



## **Van Gölü Havzasının Kinematik Özellikleri**

**Program Kodu: 3001**

**Proje No: 114Y274**

Proje Yürütücüsü:  
**Yrd.Doç Dr. Azad SAĞLAM SELÇUK**

Araştırmacı:

Yrd.Doç.Dr. M. Korhan Erturaç

Danışman(lar):

Doç. Dr. Gürsel Sunal

Prof. Dr. Ziyadin Çakır

Bursiyer(ler):

Eren Akköprü

Meryem Düzgün

AGUSTOS 2016  
VAN



## ÖNSÖZ

Bu çalışmada, Van Gölü Havzası içerisinde yer alan aktif fayların kinematik özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda arazi çalışmaları yapılarak, doğal/yapay yarmalardan kinematik veriler elde edilmiştir. Bu kinematik verilerin analizleri sonucu bölgeyi etkileyen ana asal gerilmeler zamansal ve mekansal olarak ayırt edilmiştir.

Bu proje Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir. Proje çalışmaları Yüzüncü Yıl Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi Coğrafya Bölümü personeli tarafından yürütülmüş ve İstanbul Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği tarafından sağlanan danışmanlık ile tamamlanmıştır. Bu proje kapsamında iki farklı yüksek lisans öğrencisine burs sağlanmış ve yüksek lisans tez arazileri bu proje kapsamında tamamlanmıştır.

## İçindekiler

## Sayfa Numarası

|  |     |
|--|-----|
| ÖNSÖZ.....   | i   |
| İçindekiler.....   | iii |
| Şekiller Listesi.....  | iv  |
| Tablolar Listesi.....  | x   |
| Özet.....  | ix  |
| Abstract.....  | xii |
| 1. GİRİŞ.....  | 1   |
| 1.1. Amaç ve Hedefler.....   | 2   |
| 1.2. Çalışmanın konusu, kapsamı ve literatür özeti.....  | 2   |
| 1.3. Çalışma yöntemleri.....   | 6   |
| 1.3.1. Haritalama.....   | 6   |
| 1.3.2. Fay setlerinin derlenmesi.....  | 7   |
| 1.3.3. Tarihlendirme.....  | 7   |
| 1.3.4. Kinematik analiz.....   | 8   |
| 1.4. Proje Eleman yapısı.....  | 12  |
| 2. BÖLGESEL JEOLJİ VE TEKTONİK.....  | 14  |
| 2.1. Van Gölü Havzasının Stratigrafisi.....  | 15  |
| 2.2. Van Gölü Havzasında yer alan diri faylar.....   | 22  |
| 2.2.1. Beyüzümü fayı (BF).....   | 23  |
| 2.2.2. Van Fay zonu (VFZ)/ Everek Fayı .....   | 24  |
| 2.2.3. Yeni Köşk fayı (YF).....  | 25  |
| 2.2.4. Erciş fayı (EF).....  | 25  |
| 2.2.5. Van Gölü içinde tanımlanan aktif faylar.....  | 26  |
| 2.3. Van Gölü havzasının depremselliği.....  | 26  |
| 2.3.1. Tarihsel depremler.....   | 26  |
| 2.3.2. Aletsel dönem depremleri.....   | 29  |
| 3. FAY TOPLULUKLARININ KİNEMATİK ANALİZİ.....  | 30  |
| 3.1. Arazi Çalışmaları.....  | 30  |
| 3.1.1. Eski karasal çökeller (Miyosen-Pliyosen) içerisinde açılan doğal/yapay yarmalardan elde edilen kinematik veriler.....         | 31  |
| 3.1.2. Gölsel ve akarsu çökelleri (Pleyistosen-Holosen) içerisinde açılan doğal/yapay yarmalardan elde edilen kinematik veriler..... | 28  |
| 4. KİNEMATİK VERİLERİN MEKANSAL SINIFLAMASI.....   | 65  |
| 4.1. Beyüzümü Fayı.....  | 65  |
| 4.2. Van Fay zonu/Everek fayı-Yeni Köşk Fayı.....  | 66  |



|  |    |
|--|----|
| 4.3. Çolpan Fayı.....                            | 70 |
| 4.4. Erciş fayı.....                             | 74 |
| 5. KİNEMATİK VERİLERİN ZAMANSAL SINIFLAMASI..... | 76 |
| 6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....                     | 80 |
| 7. KAYNAKLAR.....                                | 82 |
| Proje Özet Bilgi Formu.....                      | 89 |

## Şekiller Listesi

## Sayfa Numarası

|   |    |
|---|----|
| Şekil 1. Doğu Akdeniz ve Orta Doğu'nun aktif tektonik konumu (Reilinger vd., 2006 ve Djomour vd., 2011'den düzenlenerek).....   | 3  |
| Şekil 2. Doğu Anadolu-İran platosu ve yakın çevresinin basitleştirilmiş sismotektonik haritası (Koçyiğit 2013'den değiştirilerek alınmıştır).....   | 4  |
| Şekil 3. Çalışma alanının ve civarının sismotektonik haritası (faylar, Koçyiğit vd., 2011, Karakhanian vd., 2004, Toker ve Şengör 2011; depremler, Ergin vd., 1967;Soysal vd., 1981;Ambraseys ve Finkel, 1995; Tan vd., 2008) (BZSZ: Bitlis-Zagros Sutür zonu, MaF: Malazgirt fayı, CF: Çaldıran fayı, GSKF: Guilato-Siahcheshmeh-Khoy fayı, KEF: Karayazı-Erciş Fayı, TF: Van Fayı, SaF: Salamas fayı, BFZ: Başkale fay zonu, YFZ: Yüksekova fay zonu, GF: Gürpınar fayı, EF: Edremit fayı, BF: Bitlis fayı, AhF: Ahlat fayı)..... | 5  |
| Şekil 4. a) Sağ yönlü basit makaslama içerisinde gelişen Riedel makaslamalarının (Tchalenko, 1970) gerilme elipsoidi içerisindeki yeri; b) Üç farklı gerilme rejimi içerisinde gelişen sırasıyla normal, bindirme ve doğrultu atım karakterli eşlenik fay setlerinin ve bunlara eşlik eden asal gerilme eksenlerinin şematik gösterimi (Angelier, 1994).....  | 8  |
| Şekil 5. Genç birimlerde faylanma ve kesitte gözlemlenen stratigrafi arasındaki ilişki. a) faylanma çökmeden gençtir, b) faylanma 3 numaralı birimin çökmesi ile yaşittir c) sin-sedimenter faylanmadan genç, depolanma sonrası fay gelişimi (Erturaç, 2009).....   | 9  |
| Şekil 6. Amasya Suluova Havzası'nın güneybatı kesiminde yer alan bir yarma içerisinde Erken-Orta Pleyistosen yaşlı çökellerin çok fazlı deformasyonu ve bu fazların stratigrafik ilişkileri ve grafiksel kinematik analiz yöntemleri (hareket düzlemleri) ile ayrılması (Erturaç, 2009).....  | 10 |
| Şekil 7. Çifteler - Mahmudiye (Eskişehir) havzasının içerisinde yer alan 112 adet fay düzlemi ve kayma çizgisi verisinin birlikte değerlendirilmesi ile elde edilen stereografik projeksiyon ağındaki genel görünümü, ayrıca verilen veri tabanına girilen verilerin ANG ve RUP değerlerinin karşılaştırılması (Sağlam-Selçuk, 2009)...   | 11 |
| Şekil 8. Van Gölü Havzası aktif tektonik özellikleri (faylar, Emre vd., 2013; Çukur vd., 2014) (EF, Erciş fayı; ÇF, Çaldıran fayı; DF, Dorutay fayı; SFZ, Saray fay zonu;YF, Yeni Köşk fayı; VFZ, Van Fay Zonu; BF, Beyüzümü fayı; ÇF, Çolpan fayı)   | 15 |
| Şekil 9. Van Gölü Havzası'nın jeolojisi (Ateş vd., 2007 düzenlenerek).....  | 16 |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 10. a) Ermişler köyü civarında bazaltlar ile eski akarsu çökelleri arasındaki açılı uyumsuzluk, b) bazaltın genel görünümü ve pişme zonu.....   | 17 |
| Şekil 11. a) Eski akarsu çökelleri (kumtaşı-kiltaşı-çamurtaşı ardalanması), b) çökelin en üst seviyesinde bulunan Dreissensia sp. fosili.....   | 18 |
| Şekil 12. a) Bazalt akıntısı ile ardalanmış gölsel birimin genel görünümü (pomza-kumtaşı) b) kumtaşı-pomza ardalanmasını kesen normal faylanma.....   | 19 |
| Şekil 13. Beyüzümü taraçasına ait a) Kumtaşı-çakıltaşı ardalanması, b) İnce kum ve killi seviyelerin ardalanımı.....  | 20 |
| Şekil 14. a-b. Beyüzümü taraçasının kumtaşı ve bol Dreissensiasp.fosilli seviyelerinde meydana gelen eğimlenme.....   | 20 |
| Şekil 15. Van Gölü taraça seviyelerin alınan Dressencia sp. fosilleri.....  | 21 |
| Şekil 16. Van Gölü havzasındaki taraçaların yaşları.....  | 22 |
| Şekil 17. 1945 depremini meydana getiren ana aktif kırık hatları (Lahn, 1946).....  | 24 |
| Şekil 18. Doğu Anadolu-İran platosu ve çevresinin aktif tektonik özellikleri ve depremler (faylar, Koçyiğit vd., 2001; Emre vd., 2013; Çukur vd., 2014; tarihsel depremler: Ambraseys, 2001).....   | 28 |
| Şekil 19. Van havzası ve civarının sismotektonik haritası (faylar: Koçyiğit vd., (2001) ve Karakhanian et al., (2004), Sismik datalar: Ergin vd., (1967), Soysal vd., (1981), Ambraseys ve Finkel (1995), Tan vd., (2008)).....                 | 29 |
| Şekil 20. Van Gölü havzasının doğu kesiminde yer alan kinematik gözlem noktaları. ....  | 30 |
| Şekil 21. Eski karasal çökeller içerisinde yer alan kinematik gözlem noktaları.....   | 31 |
| Şekil 22. a) Kumtaşı-kiltaşı-çamurtaşı içerisinde gelişmiş doğrultu atımlı faylanma, b) 50 cm genişliğindeki fay zonu. ....   | 32 |
| Şekil 23. a) Belediye asfalt şantiyesi yarmasındaki eğim atımlı ters faylar, b) Hastane temelindeki birbirine yaklaşık gelişen ters faylar, c) ters faylarda meydana gelen 70 cm ötelenme d) birimlere ait enine jeolojik kesit (ölçeksiz)..... | 33 |
| Şekil 24. a) Karasal çökellerde meydana gelen deformasyon, b-c) lokasyonda ölçülen normal ve doğrultu atımlı faylardan örnekler.....  | 34 |
| Şekil 25. a) Eski akarsu çökellerinde meydana gelen makaslama zonu, b) akarsu çökelleri üzerine gelen yatay göl ve akarsu çökelleri.....  | 35 |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 26. Karasal çökelleri kesen ana eğim atımlı ters ve ikincil gelişen faylar.....   | 35 |
| Şekil 27. Akarsu çökelleri kesen ve öteleyen normal bileşenli oblik faylar.....   | 36 |
| Şekil 28. Karasal çökelleri kesen ana ve ikincil gelişen doğrultu atımlı faylar.....  | 37 |
| Şekil 29. Kuvaterner yaşlı çökellerde sınıflanan kinematik gözlem noktaları.....  | 39 |
| Şekil 30. a) Topaktaş lokasyonunun genel görünümü, b) Alaköy Formasyonunu kesen ana ve ikincil gelişen normal faylar c,d) Üst seviyelerde Pleyistosen birimleri kesen normal faylar. ....   | 40 |
| Şekil 31. a) Akarsu çökelleri ile göl çökelleri, b) göl çökelleri kesen normal fayın ve kesitinin şematik gösterimi.....  | 41 |
| Şekil 32. a) Bölgedeki birimlerin alt-üst ilişkilerinin şematik gösterimi b) bazaltın, karasal çökellerin üzerine uyumsuz olarak gelmesi, c) göl çökellerinin genel görünümünü ve faylanma d) göl çökellerini kesen eğim atımlı ters fay..... | 42 |
| Şekil 33. Eski karasal çökeller ile gölsel çökelleri kesen sağ yönlü normal fay.....  | 43 |
| Şekil 34. Beyüzümü göl taraça seviyesini kesen normal faylar.....   | 44 |
| Şekil 35. Pleyistosen yaşlı akarsu-göl çökelleri içerisinde gelişen normal faylanma..   | 45 |
| Şekil 36. Fan-delta-göl çökelleri içerisinde gelişen normal faylanmalar.....  | 45 |
| Şekil 37. Akarsu çökellerindeki normal faylanmalar.....   | 46 |
| Şekil 38. Karasu nehrine ait taraça (1770 m).....   | 47 |
| Şekil 39. Göl çökelleri içerisinde gelişen sismik yapıları.....   | 47 |
| Şekil 40. a) Gölsel çökeller ile bazalt çakıllı konglomera seviyesi, b)köşeli bazalt çakıllı konglomera, c) göl çökellerinden genel bir görünüm, d) muhtemelen Etrüsk volkanına ait pomza seviyesi.....                                       | 48 |
| Şekil 41. Kumlu seviyeden oluşan gölsel birimin içinde meydana gelen sürüklenme kıvrımları.....   | 48 |
| Şekil 42. a) Göl çökellerini kesen ve öteleyen eğim atımlı ters faylar, b) Bazalt ve eğimlenmiş eski Van gölü taraçası.....   | 50 |
| Şekil 43. a) Göl çökellerini kesen ve öteleyen eğim atımlı normal faylar, b) sürüklenme kıvrımları, c) normal faylarda meydana gelen düşey ötelenme.....  | 51 |
| Şekil 44. a) Göl çökellerini kesen bindirme fayı, b) sürüklenme kıvrımları, c) lokasyona ait şematik kesit.....   | 52 |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 45. Akarsu ve pomza seviyesini kesen normal faylanma.....   | 53 |
| Şekil 46. a) Göl ve akarsu çökellerini kesen eğim atımlı ters faylar, b) göl çökelleri içerisinde meydana gelen ötelenme, c) tavan blokta meydana gelen sürüklenme kıvrımları.....                                    | 54 |
| Şekil 47. Lokasyondaki genel durumu gösteren şematik kesit.....   | 55 |
| Şekil 48. Yamaç molozunda gelişen eğim atımlı ters faylanma.....  | 56 |
| Şekil 49. Akarsu ve bataklık çökellerinden gelişmiş normal faylanmalar.....   | 57 |
| Şekil 50. a) K46B doğrultulu normal bileşenli sağ yönlü doğrultu atımlı fay (Erciş Fayı), b) K50B doğrultulu normal bileşenli sağ yönlü doğrultu atımlı fay (Erciş Fayı).   | 58 |
| Şekil 51. a) Zilan deresi boyunca gözlenen göl taraçası b) göl çökelleri içerisinde gelişmiş fay düzlemi, c)tavan blokta meydana gelen sürüklenme kıvrımları, d) göl çökellerini kesen ve öteleyen normal faylar..... | 59 |
| Şekil 52. a) Kumlu seviyede meydana gelen sürüklenme kıvrımları b) göl çökellerini kesen ve öteleyen normal faylar.....   | 60 |
| Şekil 53. a) Göl çökellerinde içinde gelişen normal fay ve ikincil faylanma b,c) İkincil faylanmalar ve meydana getirdikleri ötelenmeler.....   | 61 |
| Şekil 54. a) Göl çökelleri ile bazalt dokanağında yer alan doğrultu atımlı faylanmayı gösteren şematik şekil, b) fay düzleminde meydana gelen killeşme.....   | 61 |
| Şekil 55. Göl çökellerinin kumlu seviyelerinde meydana gelen sismik yapıları.....   | 62 |
| Şekil 56. Göl çökellerinde gelişen normal faylanmalar.....  | 63 |
| Şekil 57. Akarsu çökeline gelişen eğim atımlı ters faylanma.....  | 63 |
| Şekil 58. a) Edremit travertenleri içerisinde gelişen sol yanal doğrultu atımlı faylanma, b) fay düzlemi, c) sağ yönlü ters faylanma d) traverten içerisinde gelişen makaslama zonu.....                              | 64 |
| Şekil 59. Beyüzümü fayı boyunca kinematik gözlem noktaları.....   | 65 |
| Şekil 60. Beyüzümü (V15-01) ve Bostaniçi (V15-39) kinematik verilerinin analizi ve asal gerilme yönleri.....  | 66 |
| Şekil 61. Van Fay zonu/Everek fayı-Yeni Köşk Fayı alanında yer alan kinematik gözlem noktaları.....   | 67 |
| Şekil 62. Van Fay zonu/Everek fayı civarından derlenen kinematik verilerinin analizi ve asal gerilme yönleri.....   | 68 |



|  |    |
|--|----|
| Şekil 63. Yeni Köşk fayı civarından derlenen kinematik verilerinin analizi ve asal gerilme yönleri.....  | 69 |
| Şekil 64. Çolpan fayı boyunca kinematik gözlem noktaları.....  | 70 |
| Şekil 65. Çolpan fayı civarından eski akarsu çökellerinde derlenen kinematik verilerinin analizi ve asal gerilme yönleri.....  | 72 |
| Şekil 66. Çolpan fayı civarından taraça çökellerinden derlenen kinematik verilerinin analizi ve asal gerilme yönleri.....  | 73 |
| Şekil 67. Erciş bölgesinde tanımlanan gözlem noktaları.....  | 74 |
| Şekil 68. Erciş Fayı boyunca kinematik fay topluluklarının analizi ile edilen asal gerilme yönleri.....  | 75 |
| Şekil 69. Gözlem noktalarından elde edilen verilerin stereonet çizimleri ve ilksel P-T eksenleri kinematik analiz sonuçları.....   | 77 |
| Şekil 70. Fay topluluklarının kinematik analizi ile edilen asal gerilme yönlerinin zamansal dağılımı.....  | 78 |
| Şekil 71. Elde edilen U/Th yaşları ve önceki çalışmalardan derlenen yaşlar ile Van Gölü'nün Orta-Geç Pleyistosen içerisinde seviyesini gösteren taraçaların korelasyonu..... | 81 |



## Tablo Listesi

## Sayfa Numarası

|  |    |
|--|----|
| Tablo 1. Ermişler köyü civarından alınan bazaltların K/Ar yaş sonuçları.....   | 19 |
| Tablo 2. Van Gölü taraça seviyelerinden alınan Dressencia sp fosillerinin U234/230Th yaş sonuçları.....  | 21 |
| Tablo 3. Van Gölü Havzasındaki tarihsel dönem depremleri (Açıklama bölümünde parantez içerisinde verilen rakamlar kaynak numaralarını göstermektedir. (1) Ergin vd., 1967; (2) Soysal vd., 1981; (3) Ambraseys ve Finkel, 2006; (4) Tan vd., 2008. (M) Büyüklük; (I) Şiddet..... | 27 |

## ÖZET

Van Gölü, 15.496 km<sup>2</sup> yüz ölçüme sahip kapalı bir havza içerisinde 3573 km<sup>2</sup> alan kaplamaktadır. Tektonik açıdan oldukça aktif olan havza içerisinde tarihsel ve aletsel dönemde farklı büyüklüklerde yıkıcı birçok deprem kaydedilmiştir. Bu depremler arasında (i) 7 Nisan 1646 Hayatsdzar; (ii) 8 Mart 1715 Hoşap ve (iii) 30 Mayıs 1880 Ahlat ([Ambraseys ve Finkel, 1995](#)) ile 1976 Çaldıran (Mw 7.3) ile 23 Ekim 2011 Van-Tabanlı Depremleri (Mw 7.2) önemli can ve mal kaybına yol açmıştır.

