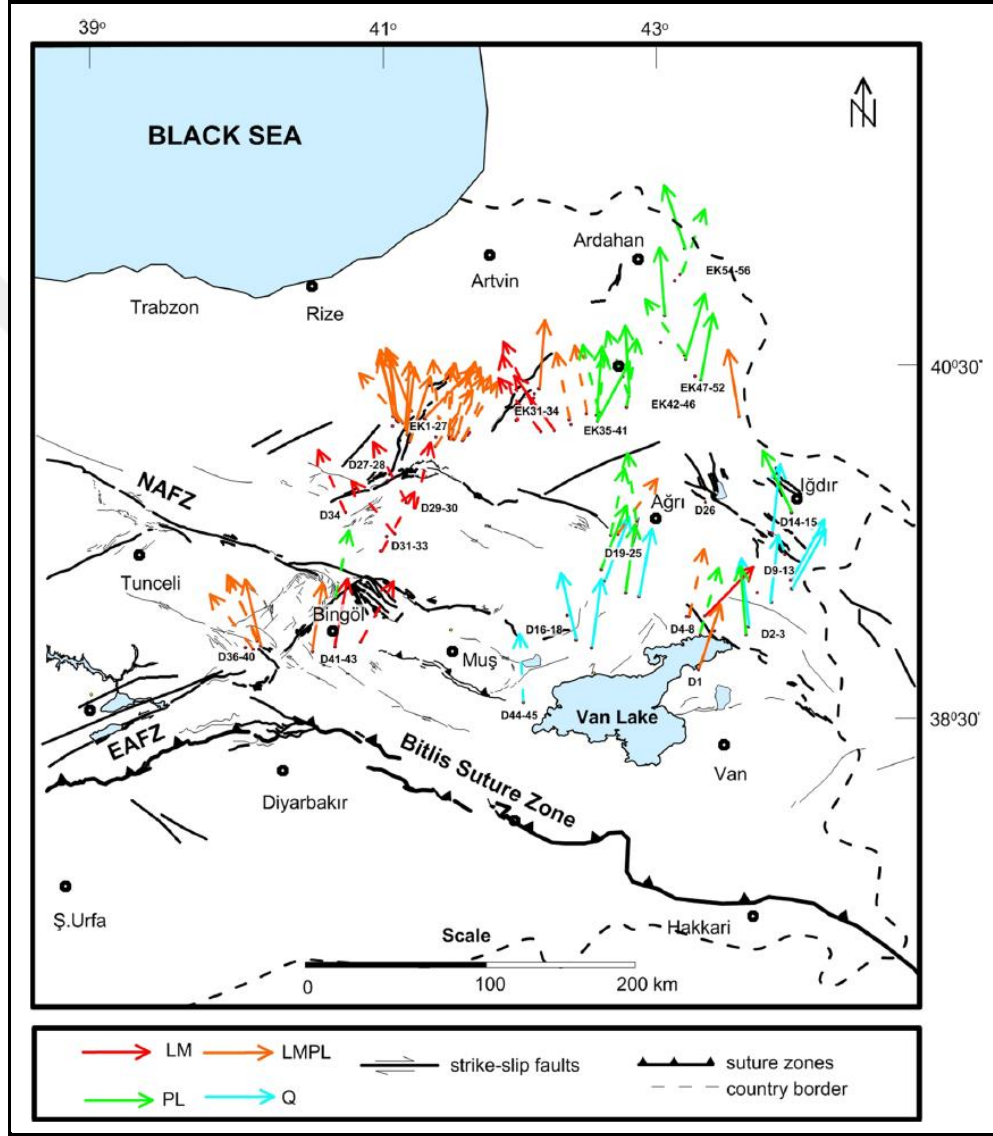
Kuvaterner, olası Pleyistosen yaşlı delta akarsu çökellerini kesmektedir (Özkaymak 2003). Bu durumda bu bölgedeki GD'ya doğru dönen hareketin Pleyistosen içerisinde devam ettiğini söylemek mümkündür.



Şekil 5.18. Erçek Gölü'nün Van Gölü ile olan olası ikinci bağlantı boğazının konumu ve bölge morfolojisini şekillendiren ana ve tali faylar (Emre ve diğ. 2013, Özkaymak 2003).

Hisarlı ve diğ. (2016) çalışmasında Doğu Anadolu Bölgesinde yüzeylenen, Miyosen'den Kuvaterner'e kadar geniş bir yaş aralığını temsil eden volkanik birimlerin paleomanyetizma özellikleri üzerinden Neotektonik dönem deformasyonun gelişimini tartışmışlardır. Çalışma kapsamında 82 adet uygun veri kaynağı üzerinden yapılan değerlendirmede bölgenin, doğrultu atımlı faylar ile sınırlanan, en az beş temel tektonik bloktan oluştuğu belirtilmiştir. Bu bloklardan bir tanesi de Van Bloğu olarak tanımlanmıştır. Çalışmada, Geç Miyosen'den günümüze tektonik rotasyonun bölgede devam ettiği, en büyük rotasyonun Geç Miyosen – Erken Pliyosen ile Pliyosen döneminde gerçekleştiği, Kuvaterner döneminde ise yaklaşık 4 – 5 derece gibi düşük boyutlu bir rotasyonun gerçekleştiği belirtilmiştir (Şekil 5.19). Van Bloğu olarak tanımlanan tektonik bloğun ise Geç Miyosen –Erken Pliyosen döneminden itibaren saat yönünde döndüğü belirtilmiştir. Çalışma kapsamında ölçüm için alınan örneklerden sadece biri Van Gölü doğusunda, Erciş Fayı'nın güney kesiminde kalmaktadır. Bu örnek Erken Pliyosen dönemine ait Timar Bazaltlarından alınmıştır. Tez çalışması içerisinde kalan diğer örnekler ise Girekol Volkanı'nı kateden Erciş Fayı batı kesimi civarında olup 3 tanesi fayın GB bloğunda,