Bu çalışmada, Van Gölü Havzası'nın Pliyosen-Kuvaterner tektonik gelişimini, havzanın çökel ve volkanitleri içerisinde bulunan faylanma verilerinin derlenmesi, kinematik analizi ve zamansal/mekânsal olarak sınıflandırılması amaçlanmıştır. Bu amaç için arazi çalışmaları ve fay kinematik analiz çalışmaları yapılmıştır.

Özellikle saha çalışmaları sırasında, Van Gölü Havzasında yer alan aktif faylar boyunca arazi çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda, aktif fayların deforme ettiği jeolojik birimlerden kinematik veriler (doğrultu, eğim, sapma açısı vb.) elde edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca fayların etkilediği yüzey morfolojisine ait veriler toplanarak Holosen aktiviteleri ortaya konulmuştur. Van Gölü Havzasının doğusunda yer alan Beyüzümü ve ilk defa bu çalışma ile tanımlanan Çolpan fayının bölge için önemli aktif faylardan bazıları olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında elde edilen tarihler ile daha önceki çalışmalarda radyokarbon/OSL yöntemi ile tarihlendirilememiş ([Kuzucuoğlu vd., 2010](#); [Görür vd., 2015](#)) eski taraçaların yaşları üzerine yeni veriler elde edilmiştir. Bu yaşlarla birlikte faylanmış Van Gölü taraçalarının yaşı üzerine temel bir sınıflandırma yapılması mümkün olmuştur. Buna ek olarak, benzer yaş veren ancak birbirinden 30 m kot farkı bulunan Beyüzümü ve Hastane lokaliteleri dikkat çekmektedir. Bu durum önceki çalışmalarda da ifade edilen Beyüzümü fayı boyunca yerel tektonik yükselme ile ilişkilendirmek mümkündür.

Van Gölü Havzasında belirlenen 51 istasyonda fay topluluklarının kinematik analizine yönelik, 200 adet fay düzlemi üzerinde ölçümler yapılmıştır. Değişik yaş ve litolojide yer alan jeolojik birimlerde elde edilen veriler sayesinde zamansal ve mekansal ayırım yapılarak, bölgede meydana gelen asal gerilmede ki değişim net olarak saptanabilmiştir. Elde edilen veriler sonucunda, Pliyosen dönemdeki sıkışma doğrultusu K70-40°B'dir. Buna karşın açılma doğrultusu K20-50°D doğrultusundadır. Aynı zamanda, Van Gölü havzasının da Pliyosen döneminde tektonik rejimin KB-GD doğrultulu sıkışma rejimi altında gelişen ters bileşenli sağ yanal doğrultu atımlı faylanma (transpresyonel) olduğunu göstermektedir. Orta Pleyistosen



dönemi içerisinde bölgede sadece sıkışmalı bir tektonik rejimin olduğu ve sıkışmanın doğrultusunun ise K-G ile  $K40^{\circ}B$  olduğu görülmektedir. Alt Pleyistosen döneminde ( $267\pm 8$ ) yer alan kinematik veriler değerlendirildiğinde sıkışma rejiminden çok açılma rejiminin hâkim olduğu görülmektedir. Günümüzdeki tektonik rejimin KKB-GGD doğrultulu sıkışma ve DKD-BGB doğrultulu açılma rejimi altında gelişen (ters bileşenli doğrultu atımlı rejim) doğrultu atımlı faylanma rejimi olduğu görülmektedir.

Van Gölü havzasında tektonik rejimin transpressiyonel karakterde başlayıp, lokal olarak transtansiyonel bir rejim görülse de baskın olarak transpressiyonel rejimin günümüzde etkin olduğu görülmektedir. Van Gölü havzasında gelişen faylanmaların bu tektonik rejimle uyumlu olarak ve bu sistem içerisinde geliştiği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Van Gölü Havzası, Kinematik Analiz, Gerilme Durumları, Doğu Anadolu.

## ABSTRACT

Lake Van, 15 496 km<sup>2</sup> in surface area, covers 3573 km<sup>2</sup> area in a closed basin. The basin is tectonically very active that many destructive earthquakes within different sizes have been recorded in historical and instrumental period. In these earthquakes; (i) the Hayatsdz April 7, 1646; (ii) March 8, 1715 Hosap and (iii) May 30, 1880 Ahlat ([Ambraseys and Finkel, 1995](#)), 1976 Çaldıran (Mw 7.3) and 23 October 2011 Van-Tabanlı earthquakes (Mw 7.2) have caused significant loss of life and property.

The aim of this study is to present the Pliocene-Quaternary tectonic development of the Lake Van basin, to compile the fault data in sediments and volcanics of basin and to perform the kinematic analysis.. For these aims, extensively fieldwork and fault kinematic analysis was carried out for Lake Van basin.

Especially, the fieldwork is done along active faults in the basin. Thus, the kinematic data (strike, dip, etc.) were obtained from the geological unit deformed by active faults and Holocene activities have been demonstrated with the affected surface morphology. It was determined that the Beyüzümü which is located at the east of Lake Van and the Çolpan Fault which is first time described in this study are active faults which posses the significant risks for the region

In the study, new age data were also obtained for the old terraces which have not dated with Radiocarbon / OSL method in previous studies ([Kuzucuoğlu vd., 2011](#); [Görür vd., 2015](#)). By these new data, it had been possible to make a classification on the basis of the age of the terraces. Herein, Beyüzümü and Hastane localities are particularly noteworthy because these localities have same age in 30 m elevation difference. As the expressed in previous studies, it is possible to relate with the local uplift along Beyüzümü fault.

In 51 different stations of Lake Van basin, a total of 200 data on fault planes were obtained to perform the kinematic analysis. The change in principal stresses is clearly determined by using the data obtained from geological units which have different age and litology, by made spatial and temporal districition. As a result of the obtained data, the compression direction is N70-40°W in the Pliocene period while the extension direction is N20-50°E. At the same time, in the pliocene period, the basin is characteristic with the right lateral strike slip faulting (transpresyonel), developed under NW-SE direction compressional regime of tectonic period. In the Middle Pleistocene period, the region has just compressional tectonic regime and the direction of the compression is N-S and N40°W. In Late Pleistocene period (267 ± 8), When kinematic data are evaluated, the extension regime seems to be dominat rather than



compression regime. As for the current tectonic regime, it is seems to be strike-slip faulting regime developed under NNW-SSE trending compression and ENE-WSW extension regimes.

Tectonic regime of Lake Van basin began in transpressional characters. Although a regime is locally seems to be transtensional, transpressional regime is seen to be effective at the present time. It is thought that the faulting of the lake Van basin is compatible with this tectonic regim and have developed in this system.

**Key Words:** Lake Van Basin, Kinematic analysis, Stress, East Anatolia.

## 1. GİRİŞ

Günümüzden 20-16 milyon yıl arasında gerçekleşen Arap ile Avrasya levhalarının çarpışması ile Doğu Anadolu'daki son okyanusal litosfer yitimi uğramış (Okay vd., 2010) ve 13 milyon yıl önceden itibaren Doğu Anadolu Yüksek Platosu oluşumuna başlamıştır (Şengör ve Kidd, 1979; Dewey vd., 1986; Şaroğlu ve Yılmaz, 1986). Çarpışma zonunun kuzeyinde kalan Van Gölü Havzası'nın Geç Pliyosen'de oluşmaya başladığı ve Kuvaterner başından itibaren etkili olan volkanizmanın etkisi ile son şeklini aldığı öne sürülmektedir (Blumenthal vd., 1964; Wong ve Finckh, 1978; Degens vd., 1984). Van Gölü, 15.496 km<sup>2</sup> yüz ölçüme sahip kapalı bir havza içerisinde 3573 km<sup>2</sup> alan kaplamaktadır. Tektonik açıdan oldukça aktif olan havza içerisinde tarihsel ve aletsel dönemde farklı büyüklüklerde yıkıcı birçok deprem kaydedilmiştir. Bu depremler arasında (i) 7 Nisan 1646 Hayatsdzar; (ii) 8 Mart 1715 Hoşap ve (iii) 30 Mayıs 1880 Ahlat (Ambraseys ve Finkel, 1995) ile 1976 Çaldıran (Mw 7.3) ile 23 Ekim 2011 Van-Tabanlı Depremleri (Mw 7.2) önemli can ve mal kaybına yol açmıştır.

Gelişimini aktif tektonizma ve volkanizma belirleyiciliğinde sürdüren Van Gölü Havzası'nın da içinde bulunduğu Doğu Anadolu Yüksek Platosu'nda tektonik hatlar, kuzey-güney yönlü egemen sıkışma sonucunda genel olarak doğu-batı doğrultulu ters, kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu sağ yönlü ve kuzeydoğu-güneybatı yönelimli sol yönlü doğrultu atımlı faylar ile kuzey-güney doğrultulu genişleme yapıları tarafından temsil edilmektedir (Şaroğlu ve Yılmaz, 1986; Şaroğlu vd., 1987; Bozkurt, 2001; Koçyiğit vd., 2001, Dhont ve Chorowicz, 2006). Van Gölü Havzası'nın genç tektoniği üzerine gerçekleştirilen güncel çalışmalarda genç ve aktif fay hatları kara alanlarında gerçekleştirilen saha çalışmaları (Koçyiğit, 2013) ve yakın dönemde göl içerisinde gerçekleştirilen ayrıntılı sismik çalışmalarla (PaleoVan Projesi, Litt vd., 2009; Çukur vd., 2014; Özalp vd., 2016) önemli ölçüde haritalanmıştır. Oldukça çok sayıda bulunan ve karmaşık bir tektonik çerçeve ortaya koyan bu fayların kinematik özellikleri üzerine analitik bilgiler yalnızca aletsel dönemde gerçekleşmiş önemli ancak az sayıda depremin odak mekanizma çözümlerinden bilinmektedir. Havza'nın kuzey sınırında yer alan sağ yönlü doğrultu atımlı Çaldıran Fayı üzerinde 1976 yılında gerçekleşen depremden (Mw 7.3; Toksöz vd., 1978) sonra göl çevresindeki en önemli sismik etkinlik olan 23 Ekim 2011 (Mw 7.2) depremi, daha önce haritalanmamış ve gölün doğu kesiminde, kıyı ötesinden başlayıp kara alanına DKD doğrultu ile devam eden düşük açılı bir ters fay üzerinde gerçekleşmiştir (Emre vd., 2011, 2013; Koçyiğit, 2013; Doğan ve Karakaş, 2013). Bu depremin ardından, yakın geometride ancak sağ yönlü doğrultu atımlı karakterde bir fay üzerinde Edremit Depremi (Mw 5.6) meydana gelmiştir. Verilerdeki bu eksiklik, Van Göl Havzası'nın tektonik gelişiminin açıklandığı model çalışmalarının üretilmesini zorlaştırmaktadır.

Van Gölü Havzası'nın tektonik gelişiminin izleri, göl çevresinde yüzeyleyen volkanit ve çökel kayaları kesen faylanma verilerinde bulunmaktadır. Bu veriler, havza stratigrafisi içerisinde zamansal olarak sınıflanabilir özelliktedir. Bu proje, Van Gölü karasal kapalı havzasında yer alan farklı litoloji ve yaştaki kayaç gruplarından faylanma kinematiğine ait verilerin toplanması ve bu verilerin grafiksel ve hesaplamalı kinematik analiz yöntemleri kullanılarak değerlendirilmesiyle oluşturulmuştur. Böylelikle havzayı çevreleyen aktif faylar haritalanmış, bu fayların kinematik özellikleri ile Van Gölü Havzası'nın Geç Pliyosen-Kuvaterner devirleri içerisinde gerilme bileşenleri ve zaman içerisindeki olası değişimi ortaya konulmuştur.

### 1.1. Amaç ve Hedefler

Bu çalışmanın amacı, Van Gölü ve yakın çevresinde yer alan aktif fayların saha çalışmaları ile haritalanması ve bu fayların kinematik özelliklerini ortaya koyan Pliyo-Kuvaterner yaşlı faylanma verilerinin derlenmesidir. Elde edilen kinematik verilerin zamansal ve mekansal olarak ayırt edilmesi ile de neotektonik dönem içerisinde Van Gölü Havzasında gerçekleşen gerilme yönlerindeki değişimin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Bu hedefe bağlı olarak

- (i) Van Gölü Havzası'nın Pliyo-Kuvaterner stratigrafisinin ortaya konması,
- (ii) havzada yer alan Neotektonik dönem fay zonlarının haritalanması,
- (iii) bu fay/ fay zonlarına ait kinematik verilerin toplanması,
- (iv) grafik ve hesaplamalı yöntemlerle analizi aşamaları gerçekleştirilmiştir.

Proje kapsamında üretilen veriler ile aşağıdaki hedeflere ulaşmak mümkün hale gelmiştir.

- (a) Deprem zararlarının azaltılmasında gerekli bilgi altyapısının temelini oluşturan Van Gölü Havzası diri fay haritası saha çalışmaları ile ortaya konulmuştur.
- (b) Bölgeyi etkileyen fayların yapısal (kinematik) özellikleri saha verileriyle birlikte değerlendirilmiştir.
- (c) Faylardan elde edilen kinematik verilerin zamansal ve mekânsal olarak değişimi ile Van Gölü havzasında Neotektonik dönem boyunca gerçekleşen gerilme yönlerindeki değişimler ortaya konulmuştur.

### 1.2. Çalışmanın konusu, kapsamı ve literatür özeti

Van Gölü Havzası, Doğu Anadolu-İran platosunun batı kısmını oluşturan Doğu Anadolu Sıkışmalı Tektonik Bloğu içerisinde (DAST) yer almaktadır. Uzun süreli GPS ölçümlerinin modellenmesi ile tanımlanan (Reilinger vd., 2006; Djomour vd., 2011) bu blok, kuzeybatıda sol yanal doğrultu atımlı Kuzeydoğu Anadolu fayı, kuzey/kuzeydoğuda Küçük Kafkas ve güneyde ise Bitlis-Zagros bindirme kuşakları ile sınırlandırılmaktadır (Şekil 1). DAST'nun günümüzden yaklaşık 13 milyon yıl önce, Arap ve Avrasya levhaları arasında gerçekleşen



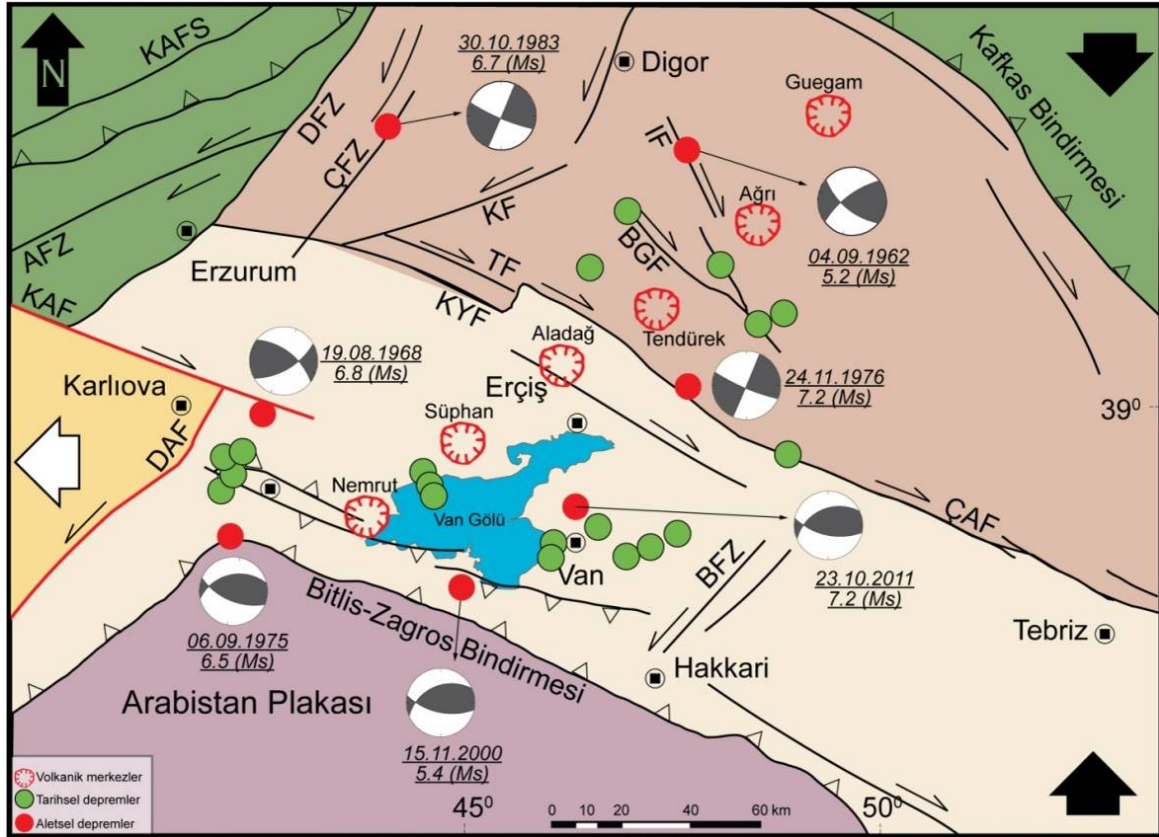
kıta-kıta çarpışması sonucu K-G yönlü sıkışmalı bir tektonik rejim altında geliştiği öne sürülmektedir (Şengör ve Kidd, 1979; Şengör ve Yılmaz, 1981; Dewey vd., 1986; Şaroğlu ve Yılmaz, 1986; Yılmaz vd., 1987; Koçyiğit vd., 2001) (Şekil 1).



Şekil 1. Doğu Akdeniz ve Orta Doğu'nun aktif tektonik konumu (Reilinger vd., 2006 ve Djomour vd., 2011'den düzenlenerek).

Ancak son yıllarda yayınlanan bir çalışmada sıkışma-kısalma ile temsil edilen tektonik rejimin sadece Bitlis-Zagros bindirme zonu boyunca ve Geç Miyosen sonu ile Erken Pliyosen sonu arasındaki dönemde aktif olduğu belirtilmiştir (Koçyiğit vd., 2001). Koçyiğit vd. (2001), DAST bloğundaki sıkışmalı-daralmalı tektonik rejimin yerini, Geç Pliyosen'de sıkıştırmalı-genişlemeli türdeki neotektonik rejime bıraktığını belirtmektedir. Bu rejime bağlı olarak bölgede KB-KD uzanımlı doğrultu atımlı faylar, D-B doğrultulu ters/bindirme fayları, K-G yönelimli normal faylar, D-B yönlü kıvrımlar ve önemli volkanik merkezlerin konumunu belirleyen K-G yönlü açılma çatlakları gelişmiştir. Bölgedeki ana neotektonik yapılar arasında sağ yönlü doğrultu atımlı faylar (Pambak-Sevan (PSFZ), Iğdır (IF), Balıkgölü (BGF), Tutak (TF), Karayazı (KYF), Çaldıran (ÇFZ), Erciş (EFZ) ve Yüksekova fay zonları (YFZ)); sol yönlü doğrultu atımlı faylar (Aşkale (AFZ), Dumlu (DFZ), Çobandede (ÇFZ), Digor (DF), Kağızman (KF), Başkale (BFZ) fay zonları) ve bindirme fayları (Muş-Gevaş bindirme zonu ve Gürpınar bindirme fayı) bulunmaktadır (Arpat vd., 1976; Şaroğlu vd., 1984; Koçyiğit, 1985a, 1985b; Koçyiğit vd., 1985; Şaroğlu ve Yılmaz, 1986; Şaroğlu vd., 1987; Cisternas vd., 1989; Rebai vd., 1993; Koçyiğit vd., 2001; Dhont ve Chorowicz, 2006; Horasan ve Boztepe-Güney, 2007; Sağlam-Selçuk vd., 2016) (Şekil 2). Bu fay zonları bölgede tarihsel ve aletsel dönemlerde

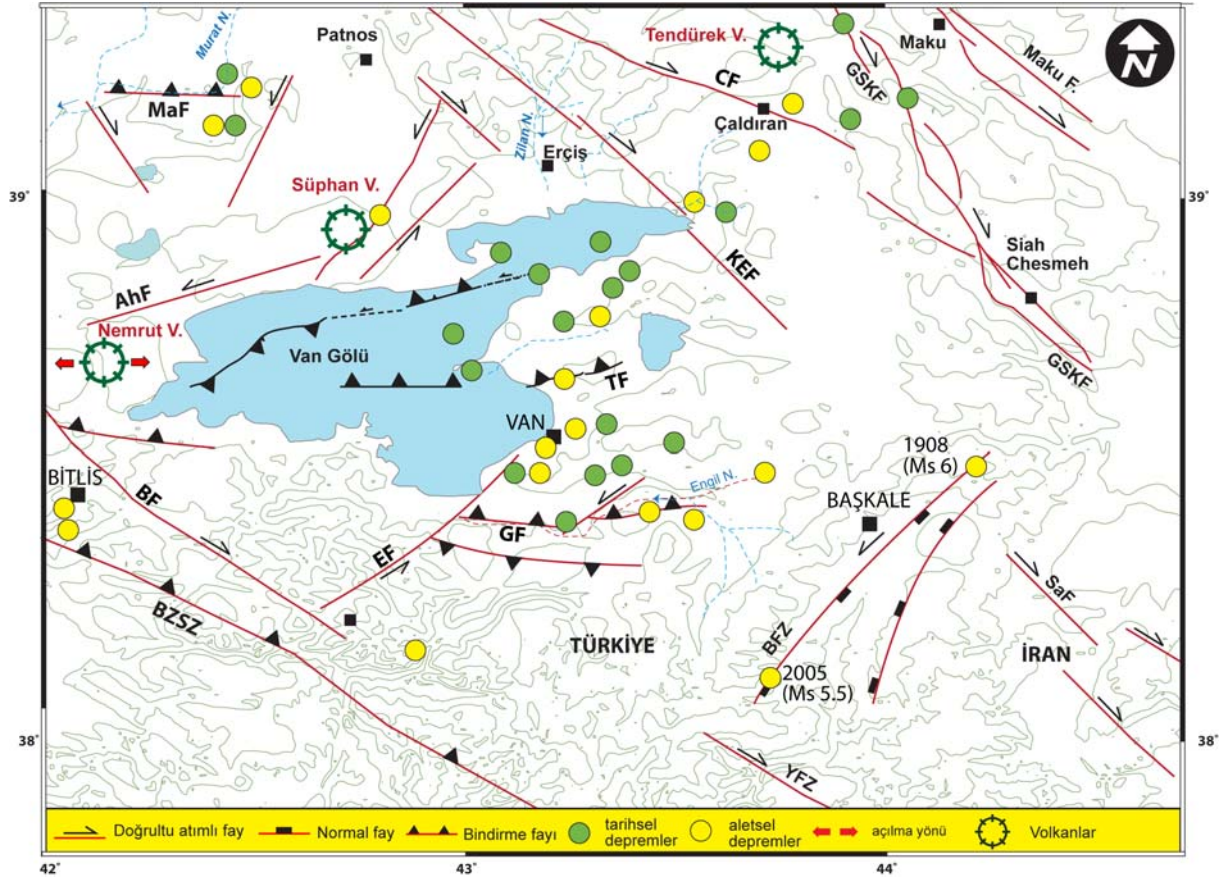
farklı büyüklüklerde yıkıcı birçok depremin meydana gelmesine neden olmuşlardır. Bölgedeki depremlerin odak mekanizma çözümü, asal gerilme bileşeninin ( $\sigma_1$ ) KKB-GGD yönelimli, ( $\sigma_2$ )'nin ise düşey yönde olduğu bir doğrultu atımlı gerilme rejimini ortaya koymaktadır. (Toksöz vd., 1983; Cisternas vd., 1989; Ambraseys ve Jackson, 1998; Ambraseys, 2001; Tan vd., 2008; KOERI, 2011).



**Şekil 2.** Doğu Anadolu-İran platosu ve yakın çevresinin basitleştirilmiş sismotektonik haritası (Koçyiğit 2013'den değiştirilerek alınmıştır).

Proje önerisinin çalışma alanını oluşturan Van Gölü Havzası, Bitlis-Zagros Bindirme kuşağının hemen kuzeyinde ve aynı zamanda Kuzey Anadolu Fayı'nın Doğu Anadolu Fayı ile kesiştiği Karlıova Üçlü Ekleminin yaklaşık 125 km doğusunda yer almaktadır (Şekil 2). Van Gölü havzası, Arap levhasının Avrasya levhası altına dalarak aradaki okyanusu kapatması sonucu başlayan kıta-kıta çarpışmasının ürünlerinden birisi olduğu öne sürülmektedir (Şengör ve Kidd, 1979; Dewey vd., 1986; Şaroğlu ve Yılmaz, 1986). Bu havza Geç Pliyosen'de oluşmaya başlamış ve Kuvaterner'de etkili olan volkanizma ile son şeklini almıştır (Blumenthal vd., 1964; Wong ve Finckh, 1978; Degens vd., 1984). Bir tektonik çökme gölü olduğu öne sürülen Van Gölü ve içinde bulunduğu havza, kuzeydoğusunda Ereğ Dağı (2592 m) ve Tendürek Volkanı (3533 m), kuzeyinde Süphan Volkanı (4051 m); batısında Nemrut Volkanı (2950 m) ve güneyinde ise Bitlis Masifinin düşük dereceli

metamorfik kayaçlarının yer aldığı Artos Dağı (3310 m) tarafından sınırlandırılmaktadır (Şekil 3). Van Gölü Havzası ve çevresinde birçok ana aktif fay zonu bulunduğu bilinmektedir (Arpat vd., 1977; Şaroğlu vd., 1984; Koçyiğit vd., 2001; Bozkurt, 2001; Dhont ve Chorowicz, 2006; Koçyiğit, 2013). Bunlardan bazıları Gürpınar Fayı, Alaköy Fayı, Erciş-Karayazı Fayı, Evrek Fayı, Çaldıran Fayı vb. fay zonlarıdır. 23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen deprem ( $M_w$ : 7.2) o güne kadar haritalanmamış Tabanlı Fayı üzerinde gerçekleşmiştir (Koçyiğit, 2013).



**Şekil 3.** Çalışma alanının ve civarının sismotektonik haritası (faylar, Koçyiğit vd., 2001, Karakhanian vd., 2004, Toker ve Şengör 2011; depremler, Ergin vd., 1967; Soysal vd., 1981; Ambraseys ve Finkel, 1995; Tan vd., 2008) (BZSZ: Bitlis-Zagros Sutür zonu, MaF: Malazgirt fayı, CF: Çaldıran fayı, GSKF: Guilato-Siahcheshmeh-Khoy fayı, KEF: Karayazı-Erciş Fayı, TF: Van Fayı, SaF: Salamas fayı, BFZ: Başkale fay zonu, YFZ: Yüksekova fay zonu, GF: Gürpınar fayı, EF: Edremit fayı, BF: Bitlis fayı, AhF: Ahlat fayı).

Tüm bu çalışmalarda değinilen fayların özellikleri, bölgesel morfoloji, deprem odak mekanizması çözümlerine dayanılarak belirlenmiştir ve genel anlamda arazi gözlemleri, haritalama ve fay kinematığı üzerine bilgiler içermemektedir. Bu çalışma ile literatürdeki bu eksiklik giderilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmanın konusunu, yukarıda tanımlanan kapsam altında elde edilecek verilerin kinematik analizi ile Van Gölü Havzası'nın tektonik gelişiminin özelliklerinin zamansal ve mekansal ölçekte tanımlanması oluşturmaktadır.

- (i) Van Gölü çevresinde önceki araştırmalarda tanımlanmış diri fay hatları boyunca kapsamlı saha gözlemi yapılarak haritalar detaylandırılmaya çalışılmıştır.
- (ii) Fay zonları boyunca gözlenen farklı yaş ve litolojideki kayaç gruplarında açılmış yapay ve doğal kesitlerdeki faylanma verileri (kinematik veriler) derlenmiştir.
- (iii) Kinematik veriler; ilişkili fay zonu ve kayaçların havza stratigrafisi içerisindeki konumlarına bağlı olarak sınıflandırılmıştır.
- (iv) Sınıflanmış veri setlerinin, grafiksel ve hesaplamalı yöntemlerle kinematik analizi gerçekleştirilmiştir.
- (v) Analiz sonucu elde edilen tektonik gerilme bileşenleri havza çevresindeki konumları ve havza stratigrafisi içerisindeki yaşları ışığında bütünsel olarak değerlendirilerek Van Gölü Havzası'nın oluşumunu kontrol eden gerilme rejim(ler)inin özellikleri ile zaman ve mekan içerisindeki değişimi ortaya konulmuştur.

### **1.3. Çalışma yöntemleri**

Bu çalışma, inceleme alanı ile ilgili daha önceki yıllarda yapılan çalışmaların derlenmesi, arazi çalışmaları ve elde edilen verilerin değerlendirilmesi şeklinde yürütülmüştür. Arazi çalışmaları sırasında, gerek doğal gerekse yapay kesitlerde gelişen fay düzlemlerinden kinematik veriler elde edilmiştir.

#### **1.3.1. Haritalama**

Van Gölü Havzası çevresinde seçilen hedef gözlem noktaları öncelikli olmak üzere arazi çalışması yürütülmüştür. Çalışmanın ileri aşamalarında bu noktaların sayısı artırılmış ve göl çevresinde yoğunlaştırılmıştır. Arazi çalışmaları sırasında kapsamlı yerel kinematik veri derlenmesinin yanısıra bu seviyeleri kesen fay sistemleri de haritalanmıştır. Kinematik veri setleri proje kapsamında temin edilen standart jeolog pusulası yardımıyla ölçülmüş ve böylece her bir fayın doğrultu, eğim ve kayma çizgisi yönü ile hareket yönü, miktarı ve türü ile ilgili bilgiler elde edilmiştir. Proje kapsamında proje elemanları ile toplam 35 gün arazi çalışması yapılmıştır.

### 1.3.2. Fay setlerinin derlenmesi

Bu çalışma kapsamında içerisinde elde edilmiş kinematik veriler, lokasyon ve ilişkili çökel paketinin havza stratigrafisindeki yerleri gözetilerek sınıflandırılmıştır. Bunun yanı sıra faylanma ve çökelme arasındaki ilişkinin de gözetilmesi gerekmektedir. Havza stratigrafisinin oluşturulması için literatürden birimlerin yaş ve pozisyon bilgileri alınmış; gerek duyulan bazı noktalardan örnekleme yapılarak tarihlendirme yapılmıştır. Bu kapsamda, çalışma alanından elde edilen kinematik veriler havza stratigrafisi içerisinde aşağıdaki şekilde sınıflandırılarak analiz edilmiştir.