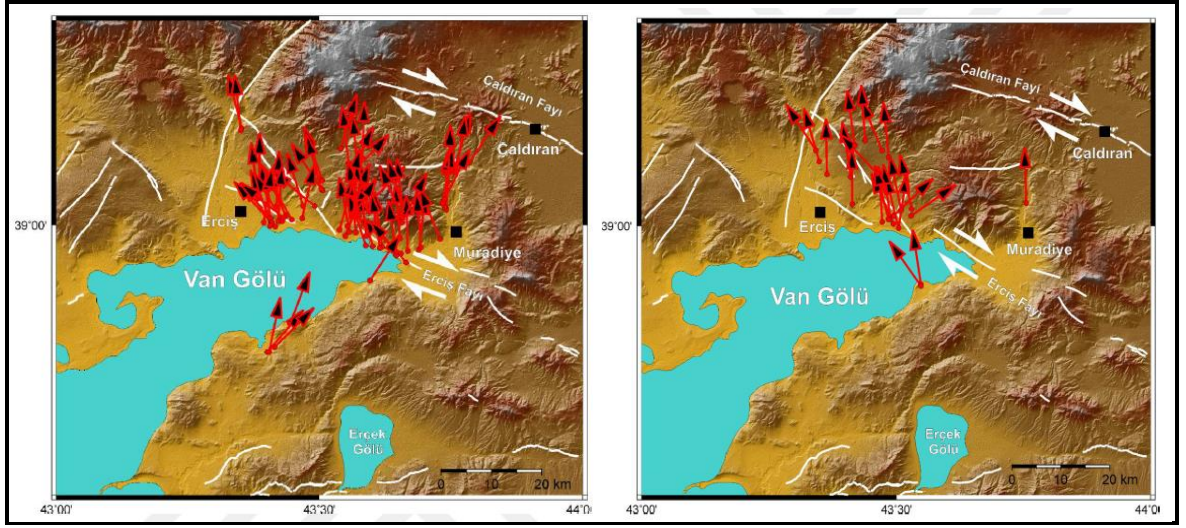
ikisi ise KD bloğunda kalmaktadır. Çalışmada elde edilen sonuçların tez alanı içerisinde kalan kesiminin temsiliyet anlamında yeterli olmadığı düşünülmektedir. Çünkü rotasyonel deformasyonun gözlemlendiği kesim Van Gölü doğusu ve Erciş Fay Zonu'nun güney kesiminde kalmaktadır. Bu nedenle daha fazla ve yerel veriye ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.19. Doğu Anadolu Bölgesi geneli için belirlenen paleomanyetizma yönelimleri. Oklar farklı yaş dönemlerini ve rotasyonu temsil etmektedir. LM: Geç Miyosen, LMPL: Geç Miyosen – Pliyosen, PL: Pliyosen, Q: Kuvaterner (Hisarlı ve diğ. 2016'dan alınmıştır).

Bölgedeki tektonik rotasyonu belirleyen ve tez alanı içerisinde yeralan en önemli paleomanyetizma çalışması Kayın ve İşseven (2018) ve Kayın (2019 – Doktora Tezi) kapsamında sunulmuştur. Çalışmalara göre, bölgede yüzeylenen Geç Pleyistosen dönemi

volkanitleri olan Çolpan, Yüksektepe ve Girekol Bazalt birimlerinden güvenilir mıknatıslanmaya sahip 31 lokasyonun örneği değerlendirilmiştir. Buna göre, kayaçların ortalama mıknatıslanma doğrultularının saat yönünün tersine bir rotasyonu gösterdiği belirtilmiştir. Erken Pliyosen yaşlı volkanik kaya birimlerinden alınan 71 adet uygun paleomanyetik veri değerlendirilmiş ve Erciş Fayı Doğu Segmenti ve batı kesiminin hemen güneyinin saat yönünün tersine yaklaşık 15^0 rotasyon sergilediği belirtilmiştir. Fayın kuzeyinde kalan kesimlerde ise ortalama 1.5^0 'lık yine saat yönünün tersine ve saat yönünde bir rotasyondan bahsedilmektedir (Şekil 5.20).



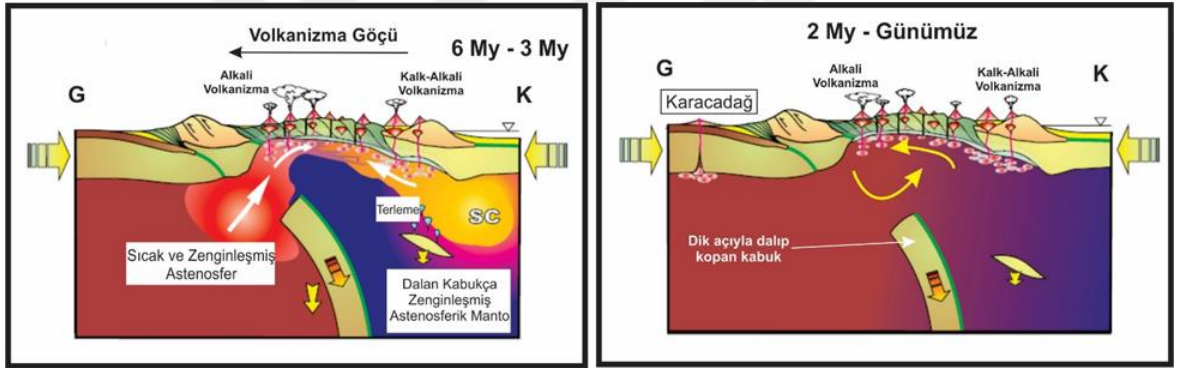
Şekil 5.20. Pliyosen yaşlı noktalar ve ortalama mıknatıslanma doğrultuları (soldaki şekil) ve Pleyistosen yaşlı noktalar ve ortalama mıknatıslanma doğrultuları (sağdaki şekil), Kayın 2019'dan alınmıştır.