- A. Temel kayalar:** Paleotektonik dönemdeki mevcut fay düzlemlerinin güncel gerilme rejimi altında reaktivite olması.
- B. Volkanik kayalar:** Plio-Kuvaterner yaşlı volkanik kayaları kesen faylanmalar
- C. Eski Havza Çökelleri** Van Gölü Havzasının kısıtlı bir alanında gözlenen Pliyosen-Kuvaterner çökelleri içerisindeki faylanmalar
- D. Göl Terasları** Orta-Geç Pleyistosen-Holosen yaşlı göl teraslarını ve akarsu çökellerini kesen faylar

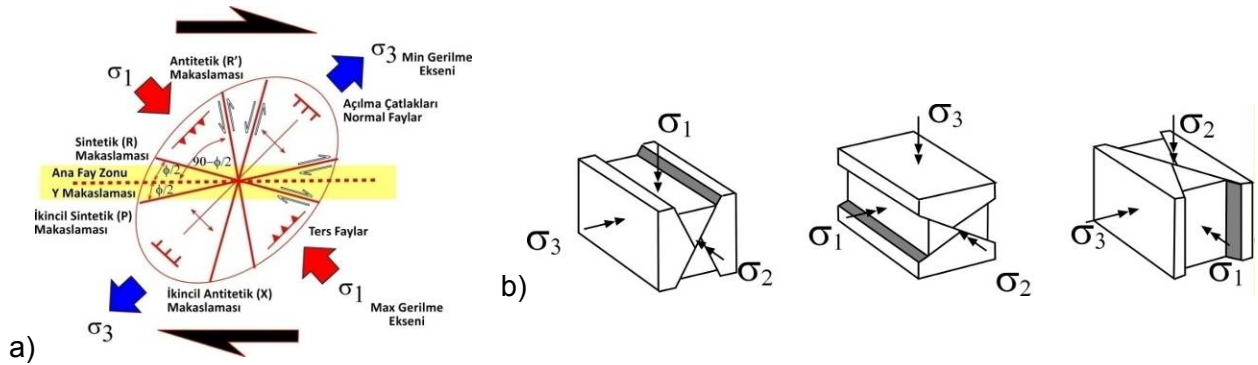
### 1.3.3. Tarihlendirme

Aktif tektonik çalışmalarında çalışılan bölgenin stratigrafisi net bir şekilde ortaya konması gerekmektedir. Çünkü elde edilen kinematik verilerin zamansal sınıflaması için bu önemlidir. Van Gölü Havzasının kuzey kesiminde volkanik kayalar, güneyde metamorfik kayalar ve doğuda ise sedimanter kayalar baskın olarak yüzeylemektedir. Doğu Anadolu'nun volkanizma çalışmalarında bu bölgede yer alan bir çok farklı volkanik kaya değişik yöntemlerle (Ar/Ar, K/Ar) yaşlandırılmıştır (Innocenti vd., 1976, 1980; Lebedev vd., 2010). Aynı zamanda havzada yer alan bazı çökel paketleri de Optik Uyarımlı Işınım yaşlandırma tekniği ile tarihlendirilmiştir (Kuzucuoğlu vd., 2010; Görür vd., 2015). Bu proje kapsamında gerekli görülen noktalardan örnekler alınarak, yaşlandırma için gerekli laboratuarlara gönderilmiştir. Van Gölü havzası içerisinde 6 farklı noktadan alınan *Dressencia* sp fosilleri U/Th yaşlandırması için Kanada, Bazalt örnekleri ise K/Ar yaşlandırması için Rusya'da bulunan laboratuarlara analiz edilmiştir. Elde edilen ve literatürde var olan yaşlar birlikte değerlendirilerek Van gölüne ait genç çökel stratigrafisi oluşturulmaya çalışılmıştır.

### 1.3.4. Kinematik analiz

Havzaların haritalanması ve kesitlerin detaylı çalışılması sürecinde gözlenecek faylar standart jeolog pusulası yardımıyla ölçülmüş, her bir fayın, doğrultu, eğim ve kayma çizgisi yönü ile hareket yönü, miktarı ve türü ile ilgili veriler kaydedilmiştir. Bu veriler bir topluluk olarak aşağıda kapsamlı olarak anlatıldığı şekilde sınıflandırılarak, analiz edilmiştir.

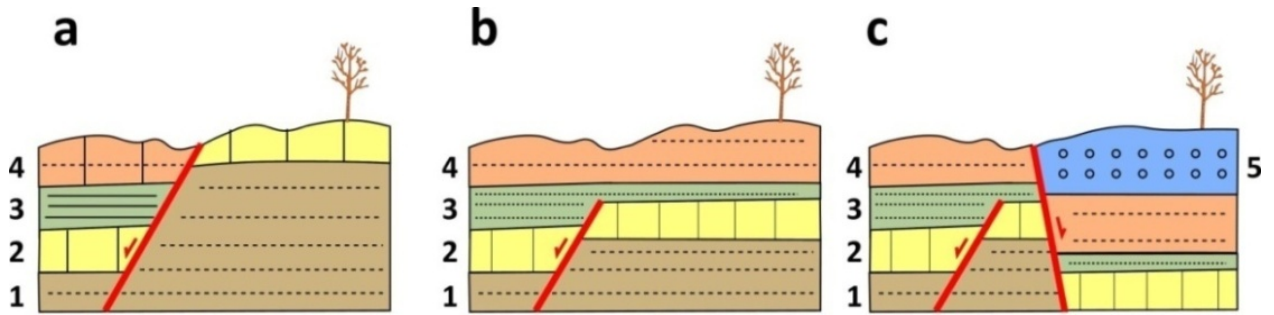
Sabit bir gerilme rejimi altında kırılğan ya da kataklastik deformasyona maruz kalan kayalar içerisinde genellikle sistematik kırık hatları oluşur. Riedel makaslamları olarak tanımlanan bu kırıkların yönelimi ve hareket yönleri kil ve hesaplamalı deneylerle ortaya konulmuştur (Şekil 4a; Tchalenko, 1970; Dresen, 1991). Sağ yönlü makaslama ile sonuçlanan bir gerilme rejimi kontrolünde gelişen makaslamlar, gerilme elipsoidi içerisinde tanımlanabilir. Bu makaslamların evrimi içerisinde önce birincil antitetik ve sintetik makaslamlar (R ve R'), deformasyonun ileri aşamalarında ise ana yerdeğiştirme zonu (Y) ile ona eşlik eden ikincil antitetik ve sintetik makaslamlar (P ve X) gelişmektedir (Dresen, 1991). Bu sistematik, arazi çalışmalarında haritalanan ana makaslamları kontrol eden gerilme rejimi hakkında ön bilgi edinilmesine yardımcı olur.



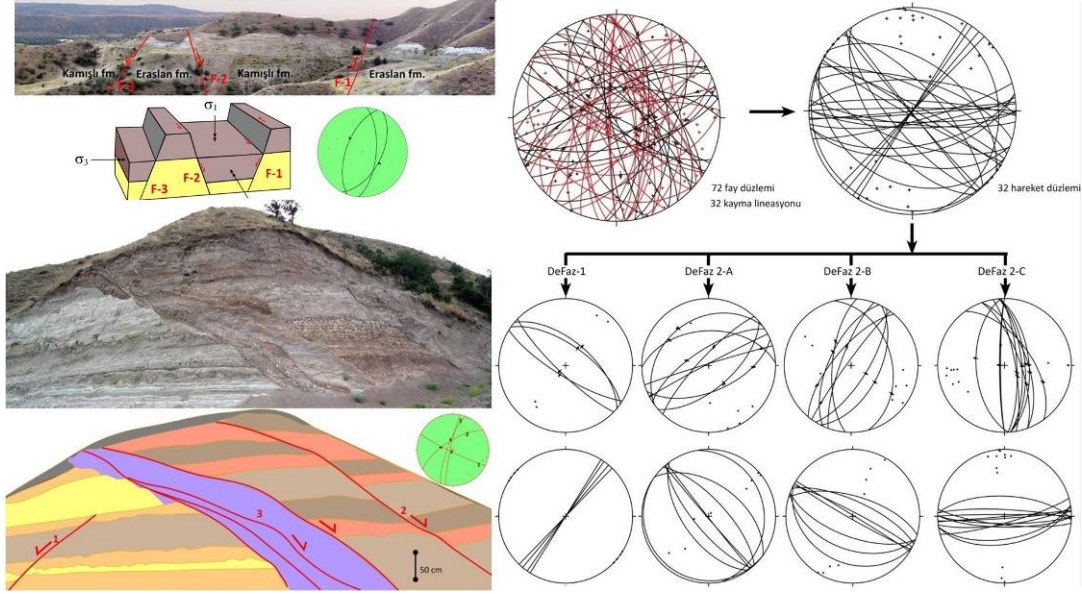
**Şekil 4.** a) Sağ yönlü basit makaslama içerisinde gelişen Riedel makaslamlarının (Tchalenko, 1970) gerilme elipsoidi içerisindeki yeri; b) Üç farklı gerilme rejimi içerisinde gelişen sırasıyla normal, bindirme ve doğrultu atım karakterli eşlenik fay setlerinin ve bunlara eşlik eden asal gerilme eksenlerinin şematik gösterimi (Angelier, 1994)

Arazi çalışmalarında en sık gözlemlenen fay türü olan eşlenik fayları (Şekil 4b) oluşturan gerilme rejiminin bileşenlerini belirlemek mümkündür. Buna göre maksimum gerilme eksenini olan  $\sigma_1$  kesişen fay düzlemleri arasındaki dar açının ortayından geçmektedir. Orta gerilme eksenini olan  $\sigma_2$  ise kesişim çizgisine paraleldir. En küçük gerilme (minimum) eksenini olan  $\sigma_3$  ise iki fay düzlemi arasındaki geniş açı ortayından geçmektedir (Şekil 4b; Angelier, 1994). Kesitte ölçülen iki eşlenik fayı oluşturan gerilme tensörünün bileşenlerinin kesin yönelimlerinin grafiksel yöntemlerle belirlenebilmesi için kayma lineasyonu bilgisi de gerekmektedir (Sunal ve Tüysüz, 2002).

Bu çalışma kapsamında incelenecek veriler, lokasyon ve ilişkili çökelme paketinin havza stratigrafisindeki yerleri gözetilerek sınıflandırılacaktır. Bunun yanı sıra faylanma ve çökelme arasındaki ilişkinin de gözetilmesi gerekmektedir. Genişlemeli tektonik rejimlerde havza oluşumunu kontrol eden sınır fayları zaman içerisinde ilerleyerek çökelme alanının derinleşmesini sağlarlar. Böylece sedimanter birimler içerisinde çökelmeyle yaşıt faylanma izlenir. Bu faylara ait veriler havza oluşumunu kontrol eden bölgesel gerilme rejimini yansıtır. Doğru atım egemen açılmalı rejimlerde gelişen havzaları (çek-ayır ya da romboidal) kontrol eden sınır fayları zaman içerisinde aktivitesini kaybederek yerlerini havza içerisinde doğru yeni oluşan faylara terk eder. Bu faylar kontrolünde yeni çökme alanlarının oluşması ile eski havza çökelleri görece yükselmeye ve aşınmaya başlarlar. Havza gençleşmesi olarak tanımlanabilecek bu süreç içerisinde eski çökelme birimleri de deformasyona uğrarlar. Çökelme ve olasılıkla diyajenezden sonra gelişen bu deformasyonu kontrol eden fayları arazide kesit üzerinde tanımlamak mümkündür (Şekil 5 ve 6). Bu fayların kinematik analizi gençleşme sürecinde egemen olan gerilme rejimini yansıtmaktadır. Deformasyon fazlarını birbirinden ayırmak genellikle iki türlü mümkün olabilmektedir. Bunlardan ilki faylar arasındaki birbirini kesme ilişkisidir, bir diğer yöntem de faylanmanın etkilediği çökelme biriminin yaşı ve fayın çökelmeyle ilişkisinin belirlenmesidir. Bir istif içerisinde yüksek çözünürlüklü zaman kontrolü farklı tektonik fazların zamansal ve mekansal olarak ayrılmasında büyük önem taşımaktadır (Şekil 6).



**Şekil 5.** Genç birimlerde faylanma ve kesitte gözlemlenen stratigrafi arasındaki ilişki. a) faylanma çökelmeden gençtir, b) faylanma 3 numaralı birimin çökmesi ile yaşittir c) sin-sedimenter faylanmadan genç, depolanma sonrası fay gelişimi (Erturaç, 2009)

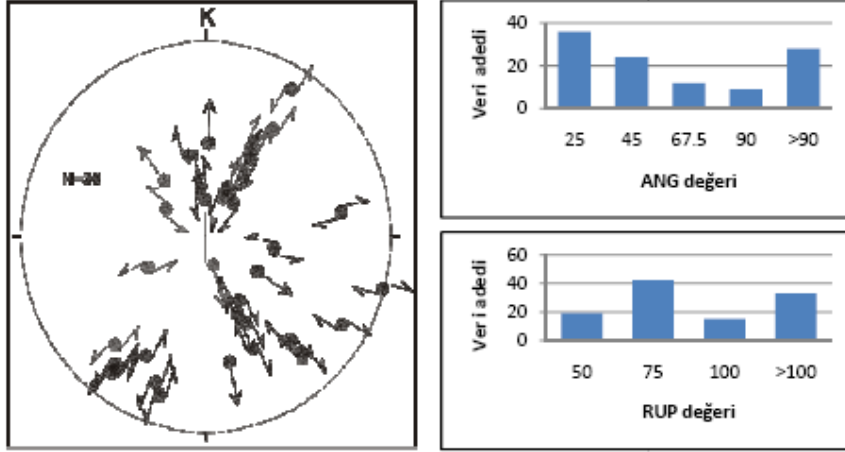


**Şekil 6.** Amasya Suluova Havzası'nın güneybatı kesiminde yer alan bir yarma içerisinde Erken-Orta Pleyistosen yaşlı çökellerin çok fazlı deformasyonu ve bu fazların stratigrafik ilişkileri ve grafiksel kinematik analiz yöntemleri (hareket düzlemleri) ile ayrılması (Erturaç, 2009)

Faylarla ilgili tektonik analizler, aktif fay düzlemleri üzerinde ölçülen kayma vektörlerinin değerlendirilmesi sonucunda elde edilmektedir. Bu analizler Wallace (1951) ve Bott (1959) tarafından tanımlanan gerilme-makaslama ilişkisine dayandırılmıştır. Her bir fay düzlemi üzerindeki kayma vektörü etkin çözümlenmiş makaslama gerilmesinin yönünde ise (Bott, 1959), ölçülen kayma vektörlerinin ters çözüm işlemi ile en uygun gerilme tensörü hesaplanabilir (Carey-Gailhardis, 1979; Angelier, 1984). Angelier'in doğrudan terslenme yöntemi (direct inversion method) matematiksel yaklaşımlarla kurulan fonksiyonlara dayanır ve terslenme çözümlerinde en fazla kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntem fayın özelliklerini kullanarak asal gerilme vektörlerinin ve  $\Phi$  oranının hesaplanmasını sağlar. Kullanılan özellikler fayın karakteri, doğrultusu, eğimi ve kayma çiziklerinin yönelimidir. Angelier (1994) tarafından geliştirilen sayısal metod ile yapılan analizler sonucunda önemli üç değer elde edilir. Bunlar ANG, RUP ve  $\Phi$  değerleridir. Bu yöntemde girilen veri tabanının güvenilirliğini belirleyen parametreler ANG ve RUP değerleridir (Angelier, 1990,1994). ANG değeri, hesaplanan makaslama gerilimi ile gerçek kayma vektörü arasındaki açıdır ve derece olarak verilir. Bu Açı  $0^{\circ}$  ile  $180^{\circ}$  arasında değişir ve ortalama değer  $45^{\circ}$ 'den büyük olması durumunda sisteme uyumlu olmadığını gösterir. ANG değeri veri tabanının homojenliğini gösterir ve sonuçların şüpheli olmasının belirlenmesinde son derece önemlidir (Angelier vd., 1982; Angelier, 1990). Veri dağılımı değerlendiren diğer önemli faktörlerden olan RUP değeri hem makaslama-kayma açısına hem de nispi makaslama geriliminin büyüklüğüne bağlı bir değerdir. RUP değeri % olarak alınır ve bu değer %0 ile %200 arasında değişmektedir. Bu faktörde yani RUP değerinde tercih edilen değer %50'nin altındaki değerlerdir ve homojenliği



göstermektedir (Angelier, 1990). % 50 ve %75 arasındaki değerler ise ortalama değerler olarak kabul edilmektedir (Şekil 7).



**Şekil 7.** Çifteler - Mahmudiye (Eskişehir) havzasının içerisinde yer alan 112 adet fay düzlemi ve kayma çizgisi verisinin birlikte değerlendirilmesi ile elde edilen stereografik projeksiyon ağındaki genel görünümü, ayrıca verilen veri tabanına girilen verilerin ANG ve RUP değerlerinin karşılaştırılması (Sağlam-Selçuk, 2009)

Yapılan analiz sonucunda elde edilen değerlerden bir diğeri de  $\Phi$  değeridir.  $\Phi$  oranı, asal gerilimler büyüklüklerinin farklarını birbirine oranı olarak temsil edilir ( $\Phi = \sigma_2 - \sigma_3 / \sigma_1 - \sigma_3$ ). Bu değer 0 ile 1 arasında değişir ve 0'a yaklaştıkça  $\sigma_2$  ve  $\sigma_3$ 'ün büyüklükleri de birbirine yaklaşmaktadır. Bu gibi tektonik rejimlerde deformasyon esnasında  $\sigma_2$  ve  $\sigma_3$  eksenleri yer değiştirebilir ve farklı doğrultularda faylaşmalar gözlenebilir.  $\Phi$  oranı 1'e yaklaştıkça  $\sigma_3$ 'ün büyüklüğü diğer eksenlerden uzaklaşacak ve tek eksenli bir genişleme söz konusu olacaktır (Angelier, 1994).

Sınıflandırılan verilerin kinematik analizinin gerçekleştirilebilmesi için (grafiksel düz ya da hesaplamalı ters çözüm yöntemleri) gözlemlenen her bir fay düzleminin doğrultusu ve eğimi ile bu düzlem üzerinde gözlemlenen hareketin doğrultu (kayma lineasyonu) ve yön bilgileri kullanılmaktadır (Angelier, 1994). Kayma çizgileri, sürtünme nedeniyle oluşan yivlenme ve/veya düzlem üzerinde gerçekleşen açılma sonucu bu yivler üzerinde kalsit kristalleşmesi ile gelişen lifsi çizgiler olarak sınıflanmaktadır.

Arazi çalışmalarında ölçülen birden çok faya ait bilgilerin (doğrultu, eğim ve kayma lineasyonu ile hareket yönü) oluşturduğu setler kinematik analiz yöntemleri ile değerlendirilmiş ve özellikle gerilme elipsoidinin temel bileşenini oluşturan asal gerilme eksenlerinin yönelimi belirlenmeye çalışılmıştır. Literatürde arazide derlenen verilerin



kinematik analiz yöntemlerine yönelik çok sayıda çalışma vardır. Kinematik analiz yöntemleri grafiksel düz ve hesaplamalı ters çözüm yöntemleri olarak iki gruba ayrılmaktadır. Bu çalışma kapsamında verilerin derlenmesi ve grafiksel yöntemler için ücretsiz **Stereonett** programı, yukarıda tanımlanan hesaplamalı yöntemler için de **Pangea Scientific™** lisanslı yazılımı olan **MyFault 1.03®** kullanılmıştır.

#### **1.4. Proje Eleman yapısı**

Proje çalışmaları, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği bölümü, Sakarya Üniversitesi Coğrafya Bölümü ve İstanbul Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde görevli akademik personel tarafından yürütülmüştür. Çizelge 1'de proje eleman yapısı ve proje elemanlarının projedeki görevleri sunulmuştur.

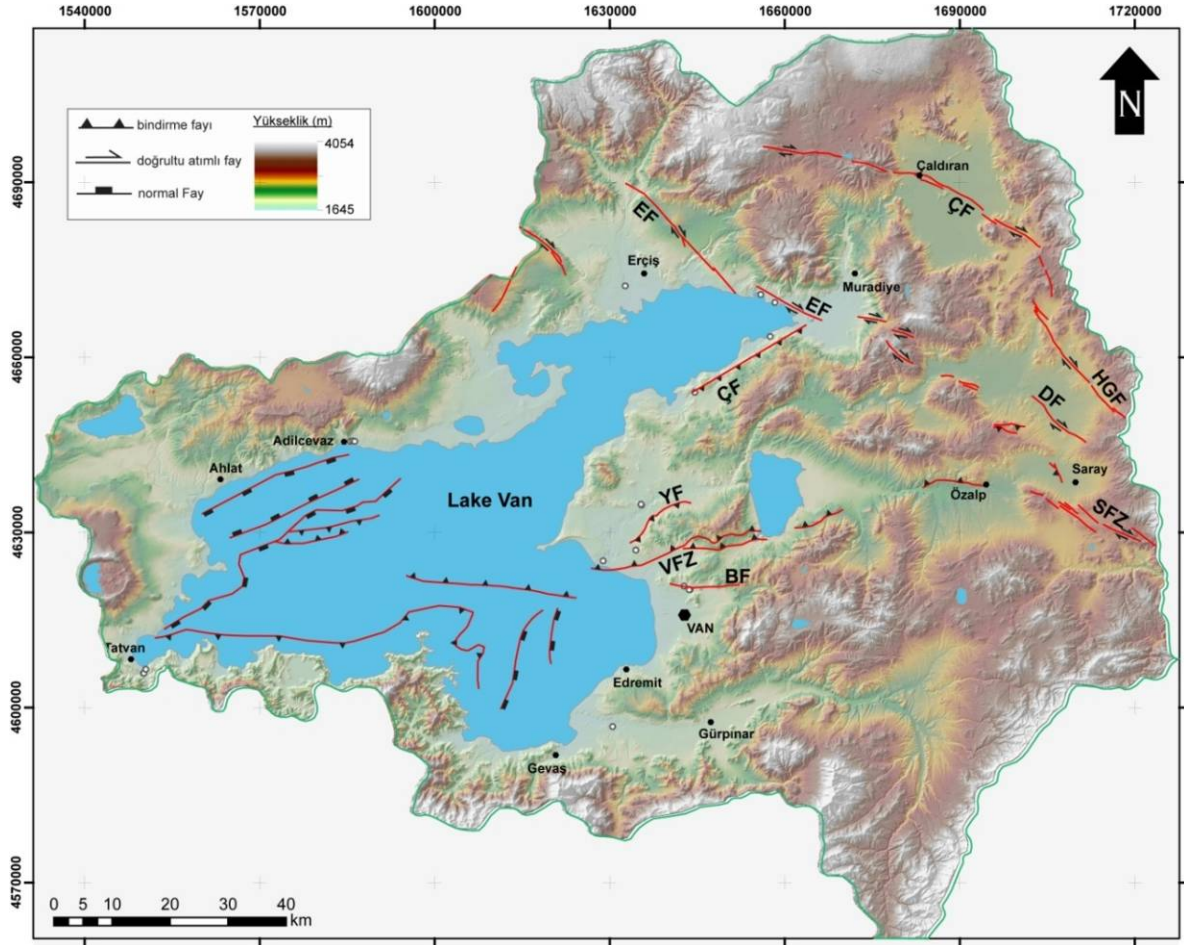
| İP No | İP Adı/Tanımı   | Kim(ler) Tarafından Yapılacak ağı | AYLAR |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
|-------|---|-----------------------------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
|       |   |                                   | 1     | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |   |
| İP01  | Arazi çalışmaları için altlık haritaların oluşturulması                           | ASS, MKE, YL                      | X     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| İP02  | Arazi çalışmaları (Fay haritalaması, kinematik veri setleri, havza stratigrafisi) | ASS, MKE, YL                      | X     | X |   |   |   |   |   |   | X | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| İP03  | Yaş verisi olmayan çökel paketlerinden örnekleme                                  | ASS, MKE, YL                      | X     | X |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| İP04  | Numunelerin laboratuvar ortamında ayıklanması (Kuvars ve Feldispat)               | ASS, MKE, YL                      |       |   | X |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| İP05  | OSL/IRSL (Nordic Luminesans Lab) Tarihlendirilme Çalışmaları                      | Nordic L.L                        |       |   |   | X | X | X | X | X | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X |
| İP06  | Volkanitlerden tarihlendirme amaçlı örnek alımı                                   | ASS, MKE, YL                      | X     | X |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| İP07  | Volkanitlerden yaşlandırılmaya yönelik mineral ayıklanması                        | ASS, MKE, YL                      |       |   | X |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| İP08  | Arı/Ar Tarihlendirme (L-SCE, Fransa)  | L-SCE                             |       |   |   | X | X | X | X | X | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X |
| İP09  | Harita ve verilerin büroda elektronik ortamına aktarılması                        | ASS, MKE, YL                      |       | X |   |   |   |   |   |   |   |    | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| İP10  | Kinematik Analiz Çalışmaları  | ASS, MKE, YL                      |       | X |   |   |   |   | X |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| İP11  | Proje amacına yönelik haritaların ve havza gerilime modelinin ortaya konulması    | ASS, MKE, YL                      |       |   |   |   |   |   | X | X |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X |

## 2. BÖLGESEL JEOLJİ VE TEKTONİK

Van Gölü Havzası, Bitlis-Zagros Bindirme kuşağının hemen kuzeyinde ve aynı zamanda Kuzey Anadolu Fayı'nın Doğu Anadolu Fayı ile kesiştiği Karlıova Üçlü Ekleminin yaklaşık 125 km doğusunda yer almaktadır (Şekil 2). Van Gölü havzası, Arap levhasının Avrasya levhası altına dalarak aradaki okyanusu kapatması sonucu başlayan kıta-kıta çarpışmasının ürünlerinden birisi olduğu öne sürülmektedir (Şengör ve Kidd, 1979; Dewey vd., 1986; Şaroğlu ve Yılmaz, 1986). Bu havza Geç Pliyosen'de oluşmaya başlamış ve Kuvaterner'de etkili olan volkanizma ile son şeklini almıştır (Blumenthal vd., 1964; Wong ve Finckh, 1978; Degens vd., 1984). Bir tektonik çökme gölü olduğu öne sürülen Van Gölü ve içinde bulunduğu havza, kuzeydoğusunda Erek Dağı (2592 m) ve Tendürek Volkanı (3533 m), kuzeyinde Süphan Volkanı (4051 m); batısında Nemrut Volkanı (2950 m) ve güneyinde ise Bitlis Masifinin düşük dereceli metamorfik kayaçlarının yer aldığı Artos Dağı (3310 m) tarafından sınırlandırılmaktadır (Şekil 3).

Van Gölü Havzası ve çevresinde birçok ana aktif fay zonu bulunduğu bilinmektedir (Arpat vd., 1977; Şaroğlu vd., 1984; Koçyiğit vd., 2001; Bozkurt, 2001; Dhont ve Chorowicz, 2006; Koçyiğit 2013). Bunlardan bazıları Gürpınar Fayı, Alaköy Fayı, Erciş-Karayazı Fayı, Everek Fayı, Çaldıran Fayı vb. fay zonlarıdır (Şekil 8). MTA tarafından 2013 yılında tekrar revize edilen "Türkiye Diri Fay Haritasında" Van Gölü havzasının doğusunda ve kuzeyinde Holosen döneminde de aktivitesini koruyan birçok fay haritalanmıştır (Emre vd., 2013a). Bunlardan en önemlileri havzanın doğusunda bulunan Tabanlı fayı veya Van fay zonu ile Yeni Köşk fayı ve kuzeyinde yer alan Erciş ve Süphan faylarıdır. Havza da hem aletsel dönem içerisinde hem de tarihsel dönem içerisinde birden fazla yıkıcı deprem meydana gelmiştir (Şekil 8). Bunlardan yakın zamanlar da meydana gelen 24 Kasım 1976 Çaldıran depremi (Mw: 7.6) ve 23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen deprem (Mw: 7.2) 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi sonrasında gerçekleştirilen arazi çalışmaları, ana şok ve artçı deprem aktivitesi ve bölgenin depremselliği hakkında önemli çalışmalar yayınlanmıştır. Bu çalışmaların odaklandığı temel problem 2011 depremini üretmiş olan ana fay mekanizmasının temel özelliklerini kapsamaktadır (Özkaymak vd., 2011; Bayraktar vd., 2013; Görgün, 2013; Doğan ve Karakaş 2013; Altın vd., 2013; Elliott vd., 2013). Bu çalışmalarda genel olarak bu depremi üreten Tabanlı Fayı ve Erciş Bloğu ile Van bölgesi arasında kalan bölgenin KB-GD yönlü bindirme bileşenli tektonik rejimin etkisi altında kaldığını ifade etmektedirler. Bölgesel anlamda en detaylı çalışmalar Koçyiğit vd., (2001, 2013) ve Dhont ve Chorowicz (2006) tarafından yayınlanmıştır. Genel olarak Doğu Anadolu Bölgesinde yer alan fay ve fay zonlarının geometrik özellikleri ile bölgenin genel jeodinamik gelişimi açıklanmaya çalışılmıştır.

Van Gölü Havzası'nın genç tektoniği üzerine kara alanlarında gerçekleştirilen çalışmaların yanı sıra yakın dönemde Van gölü havzasındaki Van Gölü içerisinde gerçekleştirilen ayrıntılı sismik çalışmalarla, bu alana ilişkin önemli ölçüde veri kaynağı sağlanmıştır (PaleoVan Projesi, Litt vd., 2009; Çukur vd., 2014; Özalp vd., 2016). Van Gölü tabanına ait 22'den fazla sismik kesit ve bunların yorumlanması yapılarak göl tabanının aktif fay haritalaması yapılmıştır (PaleoVan Projesi, Eg. Litt vd., 2009; Çukur vd., 2014).

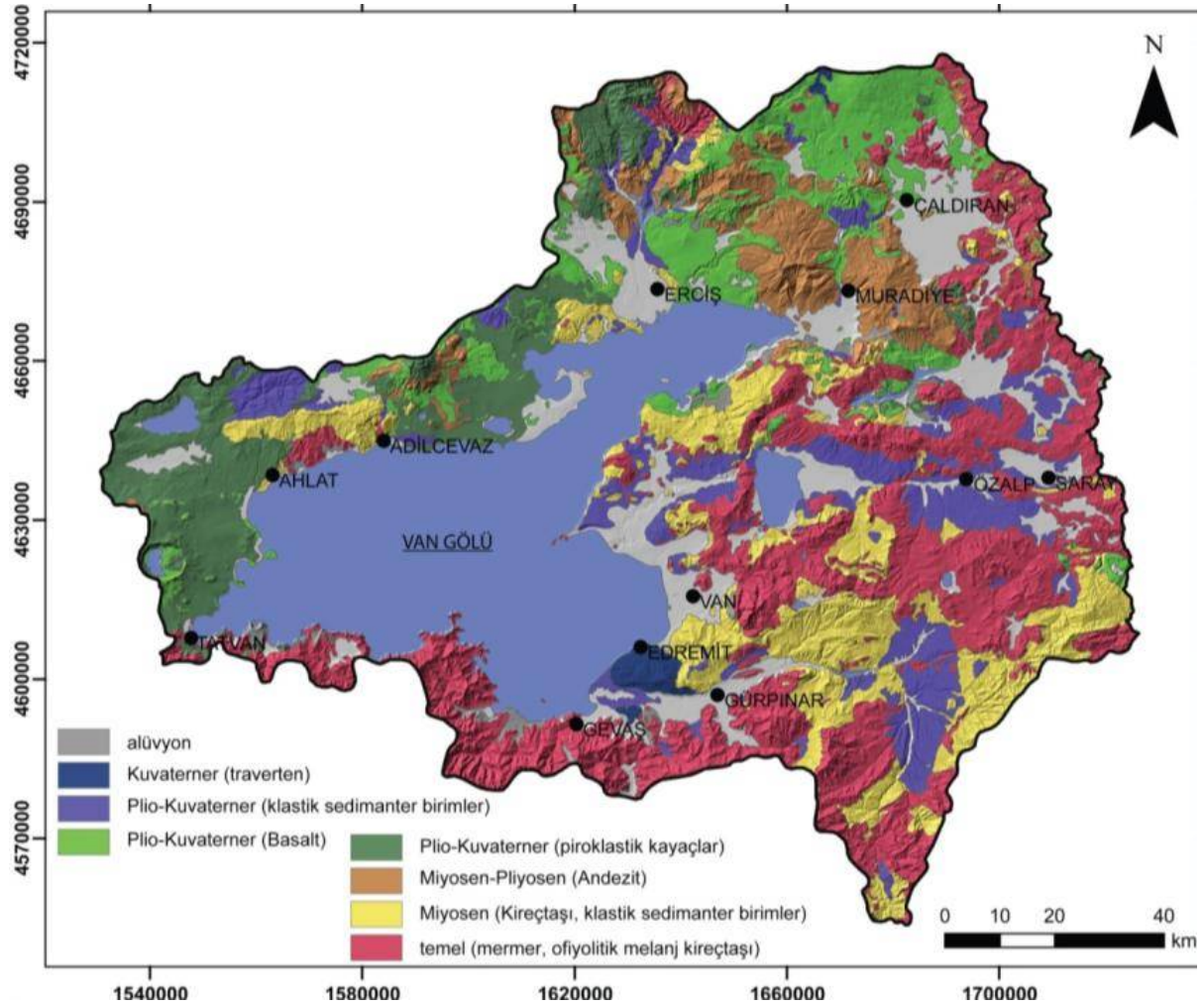


**Şekil 8.** Van Gölü Havzası aktif tektonik özellikleri (faylar, Emre vd., 2013; Çukur vd., 2014) (EF, Erçiş fayı; ÇF, Çaldıran fayı; DF, Dorutay fayı; SFZ, Saray fay zonu; YF, Yeni Köşk fayı; VFZ, Van Fay Zonu; BF, Beyüzümü fayı; ÇF, Çolpan fayı)

## 2.1. Van Gölü Havzasının Stratigrafisi

Van Gölü Havzası, gölün kenarları boyunca yüzeylenen heterojen bir stratigrafik temele sahiptir. Kuzey ve batı kenarlarında çoğunlukla Neojen ve Kuvaterner yaşlı volkanik kayalar ve bazı yerlerde ise kırıntılı ve karbonatlı Miyosen sedimanları yer alır (Şekil 9). Doğu kenarında, baskın olarak, Doğu Anadolu Birikim Karmaşığı'nı oluşturan Üst Kretase-Oligosen

ofiyolitik melanj ve flišli birimleri görülür. Güney kenarı çoğunlukla Bitlis masifinin Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar ile temsil edilir (Şekil 9). Bütün bu kayalar, günümüzden 600 bin yıl önceki oluşumundan beri Van Gölü'nde biriken 700 m kalınlığındaki sedimanların kaynak alanlarını oluşturmaktadır (Litt vd., 2009; Stockhecke vd., 2014a, b). Van Gölü Havzasının güney, doğu ve kuzeyinde, eski akarsu çökelleri, bazaltlar, Van gölünün taraça çökelleri ile genç akarsu çökelleri geniş yayılımlar sunduğu görülmektedir (Şekil 9).