Jeodinamik Modelin Olası Nedeni ve Yaşı

Doğu Anadolu'da Orta Miyosen döneminde başlayan çarpışmanın sonrasında (Şengör ve Kidd 1979, Şengör ve Yılmaz 1981) Geç Miyosen dönemine kadar kuzeye doğru dikleşerek dalan kabuğun kırılması neticesinde kuzey ve güneyde yeralan iki farklı astenosferik mantonun birbirine karışması sözkonudur (Keskin 2007) (Şekil 5.21). Litosferik mantonun bu sistem içerisinde kopması ve kabuktan ayrılması Doğu Anadolu Yığılma Kompleksi'nin dışbükey şekilde yükselmesi ve gerilmesine neden olmuş, akabinde gelişen süreksizliklerden yoğunca volkanizma türemiştir (Keskin 2003, 2007). Van Gölü Havzası ve yakın çevresinde Volkanizmanın en yoğun olduğu dönem Erken Pliyosen yani yaklaşık 6My – 3.5My arasındır (Keskin 2007, Lebedev ve diğ. 2010, Oyan ve diğ. 2016). Bu süreçten sonra bölgede bir

suslunluk d6nemi oluşmuş ve akabinde Kuvaterner- Geç Pleyistosen volkanizması gelişmiştir (Oyan ve diğ. 2016).

Telesismik veriler ile de kanıtlanan Doğu Anadolu’da litosferik mantonun bulunmadığı veya çok ince olduğu ve buna bağlı olarak astenosferin daha sığ derinliklere Pliyosen 6ncesi yerleşerek b6lgedeki ısı akısının boyutunu ve y6n6n6 değiştirmesi nedeniyle 6zellikle daha sığ kalınlıklardaki, 6zerinde volkanik 6rt6 bulunmayan yığışım kompleksi içerisinde d6ng6sel / rotasyonel deformasyonun g6zlenmesine neden olduğu d6ř6n6lmektedir (şekil 5.21). Volkanizmanın kuzeyden g6neye doğru g66ne neden olan, kuzeyden gelen astenosferik mantonun ilerlemesi, g6neyde hem sıcak ve zenginleşmiş farklı bir astenosfer ile karşılaşması hem de kalın Bitlis P6t6rge Litosferik mantosuna çarpması nedeniyle y6n değiştirdiği ve geri d6n6ř yaptığı d6ř6n6lmektedir. Bu d6nme hareketlerinin sığ derinliklerde gerçekleşmesi nedeniyle de kabukta d6ng6sel (rotasyonel) deformasyonların gerçekleştiği d6ř6n6lmektedir.



şekil 5.21. Doğu Anadolu B6lgesi kabuk yapısı modeli, 6 My’ dan g6n6m6ze gelişen astenosferik manto hareketleri ve oluşan yapılar, SC: Dalan kabuğ içerikli astenosferik manto (Keskin 2007).

İnceleme alanı içerisinde g6zlenen 6st Pleyistosen yaşlı volkanik 6r6nlerin hepsi alkali volkanizmayı temsil etmekte olup direkt manto k6kenlidir (Oyan ve diğ. 2017). Bu durum litosferik mantonun yokluğunu ya da çok ince olduğunu kanıtladığı gibi b6lgedeki ısı değişimlerinin devam etmesine de neden olmaktadır. Kabuk altındaki ısı değişimlerinin y6zey deformasyonlarını hızlandırdığı ve b6lgedeki bu d6ng6sel deformasyonun diğer morfolojik ve tektonik veriler ile birlikte değerlendirildiğinde Geç Pliyosen - Geç Pleyistosen aralığında başlamış olduğu ve devam ettiği d6ř6n6lmektedir.

KAYNAKLAR

- Acarlar, M., Bilgin, Z.A., Erkal, T., Güner, E., Şen, A.M., Umut, M., Elibol, E., Gedik, İ., Hakyemez, Y., Uğuz, M.F., 1991, Van Gölü Doğu ve Kuzeyinin Jeolojisi. MTA Raporu No: 9469 (basılmamış).
- Adıyaman, O., Chorowicz J, Köse, O., 1998, Relationships between volcanic patterns and neotectonics in Eastern Anatolia from analysis of satellite images and DEM. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85. 17–32.
- Akıncı, A., and Antonioli, A., 2012, Observations and stochastic modelling of strong ground motions for the 2011 October 23 Mw 7.1 Van, Turkey, earthquake. *Geophysical Journal International*, Volume 192, Issue 3, March 2013, 1217–1239.
- Akın, M., Özvan, A., Akın, M.K., Topal, T., 2013, Evaluation of liquefaction in Karasu River floodplain after the October 23, 2011, Van (Turkey) earthquake. *Nat Hazards*, 69: 1551-1575.
- Akkaya, İ., Özvan, A., Tapan, M., Şengül, M.A., 2015, Determining the site effects of 23 October 2011 earthquake (Van province, Turkey) on the rural areas using HVSr microtremor method. *Journal of Earth System Science*, Volume 124, [Issue 7](#), 1429-1443.
- Akköprü, E., Şengül, M.A., Güray, E., 2013, The Earthquake of Van on 23 October 2011 and Its Geomorphological Effects, *8th IAG International Conference on Geomorphology*, Paris, France. Abstract Book, 214.
- Aksoy, E., 1991, Van şehri doğu-kuzeydoğu yöresinin stratigrafisi. *Ahmet Acar Jeoloji Sempozyumu*, Çukurova Üniversitesi, Adana. Bildiriler, p.1-10.
- Akyüz, S., Zabcı, C., Sancar, T., 2011, 23 Ekim 2011 *Preliminary Reports on Van Earthquake*. Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey.
- Altınır, Y., Sohne, W., Guney, C., Perlt, J., Wang, R., Muzli, M., 2013, A geodetic study of the 23 October 2011 Van, Turkey earthquake, *Tectonophysics*, 588, 118-134.
- Ambraseys, N.N. and Finkel, C.F., 1995, *The seismicity of Turkey and adjacent Areas: A historical review, 1500–1800*. Istanbul, Eren publishing and booktrade.
- Ambraseys, N.N., Finkel, C.F., 2006, *Turkey and Neighboring Seismic Activities in an Area Historical Review (1500-1800)*. TUBITAK Academic Array, p. 252s.
- Angelier, J., 1990, Inversion of field data in fault tectonics to obtain the regional stress. A new rapid direct inversion method by analytical means. *Geophysical Journal of International*, 103 (2), 363–376.
- Angelier, J., 1994, Fault slip analysis and Paleostress reconstruction. In: *Hancock, P.L. (Ed.), Continental Deformation*, Pergamon Press, Oxford.