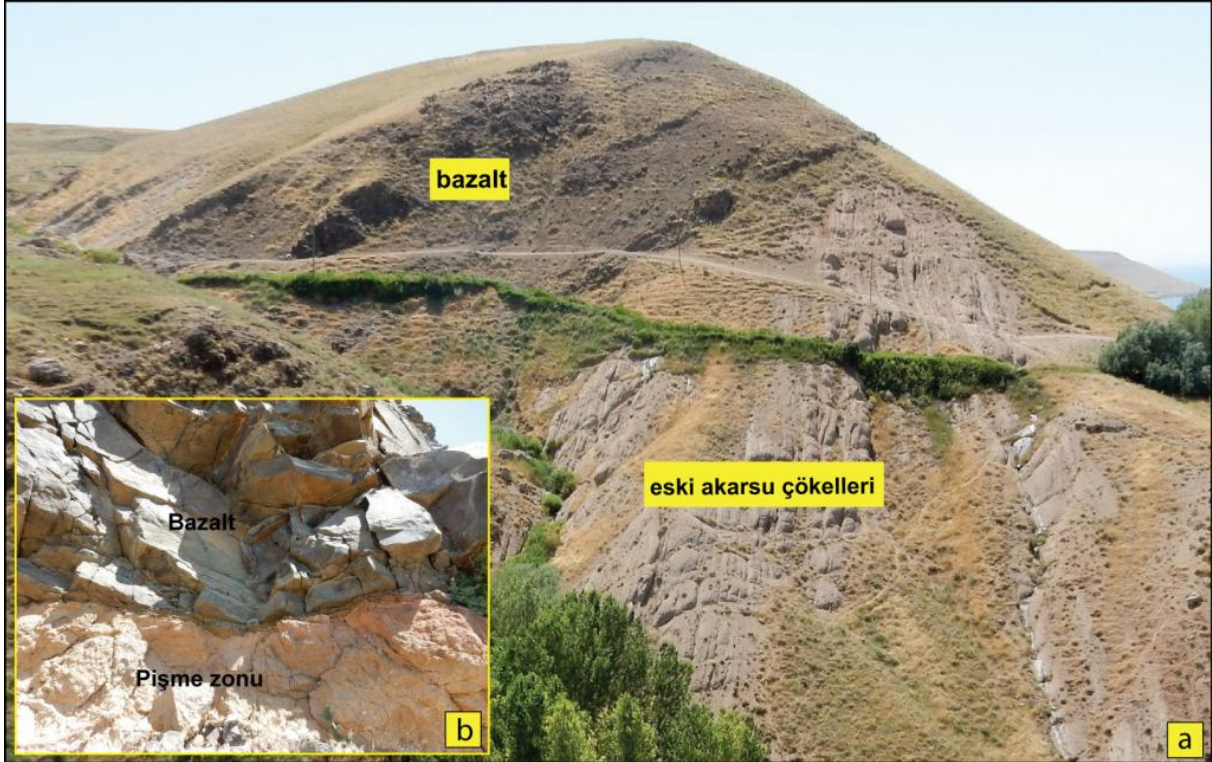


Şekil 9. Van Gölü Havzası'nın jeolojisi (Ateş vd., 2007 düzenlenerek).

Havzayı etkileyen tektonik dönemlere ait veri kayıtları havza içerisinde yer alan farklı kayaç yaş ve litolojideki gruplarında izlenebilmektedir. Bu mostralar genel olarak temel kayalar, Pliosen ve Pleyistosen olmak üzere 3 grup altında toplanabilir.

Eski karasal birimler (Kurtdeği formasyonu) ilk olarak Acarlar vd., (1991) tarafından tanımlanmıştır. Üst Miyosen yaşlı Van Formasyonu üzerine uyumsuzluk gelmekte ve

uyumsuz olarak Alt Pliyosen yaşlı bazaltlar (Arapkale bazaltı) ve gölsel çökeller tarafından örtülmektedir ([Şekil 10a](#)).



**Şekil 10.** a) Ermişler köyü civarında bazalt ile eski akarsu çökelleri arasındaki açık uyumsuzluk, b) bazaltın genel görünümü ve pişme zonu.

Eski karasal çökel birimleri, kumtaşı-kiltaşı-konglomera araldanmasından meydana gelmektedir. Bu birim uyumsuz olarak bazalt akıntısı içerisinde depolanmış kumtaşı-pomza araldanması ile Van Gölü'ne ait taraça çökelleri tarafından örtülmektedir. İstif genel olarak kötü boylanmalı, orta-kalın tabakalı, kırmızımsı renkli, bazı yerlerde polijenik bazı yerlerde monojenik çakıllı konglomera seviyesinden oluşmaktadır ([Şekil 11a](#)). İyi tutturulmuş ve karbonat çimentoludur.

Eski karasal çökeller, Van Gölü Havzasının genç çökel stratigrafisi içerisinde önemli bir konumda bulunmaktadır. Çünkü stratigrafik olarak, Üst Miyosen yaşlı Van formasyonu (Paleotektonik dönem içerisinde çökemiş en son türbiditik çökeller) ile Kuvaterner yaşlı birimler arasında bulunmaktadır. Ayrıca içerisinde volkanik hiç bir ürünün olmaması bölgedeki Kuvaterner volkanizmasından daha yaşlı olduğunu göstermektedir. Bölgede yapılan daha önceki çalışmalarda bu çökellere Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı stratigrafik konumuna göre verilmiştir. Yapılan arazi çalışmaları sırasında çökellerin en üst seviyesi içerisinde Dressencia sp. fosilleri bulunmuş ve U/Th yaşlandırılması yapılabilmesi için örnekler alınmıştır ([Şekil 11b](#)).



**Şekil 11.** a) Eski akarsu çökelleri (kumtaşı-kiltaşı-çamurtaşı ardalanması), b) çökelin en üst seviyesinde bulunan *Dressencia sp.* fosili.

Bazaltlar, genel olarak koyu kahve, siyah renkli, iri gözenekli ve akma yapılarına sahiptirler. Bazaltların alt kesimlerinde ise genel yaygın bir şekilde pişme zonları yer almaktadır (Şekil 10b). Ermişler köyü civarında bazaltlar uyumsuz olarak eski karasal çökelleri örter (Şekil 10a). Bu bazalt akıntılarının ara katmanlarında muhtemelen durgun göl ortamını ifade eden içyapıya sahip ve volkanitlerden türemiş kaba kumlardan oluşan seviyeler bulunmaktadır. Innocenti vd., (1976) tarafından Muradiye ilçesi güneydoğusunda yer alan bazaltlardan K/Ar yöntemi ile  $3,9 (\pm 0,1)$  Ma yaşı elde edilmiştir. Aynı yaştan Van Gölünün kuzeydoğusunda yer alan bazaltlar içinde geçerli olduğu vurgulanmıştır (Acarlar vd., 1991). Ancak bu alanda yüzeyleyen bazaltların yaşı bölge tektonizması açısından önemli olduğundan dolayı, radyometrik yaş tayini için taban ve gözlenebilir tavan seviyesinden farklı noktalardan örnek alınmıştır.

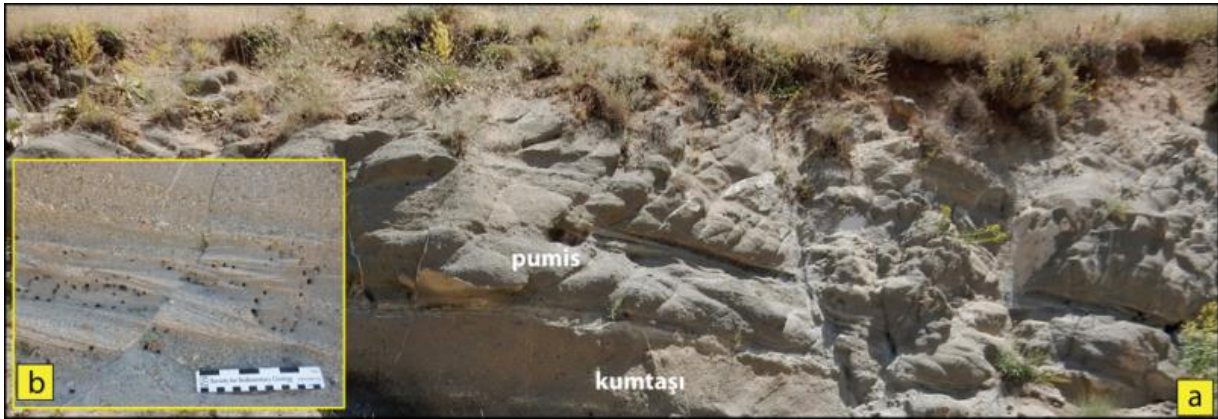
Van Gölünün kuzeydoğusunda bulunan Ermişler köyü civarından üç farklı lokasyondan bazalt örneği alınmıştır. Örnekler K/Ar yaşlandırması için Isotope lab of IGEM RAS (Rusya) laboratuvarına gönderilmiştir. Kuvaterner yaşlı olması beklenen bazaltlar için Orta-Üst Miyosen yaş sonuçları gelmiştir (Tablo 1). Diğer çalışmalardan elde edilen yaş sonuçları ile bu proje kapsamında elde edilen yaş sonuçları birlikte değerlendirilmiştir.

Ermişler köyü civarında bazaltlar ile eski karasal çökeller arasındaki açısal uyumsuzluk net bir şekilde görülmektedir. Eski akarsu çökelleri  $70^\circ$  ile güneye eğimlenmişken, bazaltlar  $30^\circ$  ile güneye eğimlenmiştir (Şekil 10a). Bazalt akıntılarının ara seviyesinde bulunan ve durgun ortamda (olasılıkla gölsel) çökeldiği içyapısından anlaşılan kırıntılı birimler genel olarak kirli beyaz-açık yeşil renkli ve ince katmanlıdır (Şekil 12a). Birimin yoğun bir deformasyona uğradığı ve birçok alanda normal ve ters faylarla kesildiği gözlenmektedir (Şekil 12b).



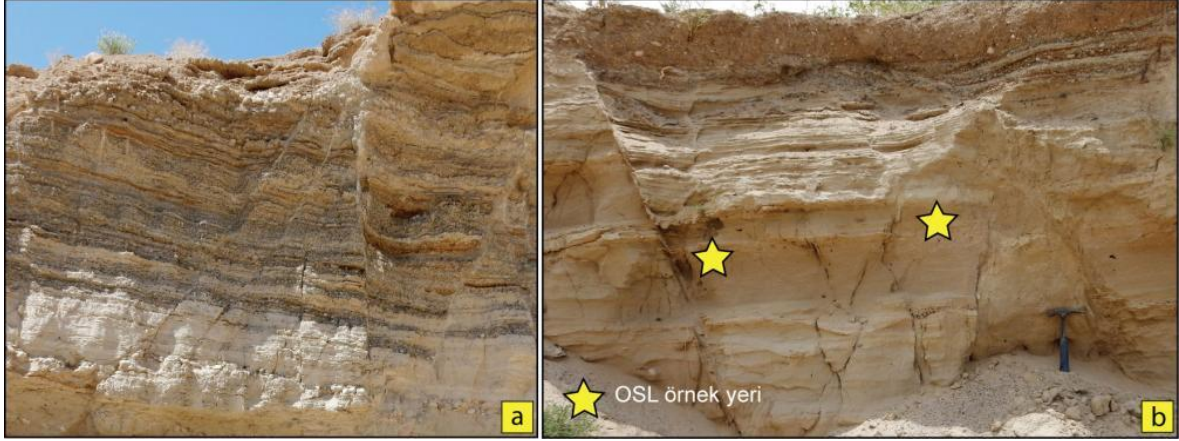
**Tablo 1.** Ermişler köyü civarından alınan bazaltların K/Ar yaş sonuçları.

| Örnek N  | Materyal   | K, %<br>$\pm \sigma$ | 40Arrad<br>(ng/g) $\pm \sigma$ | 40Aratm (%)<br>örnekte | Age, Ma*<br>$\pm 2\sigma$ |
|----------|------------|----------------------|--------------------------------|------------------------|---------------------------|
| V-15-24  | Groundmass | 0.782 $\pm$ 0.015    | 0.637 $\pm$ 0.007              | 81.5                   | 11.7 $\pm$ 0.5            |
| V-15-24A | Groundmass | 0.829 $\pm$ 0.015    | 1.088 $\pm$ 0.024              | 89.6                   | 18.8 $\pm$ 1.0            |
| V-15-27  | Groundmass | 1.82 $\pm$ 0.02      | 0.897 $\pm$ 0.010              | 81.0                   | 7.1 $\pm$ 0.2             |



**Şekil 12.** a) Bazalt akıntısı ile ardalanmış görsel birimin genel görünümü (pomza-kumtaşı) b) kumtaşı-pomza ardalanmasını kesen normal faylanma.

Van Gölü havzasının doğusunda geniş bir alanda, kumtaşı-kiltaşı-çakıltaşlarından oluşan Van Gölünün eski taraça çökelleri bulunmaktadır. Bu eski taraça çökelleri 1750 m seviyelerinde olup, [Kuzuoğlu vd., \(2010\)](#) çalışmasında havzanın en üst taraça seviyesi (Beyüzümü taraçası) olarak tanımlanmıştır. Çökel, kumtaşı-kiltaşı-bol fosilli seviyeler ile çakıltaşlarının ardalanmasından meydana gelmektedir ([Şekil 13a](#)). Kumtaşları iyi yıkanmış, gevşek tutturulmuş, sarı-gri renkli, ince-orta ve seyrek olarak da çapraz katmanlıdır. Çapraz katmanlanmayı küçük kanal dolguları kesmektedir. Tane boyu ince-kaba arasında değişir ve ince kumtaşları biyoturbasyonludur. Kumtaşları ile ardalanmalı bol *Dreissensia sp.* fosilli seviyeler birimin üst seviyelerine doğru yoğunluk kazanmaktadır ([Şekil 13b](#)). Yine çökelin üst seviyelerine doğru gidildikçe, kumtaşı ara düzeyli çakıltaşlı seviyeler göze çarpmaktadır. Çakıllar iyi boylanmalı, gevşek tutturulmuş ve kum matrikslidir.



**Şekil 13.** Beyüzümü taraçasına ait a) Kumtaşı-çakıltaşı ardalanması, b) İnce kum ve killi seviyelerin ardalanımı

Van Gölü doğusunda bulunan Beyüzümü Köyü kuzeyinde bu eski taraça çökelleri, 1730 ile 1780 m kotlarında farklı eğim dereceleri sunmaktadır. 1730 m civarlarında 05-10°, 1760 m civarlarında 35-40° iken 1780 m civarlarında bu eğim 75°'ye kadar çıkmaktadır (Şekil 14a ve b).

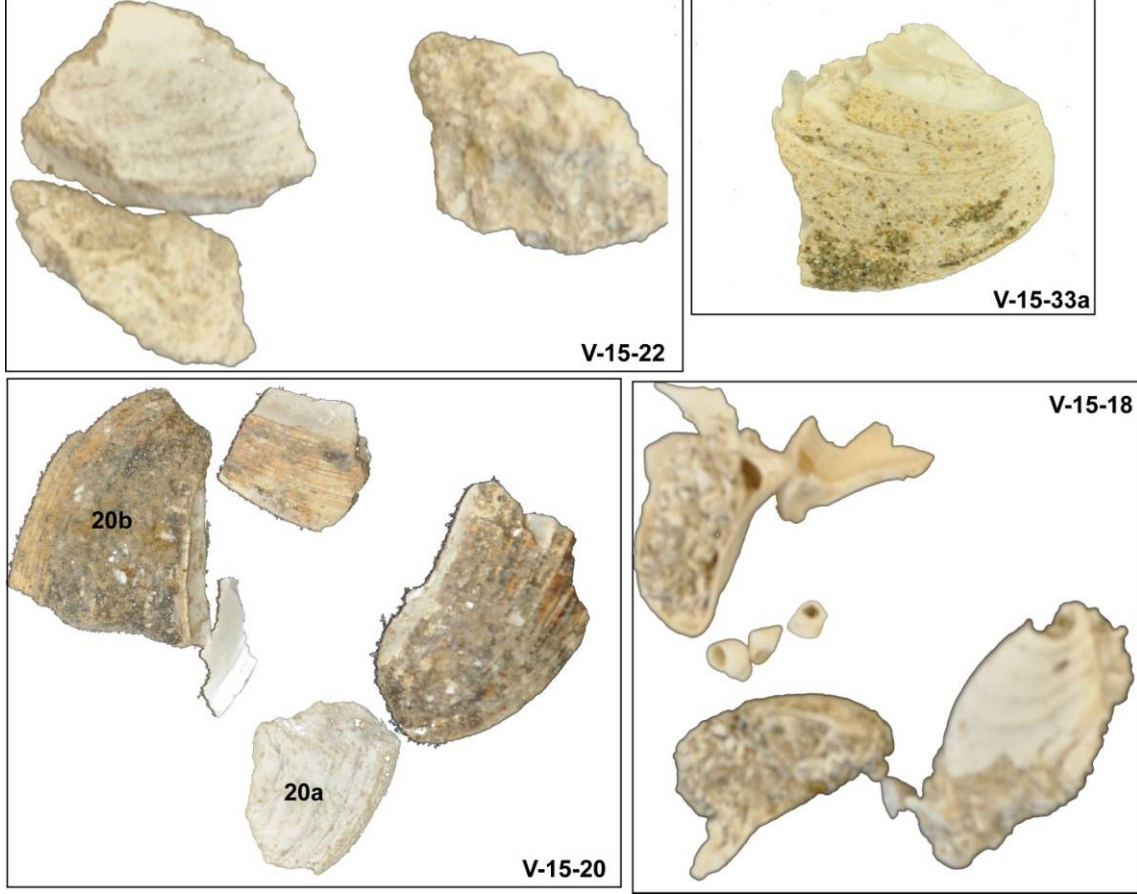


**Şekil 14.** a-b. Beyüzümü taraçasının kumtaşı ve bol *Dreissensia sp.fosilli* seviyelerinde meydana gelen eğimlenme.

Van Gölü havzasında yamaç döküntüleri, yelpaze ve akarsu çökelleri geniş bir yayılım sunmaktadır. Yelpaze çökelleri çakıl, kum, çamurdan oluşmaktadır. Delta çökelleri ince taneli malzemeden oluşurken, fan delta çökelleri kumlu-siltli-çakıllı seviyelerden meydana gelmektedir. Kuvaterner yaşlı olan bu birimler fay zonlarına yakın kesimlerde deforme olurken fay zonlarından uzaklaştıkça hiç bir deformasyon verisi sunmamaktadırlar.

Van Gölünün doğusunda altı farklı lokasyondaki göl taraça seviyelerinden *Dressencia sp* kavkıları toplanmıştır (Şekil 15). Bu kavkılar U/Th yaşlandırma tekniği kullanılarak yaş tayini için Kanada'da bulunan GEOTOP laboratuvarına gönderilmiştir. Van gölünün kuzeyinden

(Çolpan civarı) elde edilen yaş verisi  $384.7 \pm 9.1$  iken doğuda (Beyüzümü) bu yaşlar  $203.1 \pm 2$  civarındadır (Tablo 2).

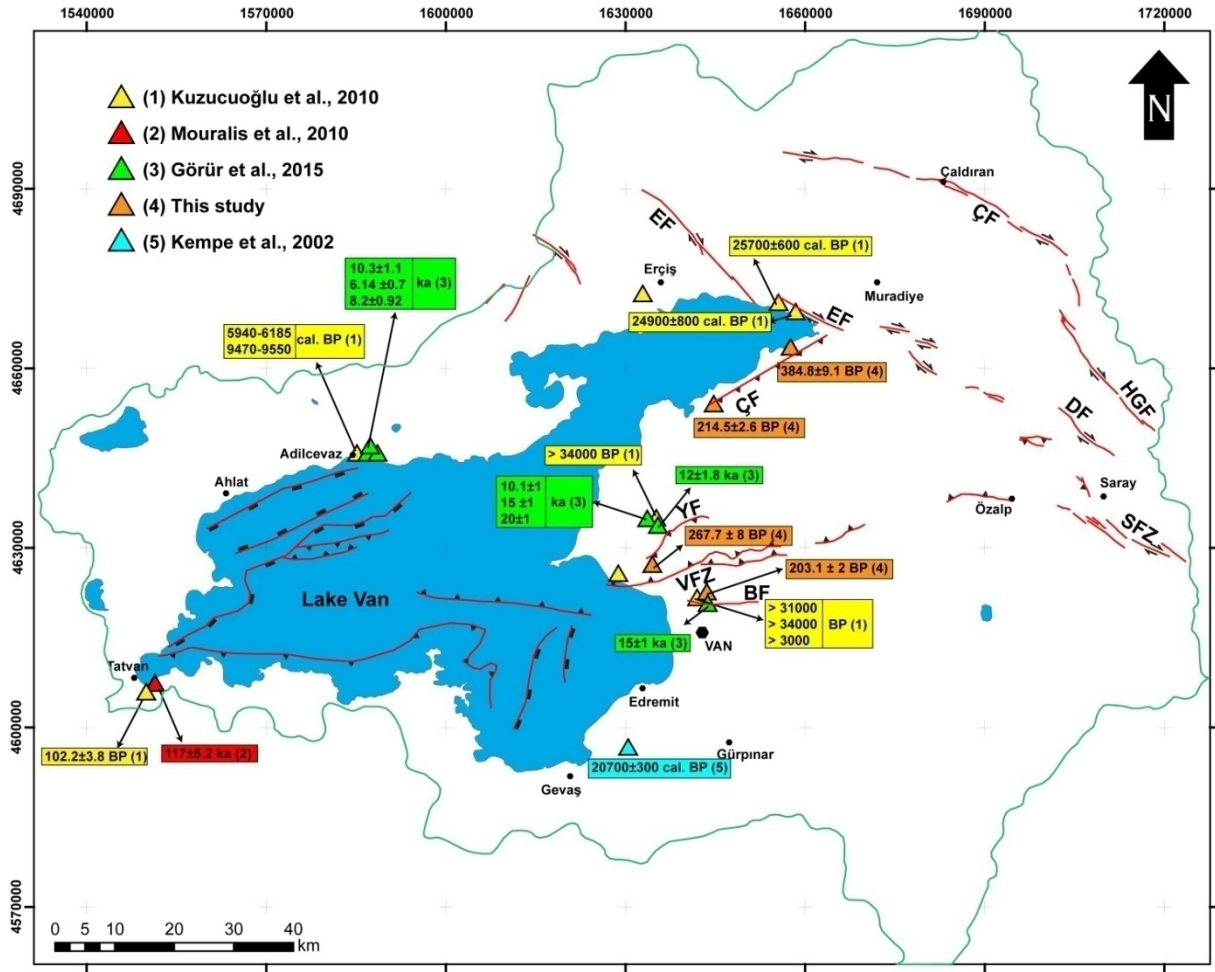


Şekil 15. Van Gölü taraça seviyelerin alınan *Dressencia* sp. fosilleri.

Tablo 2. Van Gölü taraça seviyelerinden alınan *Dressencia* sp fosillerinin  $U^{234}/^{230}Th$  yaş sonuçları.

| Örnek N | $^{238}U$ ppm | $^{232}Th$ ppm | $^{234}U/^{238}U$ | $^{230}Th/^{238}U$ | $^{230}Th/^{232}Th$ | Yaş (ka) | ±     |
|---------|---------------|----------------|-------------------|--------------------|---------------------|----------|-------|
| 18      | 5,96          | 0,0653         | 1,4135            | 1,2791             | 357,1180            | 203,171  | 2,050 |
| 20b     | 0,35          | 0,0126         | 1,8226            | 1,8870             | 163,8520            | 267,644  | 7,999 |
| 20c     | 0,13          | 0,0132         | 1,7487            | 2,4240             | 75,2120             | n.d.     | n.d.  |
| 22      | 3,19          | 0,0823         | 1,3549            | 1,2428             | 147,5880            | 214,492  | 2,574 |
| 33a     | 0,90          | 0,0457         | 1,7159            | 1,9162             | 116,7140            | 384,754  | 9,130 |
| 33      | 0,71          | 0,4978         | 1,7805            | 2,2174             | 97,0900             | n.d.     | n.d.  |

Taraça seviyeleri göl çevresinde 1656 m ile 1800 m arasında değişen çeşitli yüksekliklerde yüzeylenirler (Şekil 16). Bunlar çoğunlukla 3 ila 25 m kalınlıkta, kıyı ötesi ve göl kenarı (kıyı yakını, delta, kumsal ve alüviyal yelpaze) fasiyeslerine ait ve oluşum ortamları hakkında önemli veriler sunan iyi-korunmuş sedimanter yapılara sahip çökellerdir (Görür vd., 2015). Bu birimlerden elde edilen yaşlar Şekil 16'da derlenmiştir. Yaşlandırmalar daha önceki çalışmalarda radyokarbon, OSL ve 234Th/238U yöntemleri kullanılarak (Kempe vd., 2002; Kuzucuoğlu vd., 2010; Görür vd., 2015), bu çalışmada ise 234Th/238U yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 16. Van Gölü havzasındaki taraçaların yaşları.

## 2.2. Van Gölü Havzasında yer alan diri faylar

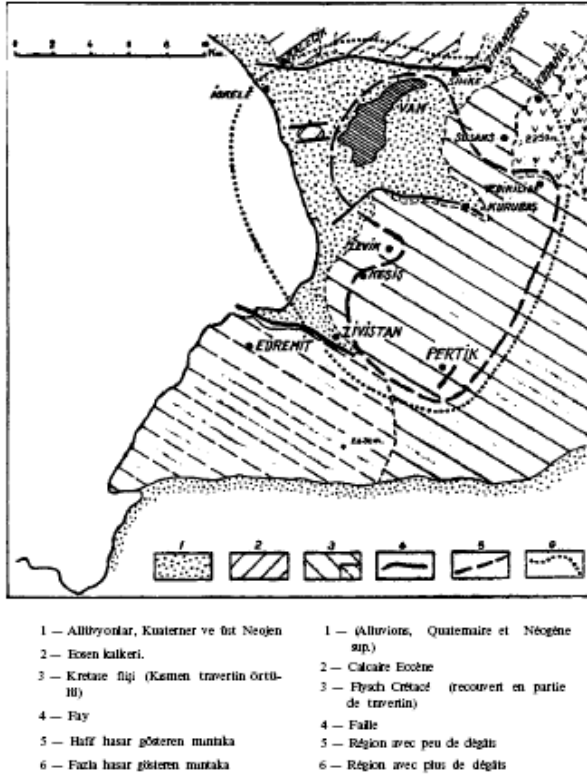
Van Gölü Havzası'nın genç tektoniği üzerine yapılan çalışmalar 2011 yılında meydana gelen deprem sonrasında farklı araştırmacılar tarafından daha ayrıntılı hale getirilmiştir. Bu çalışmaların çoğunlukla odaklandığı temel problem 2011 depremini üretmiş olan ana fay mekanizmasının temel özelliklerini kapsamaktadır (Özkaymak vd., 2011; Bayraktar vd.,

2013; Görgün 2013; Doğan ve Karakaş 2013; Altiner vd., 2013; Elliott vd., 2013; Emre vd., 2013b). MTA tarafından 2013 yılında tüm Türkiye'yi kapsayan bir çalışma yapılmış ve faylar aktif oldukları dönemlere bağlı olarak sınıflandırılmıştır (örn: Holosen fayı, Kuvaterner fayı, Deprem yüzey kırığı vs.) (Şekil 8). Aynı zamanda Koçyiğit (2013) tarafından yapılan çalışmada Van Gölü doğrusunda bulunan aktif faylar haritalanarak, bu faylar hakkındaki arazi ve sismik veriler ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Proje kapsamında Beyüzümü fayı (BF), Van/Everek Fayı (VFZ), Yeni Köşk Fayı (YF) ve Erciş Fayı boyunca kapsamlı arazi çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

### 2.2.1. Beyüzümü fayı (BF)

Beyüzümü Fayı Van il merkezinin kuzeyinde bulunan Kalecik köyünden başlayarak ile Sihke göletinin kuzeyine kadar yaklaşık 20 km uzunluğunda bir bindirme fayıdır (Mackenzie vd., 2016) (Şekil 8). İlk olarak Lahn (1946) tarafından tanımlanmış olup, Ateş vd., (2007) tarafından Beyüzümü fayı, Koçyiğit (2013) tarafından ise Kalecik fayı olarak adlandırılmıştır. 1945 yılının Haziran ve Aralık aylarında, Van il merkezini etkileyen 5.8 (M) büyüklüğünde iki deprem meydana gelmiştir. Her iki depremin Van merkeze bağlı mahallerde yıkım yarattığı ve özellikle Aralık ayında meydana gelen ikinci depremden sonra Van merkezde iki katlı binanın kalmadığı ifade edilmiştir (27 Aralık Ulus gazetesi). Lahn (1946), bölgeyi etkileyen depremi yaratan kırık hatlarını haritaya işleyerek, aynı zamanda deprem hasar haritasını da oluşturmuştur (Şekil 17). Araştırmacı bölgede 3 ayrı aktif fay olduğunu, bunlardan ilkinin güneyde Edremit ilçesi ile Zivistan (Elmalı) arasından geçtiğini, ikinci aktif fayın merkez ile Kurubaş köyü arasına olduğunu ve son olarak kuzeyde İskele Mahallesi ile Sihke gölü arasında aktif bir kırık hattı olduğunu ifade etmiştir.

Beyüzümü fayı yaklaşık 20 km uzunluğunda, D-B gidişli bir bindirme fayıdır. Van il merkezinin kuzeybatısında bulunan Kalecik köyünden başlamakta ve bu alanda Paleosen-Eosen yaşlı kireçtaşları ile Kuvaterner yaşlı birimlerin dokanağını oluşturmaktadır. Doğuya doğru devam edildiğinde Beyüzümü köyünün hemen kuzeyi ile Van ili çöp alanı arasında hem morfolojik olarak hem de yapısal unsurlar bakımından en iyi izlenebildiği alandır. Bu alanda Miyosen yaşlı Van formasyonu ile Kuvaterner yaşlı Van gölü taraçaları arasında dokanak oluşturmakta ve taraça çökellerini 20-70° arasında değişen değerlerde eğimlendirmektedir. Beyüzümü fayı kuzeye eğimli olup taban blokta bulunan taraça çökellerinde mega boyutlu sürüklenme kıvrımları oluşturmaktadır. Kuvaterner yaşlı taraça çökelleri üzerinde meydana getirdiği deformasyon ve morfolojik veriler Beyüzümü fayının Holosen'de aktif olduğunu göstermektedir.



**Şekil 17.** 1945 depremini meydana getiren ana aktif kırık hatları (Lahn, 1946).

## 2.2.2. Van Fay zonu (VFZ)

Van Fay zonu (Everek fayı), Van bölgesinde birçok yıkıcı ve büyük depremin oluşmasına neden olmuştur, örneğin Tabanlı (Van) depremi Mw 7.2, 23 Ekim 2011 (KOERI, 2011). Ulusal ve uluslararası sismoloji istasyon verilerine göre, Tabanlı (Van) depremi 16 km derinlikte, Van ilinin 30 km kuzeyinde meydana geldi ve yüzeyde 15 cm'lik bir düşey yer değiştirmeye neden olmuştur. Tarihsel ve aletsel dönem kayıtları göstermiştir ki, Türkiye'de son 100 yıl içerisinde bindirme fayına bağlı olarak 7 ve üzerinde iki deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin, hem bölge hem de Türkiye için farklı ve araştırılması gereken bir konu olduğu farklı araştırmacılar tarafından öne sürülmüştür (Koçyiğit, 2013; Doğan ve Karakaş, 2013).

Van fay zonu 70 km uzunluğunda, 35° ile kuzeybatıya eğimli, yaklaşık K70°B doğrultulu bir bindirme fayıdır (Şekil 8) (Akyüz vd., 2011; Emre vd., 2011; Koçyiğit, 2013; Mackenzie vd., 2016). İki farklı segmentten oluşmaktadır: batı segmenti ve doğu segmenti. Batı segmenti, batıda Bardakçı köyünden başlayıp doğuda Aşit köyüne kadar D-B ile K70°B arasında değişen doğrultulara sahiptir. Batı segment bazı alanlarda, Van Formasyonu'nun (Miyosen) göl çökelleri (Pleyistosen) üzerine bindirmesi ile iki birim arasında tektonik dokanak

oluşturmaktadır. Doğu segmenti ise Gedelova köyü ile doğuda Erçek gölünün güneyine kadar uzanmaktadır. Genel olarak Van Formasyonu içerisinde morfolojik olarak takip edilmektedir. Bazı alanlarda batı segmentinde olduğu gibi iki birim arasında (Van formasyonu ile göl çökelleri) tektonik dokanak oluşturur. Van fay zonu aynı zamanda Van ilinin de yer aldığı Everek havzası olarak adlandırılan havzanın kuzey kenarını kontrol etmektedir. Bazı çalışmacılar Van fay zonu veya Everek fayının ters fay olduğunu iddia ederken (Koçyiğit, 2013); bazı araştırmacılar bu fayın bir kör bindirme olduğunu ifade etmektedirler (Özkaymak vd., 2011).

### 2.2.3. Yeni Köşk fayı (YF)

Yeni köşk fayı Van ilinin kuzeyinde bulunan Yeşilköy köyünden başlayarak doğuda Kasımoğlu köyüne kadar uzanmaktadır. İlk defa Emre vd., (2013a) tarafından hazırlanan Türkiye Diri Fay Haritasında tanımlanmıştır. Yeniköşk fayı yaklaşık olarak 13 km uzunluğunda güneye doğru eğimli bir bindirme fayıdır (Şekil 8). Genel doğrultusu D-B ile  $K80^{\circ}B$  arasında değişmektedir. Doğrultusu boyunca doğuda temel kayalar ile Pliyosen-Pleyistosen yaşlı çökeller arasında tektonik dokanak oluşturur. Batıda ise Pliyosen-Pleyistosen yaşlı çökeller içerisinde morfolojik olarak takip edilmektedir. Bu alanda bulunan akarsu çökelleri deformasyona uğramış, faylanmış ve birçok yerde kıvrımlanmıştır. Aynı zamanda Yeniköşk fayı, Karasu havzasının güney kenarını denetlemektedir. Bu yamaçta oluşan ani eğim kırılmaları fayın morfolojik olarak aktif olduğunun kanıtı durumundadır.