- Angus, D.A., Wilson, D.C., Sandvol, E., Ni, J.F., 2006, Lithospheric structure of the Arabian and Eurasian collision zone in Eastern Turkey from S-wave receiver functions. *Geophysical Journal of International*, 166 (3), 1335-1346.
- Arpat, E., Şaroğlu, F., İz, H.B., 1977, 1976 Çaldıran depremi: *Yeryuvarı ve İnsan*, 2/1, p. 29-41.
- Aydan, Ö., Ulusay, R., Kumsar, H., Konagai, K., 2012, Site investigation and engineering evaluation of the Van Earthquakes of October 23 and November 9, 2011. *Japan Society of Civil Engineers*, Technical Report, 143 p.
- Balkaş, Ö., Serdar, S.H., Erakman, B., Güngör, A., Pasin, C., Aksu, R., İşbilir, M., 1980, *Başkale-Gürpınar-Çatak-Van Alanının Jeolojisi ve Petrol Olanakları*, T.P.A.O. Arama Grubu, Raporu, No: 1455, (yayımlanmamış) Ankara.
- Barazangi, M., Sandvol, E., Seber, D., 2006, Structure and tectonic evolution of the Anatolian plateau in eastern Turkey. *GSA Special Paper.*, (409): 463–474.
- Barka A.A., 1992, The North Anatolian Fault Zone, *Annales Tecton.*, 6 p. 164–195.
- Barka, A., Reilinger, R., 1997, Active tectonics of the Eastern Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic and seismicity data. *Annali di Geofisica*, XL 3.
- Bayrak, Y., Yadav, R.B.S., Kalafat, D., Tsapanos, T.M., Cinar, H., Singh, A.P., Bayrak, E., Yilmaz, S., Ocal, F., Koravos, G., 2013, Seismogenesis and earthquake triggering during the Van (Turkey) 2011 seismic sequence. *Tectonophysics*, 601, 163–176.
- Bozkurt, E., 2001, Neotectonics of Turkey—a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14, 3–30.
- Copley, A., Jackson, J., 2006, Active tectonics of the Turkish-Iranian plateau. *Tectonics*, 25, 1–19.
- Çeken, U., Kuru, T., Apak, A., Kökbudak, D., Tepeuğur, E., Albayrak, H., Özşaraç, V., Sezer, S., Şahin, C., 2011, *23 Ekim 2011 Van Depremlerinin Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtlarının Değerlendirilmesi*, AFAD, Ankara.
- Çukur, D., Krastel, S., Tomonaga, Y., Çağatay, M.N., Meydan, A.F., 2013a, Seismic evidence of shallow gas from Lake Van, eastern Turkey, *Marine and Petroleum Geology*, 48, 341–353.
- Çukur, D., Krastel, S., Demirel-Schlüter, F., Demirbağ, E., Imren, C., Niessen, F., Toker, M., 2013b, Sedimentary evolution of Lake Van (Eastern Turkey) reconstructed from high-resolution seismic investigations. *International Journal of Earth Science*, v.102, p. 571–585.
- Demirtaşlı, E., Pisoni, C., 1965, Ahlat–Adilcevaz bölgesinin jeolojisi (Van Gölü Kuzeyi). *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi*, vol. 64, pp. 22–36.

- Degens, E.T., Wong, H.K., Kempe, S., Kurtman, F., 1984, A geological study of Lake Van, Eastern Turkey. *Geologische Rundschau*, 73, 701–734.
- Delvaux, D. and Sperner, B., 2003, Stress tensor inversion from fault kinematic indicators and focal mechanism data: the TENSOR program. In: New Insights into Structural Interpretation and Modelling (D. Nieuwland Ed.). *Geological Society of London, Special Publication*, 212: 75-100.
- Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Şaroğlu, F. and Şengör, A.M.C. 1986, Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia - a young collision zone, in Collision Tectonics, edited by M. P. Coward and A. C. Ries; *Geological Society of London Special Publication*, 19, 3–36.
- Dhont, D. and Chorowicz, J., 2006, Review of the neotectonics of the Eastern Turkish-Armanian Plateau by geomorphic analysis of digital elevation model imagery; *Int. J. Earth Sci. (Geol Rundsch)*, 95 34–49.
- Di Sarno, L., Yenidoğan, C., Erdik, M., 2013, Field evidence and numerical investigation of the Mw = 7.1 October 23 Van, Tabanlı and the Mw > 5.7 November earthquakes of 2011. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 11, 313–346.
- Djamour, Y., Vernant, P., Nankali, H.R., Tavakoli, F., 2011, NW Iran-Eastern Turkey present day kinematics: results from the Iranian permanent GPS network. *Earth Planet Science Letters*, 307, 27–34.
- Doğan, B., Karakaş, A., 2013, Geometry of co-seismic surface ruptures and tectonic meaning of the 23 October 2011 Mw 7.1 Van earthquake (East Anatolian Region, Turkey). *Journal of Structural Geology*, 46, 99-114.
- Doğan, U., Çakır, Z., Özener, H., Aktuğ. B., Demir, D., Çetin, S., Özdemir, A., Tüzer, M., Üsküplü S., 2016, 23 Ekim 2011 (Mw=7.2) Van Depreminin Deprem Anı ve Sonrası Oluşan Kabuk Deformasyonlarının GPS ve INSAR Yöntemleriyle Araştırılması, *TÜBİTAK 1001 Projesi*, 112Y109, İstanbul, 116 s.
- Duman, N., ve Çiçek, İ., 2011, Erçek Gölü Yakın Çevresinin Jeomorfolojik Özellikleri, *e-Journal of New World Sciences Academy*, Volume: 6 Number:4 , s 169-188.
- Elliott, J.R., Copley, C., Holley, R., Scharer, K., Parsons, B., 2013, The 2011 Mw 7.1 Van (Eastern Turkey) *Earthquake. J. Geophysical Research*, Solid Earth 118, 1619–1637.
- Elmas, A., 1994, An example of the active continental margin volcanism in the Late Lutetian–Late Oligocene interval in southeast Anatolia: Gövelek volcanics (Van-Erçek), *Turkish Journal of Earth Science*, v.3, 43–54.
- Elmas, A., Yilmaz, Y., 2003, Development of an Oblique Subduction Zone – Tectonic Evolution of the Tethys Suture Zone in Southeast Turkey, *International Geology Review*, Vol 45, 827-840.

- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., 2011, 23 Ekim 2011 Van Depremi Saha Gözlemleri ve Kaynak Fayı ile İlgili Değerlendirmeler, *MTA Genel Müdürlüğü*, Ankara, Türkiye.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Olgun, Ş., Elmacı, H., 2012, 1:250000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, *Van (NJ38-5) Paftası*, Seri No:52, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., and Şaroğlu, F., 2013, Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası Ölçek 1/1.125.000: *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30*, Ankara, Türkiye. ISBN: 978-605- 5310-56-1.
- Erdem, N.P., ve Lahn, E., 2001, Türkiye Depremleri İzahlı Kataloğu, *Yıldız Teknik Üniversitesi Vakfı Yayınları*, Yayın No: IN-KT-2001.007, İstanbul.
- Erdik, M., Kamer, Y., Demircioğlu, M., Şeşetyan, K., 2012, 23 October 2011 Van (Turkey) Earthquake, *Nat Hazards*, 64: 65-665.
- Ergin, K., Güçlü, U., Uz, Z., 1967, Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu (MS. 11-1964). *İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü yayınları*, No 28, İstanbul.
- Erol, O., 1979, Türkiye'de Neojen ve Kuvaterner aşınım dönemleri, ve bu dönemlerin aşınım yüzeylerinin yaşıt tortullara göre belirlenmesi. *Jeomorfoloji Dergisi*, Sayı:8, s.1–40.
- Erol, O., 1983, Türkiye'nin Genç Tektonik ve Jeomorfolojik Gelişimi. *Jeomorfoloji Dergisi*, Sayı:11, 1 - 22.
- Ertürk, İ., Uğur, H., Ekici, S., Akyurtlu, Ş., 2000, Doğu Anadolu Jeotermal Arama Projesi, *Van-Erciş (Zilan Vadisi) Jeotermal Sahası Sondaj Raporu*, MTA, yayımlanmamış.
- Eyidoğan, H., Güçlü, U., Utku, Z., Değirmenci, E., 1991, *Türkiye Büyük Depremleri Makrosismik Rehberi (1900-1988)*, İstanbul Teknik Üni. Maden Fak. Jeofizik Müh. Bölümü, İstanbul 199 sayfa.
- Feng, W., Li, Z., Hoey, T., Zhang, Y., Wang, R., Samsonov, S., Li, Y. ve Xu, Z. 2014, Patterns and mechanisms of coseismic and postseismic slips of the 2011 Mw 7.1 Van (Turkey) earthquake revealed by multi-platform synthetic aperture radar interferometry, *Tectonophysics*, 632, 188–198.
- Fielding, E., Lundgren, P., Taymaz, T., Yolsal-Çevikbilen, S., Owen, S., 2013, Fault-slip source models for the 2011 M 7.1 Van earthquake in Turkey from SAR interferometry, pixel offset tracking, GPS, and seismic waveform analysis. *Seismological Research Letters*, 84, 579–593.
- Fossen, H., 2010, *Structural Geology*, Cambridge University Press, 480 pages, ISBN 978 0 521 51664 8.

- Gök, R., Pasyanos, M.E., Zor, E., 2007, Lithospheric structure of the continent-continent collision zone: eastern Turkey, *Geophysics Journal of International*, 169, p. 1079-1088.
- Göncüoğlu, M.C., Turhan, N., 1984, Geology of the Bitlis metamorphic belt. In: Tekeli, O., ve Göncüoğlu, M.C., (eds), *International Symposium on the Geology of Taurus Belt. Proceedings*, 237-244.
- Görür, N., Çağatay, N.M., Zabcı, C., Sakıncı, M., Akkök, R., Şile, H., Örcen, S., 2015, Van Gölü'nün Geç Kuvaterner Tektonostratigrafik Evrimi, *MTA Dergisi*, 151, 1-47.
- Güner, Y., 1984, Nemrut yanardağının jeolojisi, jeomorfolojisi ve volkanizmanın evrimi. *Jeomorfoloji Dergisi*, (12): 23-65.
- Horasan, G., and Boztepe-Güney, A., 2007, Observation and analysis of low frequency crustal earthquakes in Lake Van and its vicinity, Eastern Turkey. *Journal of Seismology*, 11-1, 1-13.
- Hisarlı, Z.M., Çinku, M.C., Ustaömer, T., Keskin, M., Orbay, N., 2016, Neotectonic deformation in the Eurasia-Arabia collision zone, the East Anatolian Plateau, E Turkey: evidence from palaeomagnetic study of Neogene-Quaternary volcanic rocks. *Int. Journal of Earth Science (Geol. Rundschau)* 105: 139-165.
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Redicat de Drozolo Villari, L., 1976, Evolution of the volcanism in the area of interaction between the Arabian, Anatolian and Iranian plates (Lake Van, Eastern Turkey). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1, 103-112.
- JMO, 2011, 23 Ekim 2011 Van Depremleri Raporu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, (www.jmo.org.tr/resimler/ekler/1a0aa3add71a744_ek.pdf).
- Kalafat, D., Güneş, Y., Kekovalı, K., Kara, M., Deniz, P., Yılmaz M, 2011, *Bütünleştirilmiş Homojen Türkiye Deprem Kataloğu 1900 – 2010 ($M \geq 4.0$)*. Boğaziçi Üni. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Bebek-İstanbul, 553 s.
- Karakhanian, A.S., Trifonov, V.G., Philip, H., Avagyan, A., Hessami, K., Jamali, F., Bayraktutan, M.S., Bagdassarian, H., Arakelian, S., Davtian, V., Adilkhanyan, A., 2004, Active faulting and natural hazards in Armenia, eastern Turkey and northwestern Iran. *Tectonophysics*, 380, 189-219.
- Karamenderesi, İ.H., Can, A.R., Coşkun, B., Güner, A., Çağlav, F., Polat, Z., Tarakcıoğlu, Z., Yıldırım, T., 1984, Zilan Deresi (Van-Erciş) Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları, *MTA Genel Müdürlüğü, Rapor No: 7793*, Ankara.
- Kayın, S., ve İşseven, T., 2018, Van Gölü Kuzeyindeki Pliyosen Volkaniklerinin Paleomanyetizması. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, C29, S.1, 11-29.

- Kayın, S., 2019, Van Gölü Civarının (Doğu Anadolu) Tektonik Gelişiminin ve Deformasyonunun Paleomanyetik Çalışmalar ile İncelenmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, s.210.
- Keskin, M., 2003, Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction-accretion complex: An alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Geophysical Research Letter*, 30, (24): 8046-8050.
- Keskin, M., 2007, Eastern Anatolia: A hot spot in a collision zone without a mantle plume. *GSA Special Paper*, 430, 695-722.
- Ketin, İ., 1977, Van Gölü ile İran Sınırı arasındaki bölgede yapılan Jeoloji Gözlemlerinin Sonuçları Hakkında Kısa Bir Açıklama. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 20, 79–85.
- Kikuchi, M., and Kanamori, H., 1991, Inversion of complex body waves – III. *Bull. Seis. Soc. Am.*, 81. 2335-2350.
- Koçyiğit A., Yılmaz A, Adamia S, Kulashvili S 2001, Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: Implication for transition from thrusting to strike-slip faulting; *Geodinamica Acta*, 14 177-195.
- Koçyiğit, A., Deveci, Ş., Kaplan, M., 2011, Van Depremleri Raporu, 23 Ekim- 30 Kasım 2011. Ortadoğu Teknik Üniversitesi, *Aktif Tektonik ve Deprem Araştırma Lab. Yayını*, 22 s.
- Koçyiğit, A., 2013, New field and seismic data about the intraplate strike-slip deformation in Van region, East Anatolian plateau, E. Turkey; *Journal of Asian Earth Sciences*, 62 586–605.
- Kuzucuoğlu, C., Christol, A., Muralis, D., Doğu, A.F., Akköprü, E., Fort, M., Brunstein, D., Zorer, H., Fontugne, M., Karabıyıkoglu, M., 2010, Formation of the upper Pleistocene terraces of Lake Van (Turkey). *Journal of Quaternary Sci.*, 25 (7), 1124–1137.
- Lahn, E., 1946, Note on Van zone ground shaking (July-December 1945). *MTA Journal*, 1/ 35, 126–132.
- Lebedev, V, A., Sharkov, E.V., Keskin, M., Oyan, V., 2010, Geochronology of Late Cenozoic Volcanism in the Area of Lake Van, Turkey: An example of developmental Dynamics for magmatic processes. *Doklady Earth Science*, (433): 1031-1037.
- Lei, J., Zhao, D., 2007, Teleseismic evidence for a break off subducting slab under Eastern Turkey. *Earth and Planetary science letters*, 257, 14-28.
- Litt, T., Krastel, S., Sturm, M., Kipfer, R., Oercen, S., Heumann, G., Franz, S. O., Ulgen, U. B., Niessen, F. 2009, 'PALEOVAN', International Continental Scientific Drilling Program (ICDP): site survey results and perspectives. *Quaternary Science Reviews*, 28, 1555-1567.

- MTA, 2002, *Türkiye Jeoloji Haritaları, Van Paftası*. 1/500000 Ölçekli MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- MTA, 2008, *Van-K 50 Paftası Jeoloji Haritası*, Ölçek: 1/100.000, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Mouralis D., Kuzucuoglu, C., Scaillet, S., Dogu, A-F., Christol, A., Akkopru, E., Fontugne, M., Zorer, H., Guillou, H. 2010, Les pyroclastites du sud-ouest du lac de Van (Anatolie orientale, Turquie): implications sur la paleo-hydrographie regionale. *Quaternaire*, 21, 417-433.
- Okuldaş, C., Üner, S., 2013, Alaköy Fayı'nın Jeomorfolojik Özellikleri ve Tektonik Etkinliği (Van Gölü Havzası – Doğu Anadolu) *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 34-3, 161-176.
- Oyan, V., 2011, Etrüsk Volkanı ve Çevresinin (Van Gölü Kuzeyi) Volkanostratigrafisi, Petrolojisi ve Magmatik Evrimi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Doktora Tezi*, 375.
- Oyan, V., Keskin, M., Lebedev, V.A., Chugaev, A.V., Sharkov, E.V., Unal, E., 2017, Petrology and Geochemistry of the Quaternary Mafic Volcanism to the NE of Lake Van, Eastern Anatolia Collision Zone, Turkey. *Journal of Petrology*, Vol.58, No.9, p 1701- 1728.
- Oyan, V., Keskin, M., Lebedev, V.A., Chugaev, A.V., Sharkov, E.V., 2016, Magmatic evolution of the Early Pliocene Etrüsk stratovolcano, Eastern Anatolia collision zone, Turkey. *Lithos*, (256-257): 88-108.
- Özkaymak, Ç., 2003, Van Şehri Yakın Çevresinin Aktif Tektonik Özellikleri, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, 76.
- Özkaymak, Ç., Yürür, T., Köse, O., 2004, An example of intercontinental active collisional tectonics in the Eastern Mediterranean region (Van, Eastern Turkey). *Fifth International Symposium on Eastern Mediterranean Geology (5th ISEMG)*, 153-156. Thessaloniki, Greece.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Bozkurt, E., Dirik, K., Topal, T., Alan, H., Çağlan, D., 2011, 23 Ekim 2011 Tabanlı-Van Depreminin Sismik Jeomorfolojisi ve Doğu Anadolu'daki Aktif Tektonik Yapılarla Olan İlişkisi; *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 35-2, 175-200.
- Özvan, A., Şengül, M.A., Tapan, M., 2008, Van Gölü Havzası Neojen Çökellerinin Jeoteknik Özelliklerine Bir Bakış: Erciş Yerleşkesi. *Ç.Ü. Yerbilimleri Dergisi (Geosound)*, sayı: 52, 297-310.
- Perinçek, D., 1978a, Güneydoğu Anadolu otokton ve allohton birimler jeoloji sembolleri; *TPAO Arama Grubu, Arşiv No: 6657*.
- Pınar, A., Honkura, Y., Kuge, K., Matsushima, M., Sezgin, N., Yılmaz, M., Ögütçü, Z., 2007, Source mechanism of the 2000 November 15 Lake Van earthquake ($M_w = 5.6$) in Eastern

Turkey and its seismotectonic implications. *Geophysical Journal International*, 170-2, 749-763.

- Poyraz, S.A., Şengül, M.A. ve Pınar, A. 2011, 23 Ekim 2011 Van-Tabanlı Depremi Kaynak Mekanizması ve Sismotektonik Yorumu. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 24-2, 129-139.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Çakmak, R., Özener, 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., Dmitrova, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., and Karam. G., 2006, GPS constraints on continental deformation in the Africa–Arabia–Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research*, 111.
- Sağlam, A.S., 2016, Evaluation of the relative tectonic activity in the eastern Lake Van basin, East Turkey, *Geomorphology*, 270, 9-21.
- Sağlam, A.S., Erturaç, K., Sunal, G., Çakır, Z., Akköprü, E., Düzgün, M., 2016, Van Gölü Havzasının Kinematik Özellikleri, *TÜBİTAK Projesi 3001*, Proje No: 114Y274, Ankara, 102.
- Sağlam, A.S., Erturaç, K., Sunal, G., Çakır, Z., 2020, Evaluation of the Plio-Quaternary tectonic stress regime from fault kinematic analysis in the lake Van Basin (Eastern Anatolia), *Journal of Structural Geology*, Volume 140.
- Selçuk, L., Sağlam, A.S., Beyaz, T., 2010, Probabilistic seismic hazard assessment for Lake Van basin, Turkey, *Nat Hazards*, 54, 949–965.
- Selçuk, L., Aydın, H., Sağlam, A.S., Erturaç, K., 2013, The Role of Soil Behavior on Structural Damages During 2011Van (Turkey) Earthquakes, *International Journal of Geological Sciences (JGES)*, Volume 1, 56-62.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D., Altınok, Y., 1981, Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu (2100 B.C.–1900 A.D.). *TÜBİTAK raporu*, No. TBAG-341.
- Şaroğlu, F., Güner, Y., 1981, Doğu Anadolu'nun jeomorfolojik gelişimine etki eden öğeler: jeomorfoloji, tektonik, volkanizma ilişkileri. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 24, 39–50.
- Şaroğlu, F., 1985, Doğu Anadolu'nun Neotektonik Dönemde Jeolojik ve Yapısal Evrimi: İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, *Doktora Tezi* yayımlanmamış, 240 s.
- Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., 1986, Doğu Anadolu'da Neotektonik Dönemdeki Jeolojik Evrim ve Havza Modelleri; *MTA Bülteni*, 107 s. 73–94.
- Şaroğlu, F., Emre, O., Boray, A., 1987, Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri. Maden Tetkik Arama Enstitüsü (MTA); *Teknik Rapor*, No. 8174.

- Şenel, M., Acarlar, M., Çakmakoglu, A., Erkanol, D., Taşkiran, M.A., Ulu, Ü., Ünal, M.F., Örcen, S., Yıldırım, H., Dağ, Z., 1984. Özalp (VAN) İran Sınırı Arasındaki Alanın Jeolojisi. *MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Dairesi Raporu* (yayımlanmamış), No 663, Ankara.
- Şengör, A.M.C. and Kidd W.S.F., 1979, Post-collisional tectonics of the Turkish – Iranian plateau and a comparison with Tibet; *Tectonophysics*, 55 361-376.
- Şengör, A.M.C. and Yılmaz, Y. 1981, Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach; *Tectonophysics*, 75 181-241.
- Şengör, A.M.C., Görür, N. and Şaroğlu, F., 1985, Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, in Strike-slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation, edited by K. T. Biddle and N. Christie-Blick; *Soc. Econ. Paleont. Mineral. Tulsa, Sp. Publ.*, 37 227–264.
- Şengör, A.M.C., Özeren, S., Zor, E., Genç, T., 2003, East Anatolian high plateau as a mantle-supported, N-S shortened domal structure. *Geophysical Research Letter*, 30-24, 8043-8045.
- Şengör, A.M.C., Özeren, S., Keskin, M., Sakıncı, M., Özbakır, A.D., ve Kaya, I., 2008, Eastern Turkish high-plateau as a small Turkish type orogen: Implications for post-collisional crust-forming processes in Turkic type orogens, *Earth sciences Reviews*, (90): 1-48.
- Şengül, M.A., Poyraz, S., Özvan, A., Tapan, M., Kalafat, D., 2010, 25 Ocak 2005 Hakkari-Sütlüce Depremi Fay Mekanizması Çözümleri ve Yer-Yapı İlişkisi Özellikleri. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, Cilt: 23, Sayı: 1, 9-18.
- Şengül, M.A., Koral, H., 2011, Küçük Deprem, Büyük Hasar, Yer: Doğu Anadolu. *ATAG 15. Çalıştayı*, Adana, 19-22 Ekim. *Bildiri Özleri Kitabı*, 63.
- Şengül, M.A., Koral, H., Altuncu, S., 2012, 9 Kasım 2011 Van Depremi Olası Kaynak Fayı ve Etkileri; *ATAG 16. Çalıştayı*, İstanbul, 18-19 Ekim. *Bildiri Özleri Kitabı*, 38.
- Şengül, M.A., Gürboğa, S., Akkaya, İ., Özvan, A., 2019, Deformation patterns in the Van region (Eastern Turkey) and their significance for the tectonic framework. *Geologica Carpathica*, 70, 3, p.193-208.
- Tama, Y.S., Solak, A., Çetinkaya, N., Sen, G., Yılmaz, S., Kaplan, H., 2013, Damages to unreinforced masonry buildings by the Van earthquakes of 23 October and 9 November 2011, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 329–337.
- Tan, O., Tapırdamaz, M.C., Yörük, A., 2008, The Earthquakes Catalogues for Turkey; *Turkish Journal of Earth Science*, 17, 405–418.
- Tapan, M., Özvan, A., Şengül, M. A., 2005, 2 Temmuz 2004 Doğubayazıt Depremi Yer & Yapı İlişkisi ve Yaşanan Kayıplar. *Deprem Sempozyumu*, 23-25 Mart, 2005, Kocaeli.

- Ternek, Z. 1953, Geological study of southeastern region of Lake Van. *Geological Society of Turkey Bulletin*, v. 4, no. 2, 1-32.
- Toker, M., 2006, Van segmenti mikrodprem potansiyelini kontrol eden neotektonik unsurlar. *ATAG-10 Aktif Tektonik Araştırma Grubu Toplantısı*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, *Bildiri Özleri Kitabı*, Buca, İzmir, vol. 10, 91–92.
- Toker, M., Şengör, A.M.C., Demirel Schluter, F., Demirbağ, E., Çukur, D., İmren, C., Niessen, F., PaleoVan-Working Group, 2017, The structural elements and tectonics of the Lake Van basin (Eastern Anatolia) from multi-channel seismic reflection profiles. *Journal of African Earth Science*. 129, 165–178.
- Utkucu, M., Budakoğlu, E., Yalçın, H., Durmuş, H., Kalkan, H., Gülen, L., 2011, 23 Ekim 2011 Van Depremi (Mw=7.2) Hakkında Ön Rapor. Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 10 s.
- Utkucu, M., 2013, 23 October 2011 Van, Eastern Anatolia, earthquake (Mw 7.1) and seismotectonics of Lake Van area. *Journal of Seismology*, 12, 783-805.
- Utkucu, M., Durmuş, H., Yalçın, H., Budakoğlu, E., Işık, E., 2013, Coulomb static stress changes before and after the 23 October 2011 Van, Eastern Turkey, earthquake (Mw=7.1): implications for the earthquake hazard mitigation. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 13, 1–14.
- Utkucu, M., Budakoğlu, E., Yalçın, H., Durmuş, H., Gülen, L., Işık, E., 2014, 23 Ekim 2011 Van (Doğu Anadolu) Depremi'nin (Mw=7.1) Sismotektonik Özellikleri, *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 35-2, 87-108.
- Üner, S., Yeşilova, Ç., Yakupoğlu, T., Üner, T., 2010, Pekişmemiş sedimanlarda depremlerle oluşan deformasyon yapıları (sismitler): Van Gölü Havzası, Doğu Anadolu; *Yerbilimleri* 31/1, 53-66.
- Üner, S., Özsayın, E., Sağlam Selçuk, A., 2019, Seismites as an indicator for determination of earthquake recurrence interval: a case study from Ercis, Fault (Eastern Anatolia-Turkey). *Tectonophysics* 766, 167–178.
- Üner, S., 2019, The effect of tectonism on deltaic wetland migration: A case study from Bendimahı River Delta System (Lake Van-Eastern Turkey), *Journal of Great Lakes Research*, 45, 864-871.
- Yeşilova, Ç., Yakupoğlu, T., 2007, Adilcevaz Kireçtaşının (Van Gölü kuzeyi) Mikrofasiyes özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 50, 27-39.
- Yılmaz, Y., Dilek, Y., Işık, H., 1981, Gevaş (Van) ofiyolitinin jeolojisi ve sinkinematik bir makaslama zonu. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni* 24, 37–44.
- Yılmaz, Y., Şaroğlu, F., Güner, Y., 1987, Initiation of the neomagmatism in East Anatolia. *Tectonophysics*, 137, 177-199.

- Yılmaz, Y., 1990, Comparison of Young Volcanic Associations of Western and Eastern Anatolia Formed Under a Compressional Regime: A Review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, 69-87.
- Yılmaz, Y., Güner, Y., Şaroğlu, F., 1998, Geology of the quaternary volcanic centers of the East Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 173–210.
- YTÜ, 2011, 23 Ekim 2011 Van Depremi Ön İnceleme Raporu, Yıldız Teknik Üniversitesi, (www.yildiz.edu.tr/~deguney/ytu-van-deprem-rapor.pdf). Son Erişim: 23 Aralık 2011.
- AFAD, Deprem Dairesi Başkanlığı, 2021, *Deprem Katalogları*, <https://deprem.afad.gov.tr/depremkatalogu> (Ziyaret Tarihi: Nisan 2021)
- AFAD, Deprem Dairesi Başkanlığı, 2021, *Fay Mekanizması Çözümleri*, <https://deprem.afad.gov.tr/faycozumleri> (Ziyaret Tarihi: Nisan 2021)
- KRDAE, 2021, *Deprem Katalogları*, <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/> (Ziyaret Tarihi: Nisan 2021)
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2021, *Yıllık Yağış Verileri*, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=undefined&m=VAN> (Ziyaret Tarihi: Ocak 2021)
- Türkiye İstatistik Kurumu, 2021, *Nüfus Bilgileri*, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2020> (Ziyaret Tarihi: Ocak 2021)

EKLER

EK-1. İnceleme Alanının 1/25.000 Ölçekli Jeoloji Haritası ve Jeolojik Enine Kesitleri

EK-2. Eklem Ölçümleri Listesi