### 2.2.4. Erciş fayı (EF)

Erciş fayı, Van Gölü havzası içerisinde yer alan ana faylardan biridir. Yaklaşık olarak 50 km uzunluğunda  $K30^{\circ}-50^{\circ}B$  arasında değişen doğrultulara sahip, sağ yanal doğrultu atımlı bir faydır (Şekil 8). Birçok segmentten meydana gelen Erciş fayı kuzeydoğuda Ulupamir (Erciş) köyü ile Yumaklı (Muradiye) köyleri arasında yer almaktadır. Fay, batıda Girekol yanardağını keser ve bu alanda bulunan bazalt akıntılarında fay izi net belirgindir (Şaroğlu, 1985). Daha doğuya gelindiğinde Zilan deresi boyunca yer alan göl taraça seviyelerinde Erciş fayının neden olduğu deformasyon yapılarını (simit) görmek mümkündür. Ayrıca, Kuvaterner yaşlı bu göl taraçaları deformasyona uğramış ve normal faylar tarafından kesilmiştir. Aynı bölgede fay boyunca basınç sırtları ve dere ötelenmeleri morfolojik olarak izlenmektedir. Ünseli beldesinde yani güneydoğuya doğru gelindiğinde Etrüks yanardağının güney kenarını keser ve bu alanda yaklaşık 11 km sağ yanal bir ötelenme meydana getirir (Copley ve Jackson, 2006).

Tarihsel ve aletsel dönem kayıtları incelendiğinde Erciş bölgesinde birden fazla yıkıcı depremin meydana geldiği görülmektedir. Tarihsel kayıtlarda, 3 Ekim 1276 yılında Erciş ve Ahlat bölgesini etkileyen bir depremin meydana geldiği ve bu bölgelerde ciddi yıkımlar oluşturduğu belirtilmiştir (Ambraseys, 2009). Aletsel dönem kayıtları içerisinde Erciş'te 1941 ve 1977 yıllarında 5 ve üzerinde iki deprem meydana gelmiştir. 1941 depreminde 192 kişinin hayatını kaybettiği ve 36 köyün ağır hasar aldığı belirtilmektedir (Eyidoğan vd., 1991; Pınar ve Lahn, 1952). Hem morfolojik olarak hem de sismolojik olarak aktif olan Erciş fayı depreme kaynaklık etme olasılığı yüksek olan ana faylardan biri konumundadır.

### **2.2.5. Van Gölü içinde tanımlanan aktif faylar**

Van Gölü Havzası'nın genç tektoniği üzerine kara alanlarında gerçekleştirilen çalışmaların yanı sıra yakın dönemde Van gölü havzasındaki Van Gölü içerisinde gerçekleştirilen ayrıntılı sismik çalışmalarla, bu alana ilişkin önemli ölçüde veri kaynağı sağlanmıştır (PaleoVan Projesi, Litt vd., 2009; Çukur vd., 2014; Özalp vd., 2016). Van Gölü tabanına ait 22'den fazla sismik kesit ve bunların yorumlanması yapılarak göl tabanının aktif fay haritalaması yapılmıştır (PaleoVan Projesi, Eg. Litt vd., 2009; Çukur vd., 2014; Özalp vd., 2016). PaleoVan projesi kapsamında 1500 km çok kanallı sismik yansıma profilleri Van gölünden alınmıştır. Sismik ve sondaj verileri beraber değerlendirilerek Van Gölü'ne ait aktif fay haritası ortaya çıkarılmıştır. Van Gölünün batı ve güneydoğu kesimi normal faylarla kontrol edilirken doğuya doğru bindirme faylarının hâkim olduğu görülmektedir. Gölün güney kesimi ise güneye eğimli bir bindirme fayı tarafından kontrol edilmektedir. Van Gölü'nün orta kesimleri ise Ahlat sırtı adı verilen morfolojik yapının her iki kenarı bindirme fayları ile sınırlıdır (Şekil 8).

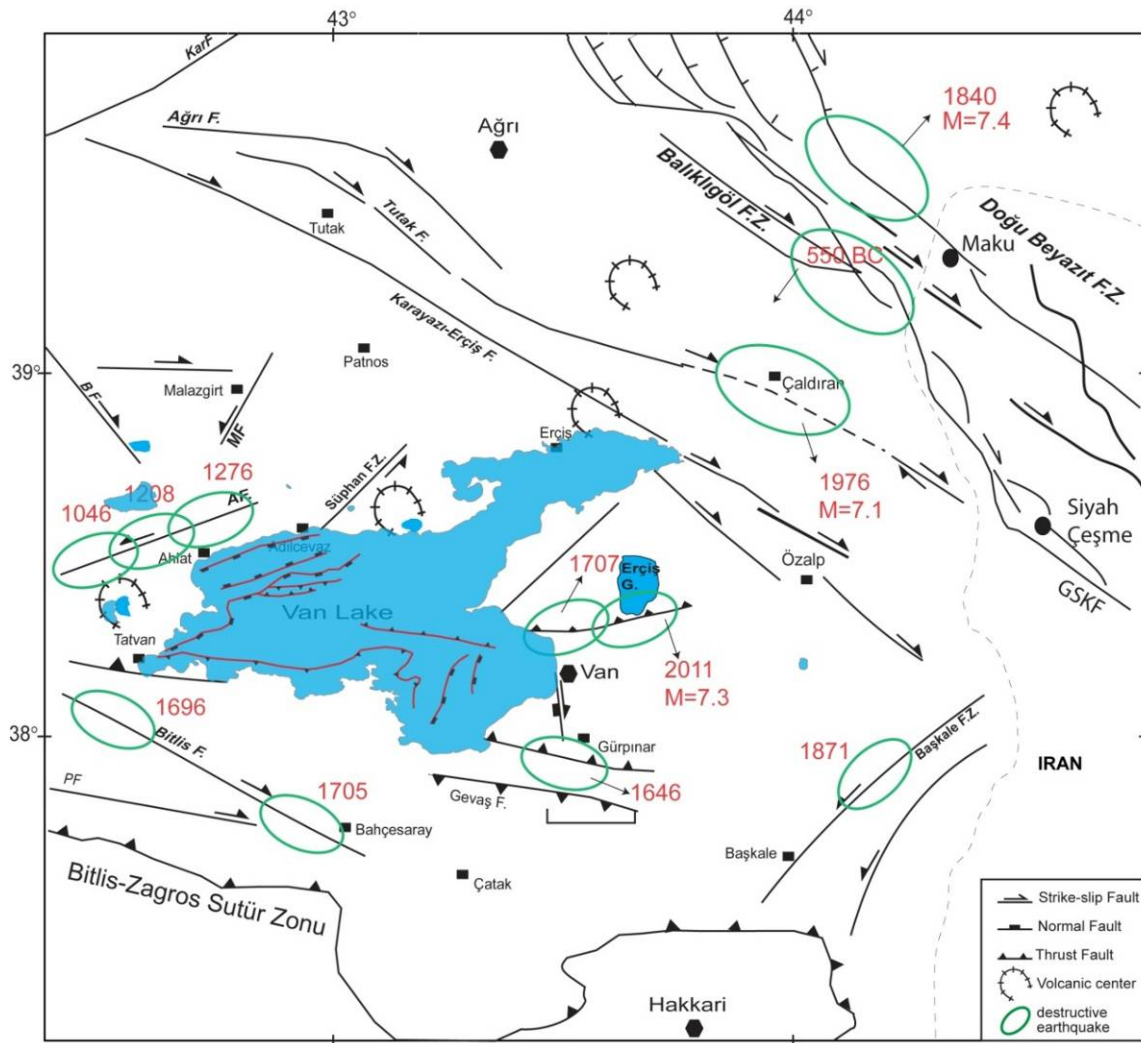
## **2.3. Van Gölü havzasının depremselliği**

### **2.3.1. Tarihsel depremler**

Van Gölü havzası bölgeyi etkileyen aktif tektonizmanın etkisi altında yükselmeye devam etmektedir (Şengör vd., 2008). Bu durum tarihsel ve aletsel dönemde meydana gelen depremler ile doğrulanmaktadır. Van Gölü havzasında meydana gelen depremler farklı araştırmacılar tarafından çalışılmış ve bu depremler katalog haline getirilmiştir (Ergin vd., 1967; Soysal vd., 1981; Ambraseys ve Finkel, 2006; Tan vd., 2008). Bu kataloglara göre Van Bölgesi 1101 ile 1900 yılları arasında V-X şiddet aralığının da 13 depremden etkilenmiştir. 1101, 1894 ve 1900 Van depremleri ile birlikte, 1111 yılında IX şiddetinde ve 17. Yüzyılın başlarında meydana gelen ve bir deprem dizisi şeklinde 2-3 yıl sürdüğü bildirilen VII-VIII şiddetlerindeki depremlerin merkez üstü (episantır) noktası Van şehri merkezi olarak



belirtilmektedir. Van Gölü havzasının batısında meydana gelen depremlerin Nemrut Kraterinin volkanik aktivitesi ile ilgili olduğu belirtilmektedir (Ambraseys ve Finkel, 1995). Ancak bu alanda meydana gelen depremlerin Van yerleşkesini de etkilediği söylenmektedir. Ayrıca Van Şehir merkezinin güneydoğusunda Güzelsu (Hoşap) ve çevresinde 16. ve 17. Yüzyılda meydana gelen VI ve VIII şiddetlerindeki depremlerin Van ve Erciş şehirlerinde de hasara neden oldukları bilinmektedir (Tablo 3; Şekil 18). 1648 (bazı yayınlarda 1646 olarak verilir; Ambraseys ve Finkel, 2006) yılında meydana gelen depremin Van'dan Gevaş, Hoşap ve Albaş'a kadar uzanan büyük bir alanda köyleri yıktığı söylenmektedir (Ambraseys ve Finkel, 2006). Artçı sarsıntılarının üç ay kadar sürdüğü belirtilen bu depremin toprak kaymalarını da tetiklediği vurgulanmıştır.



**Şekil 18.** Doğu Anadolu-İran platosu ve çevresinin aktif tektonik özellikleri ve depremler (faylar, Koçyiğit vd., 2001; Emre vd., 2013a; Çukur vd., 2014; tarihsel depremler: Ambraseys, 2001).

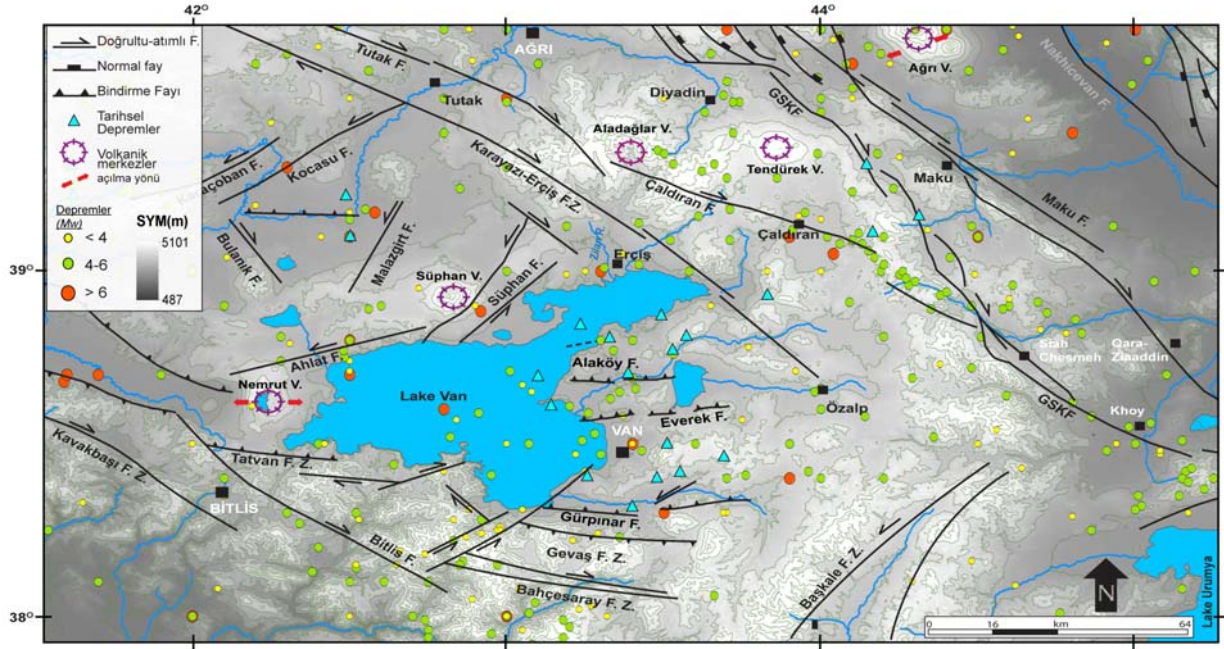
**Tablo 3.** Van Gölü Havzasındaki tarihsel dönem depremleri (Açıklama bölümünde parantez içerisinde verilen rakamlar kaynak numaralarını göstermektedir. (1) Ergin vd., 1967; (2) Soysal vd., 1981; (3) Ambraseys ve Finkel, 2006; (4) Tan vd., 2008. (M) Büyüklük; (I) Şiddet.

| Tarih | Enlem | Boylam | M   | I    | Açıklama-Etkilenen Bölgeler (ve Kaynakça) |
|-------|-------|--------|-----|------|---|
| 1101  | 38.47 | 43.3   | ?   | VI   | Van (1)                                   |
| 1111  | 38.5  | 43.4   | 6.6 | IX   | Van (1,2,4)                               |
| 1208  | 38.7  | 42.5   | 6.5 | ?    | Ahlat, Van, Bitlis, Muş (4)               |
| 1245  | 38.7  | 42.5   | 5   | VII  | Ahlat, Van, Bitlis, Muş (1,2,4)           |
| 1275  | 38.8  | 42.5   | 6.8 | -    | Ahlat, Van (4)                            |
| 1276  | 38.9  | 42.9   | 5   | VIII | Ahlat, Erciş, Van (1,2,4)                 |
| 1282  | 38.9  | 42.9   | 5   | ?    | Ahlat, Erciş (2,4)                        |
| 1439  | 38.6  | 42.3   | ?   | VI   | Van, Bitlis, Muş, Nemrut Bölgesi (1,2,4)  |
| 1441  | 38.3  | 42.1   | 5   | VIII | Van, Bitlis, Muş, Nemrut Bölgesi (1,2,4)  |
| 1646  | 38.3  | 43.7   | 5   | VI   | Van (3,4)                                 |
| 1647  | 39.15 | 44     | ?   | IX   | Van, Tebriz, Muş, Bitlis (2,4)            |
| 1648  | 38.3  | 43.5   | 6.8 | VIII | Hoşap, Van (2,3,4)                        |
| 1696  | 39.1  | 43.9   | 7.1 | IX   | Van (4)                                   |
| 1701  | 38.5  | 43.4   | 5   | VIII | Van (1,2,3)                               |
| 1715  | 38.4  | 43.9   | 6.7 | VIII | Van, Erciş (1,2,3,4)                      |
| 1791  | 39    | 43.7   | ?   | VI   | Van, Tebriz, Erzurum (1)                  |
| 1871  | 38    | 43     | 6.9 | VII  | Van (1,2,4)                               |
| 1881  | 38.5  | 43.3   | 7.3 | X    | Van, Bitlis, Nemrut bölgesi (2,4)         |
| 1894  | 38.47 | 43.3   | -   | V    | Van (2)                                   |
| 1900  | 38.47 | 43.3   | 5.2 | VI   | Van (2)                                   |

### 2.3.2. Aletsel dönem depremleri

Van Gölü havzası içerisinde aletsel dönem içerisinde (1900-2011) büyüklükleri 4.0'dan fazla olan 87 deprem kayıt edilmiştir. Çaldıran depremi ( $M_w$  7.3) ve Van depremi ( $M_w$  7.2) bölgede meydana gelen ve büyüklükleri 7.0'dan büyük olan iki depremdir ([Şekil 19](#)). Van Gölü havzasını kuzeyden sınırlayan Çaldıran fayı 1976 yılında,  $M_w$  7,3 büyüklüğünde deprem

üretmiştir. Bu deprem, bölgede yaklaşık 5000 can kaybına ve 10.000'den fazla evin yıkılmasına neden olmuştur. Van Gölü havzasının doğu kesiminde meydana gelen depremlerin (1988, 1999, 2000, 2001, 2003) odak mekanizma çözümleri genellikle eğim atımlı ters faylanmayı işaret etmektedir (REDPUMA, 2003; KOERİ, 2011; EMSC, 2011; USGS, 2011; TÜBİTAK, 2011). Odak mekanizma çözümleri, havzanın kuzey ve batı kesimlerinde bu alanda yer alan depremlerin pek çoğunun doğrultu atımlı fayların kırılması sonucu meydana geldiğini göstermektedir (REDPUMA, 2003; KOERİ, 2011; EMSC, 2011; USGS, 2011; TÜBİTAK, 2011). Bindirme faylarının havzadaki dağılımı ile uyumlu olarak Van Gölü'nün doğusu ve güneyinde görülür (Wong ve Finckh, 1978; Şengör vd., 1985; Örgülü vd., 2003; Tan, 2004; Horasan ve Boztepe-Güney, 2007). Depremlerin büyük bir bölümü baskın olarak kabuğun 10 km yukarısında oluşan sığ olaylardır (Görür vd., 2015).

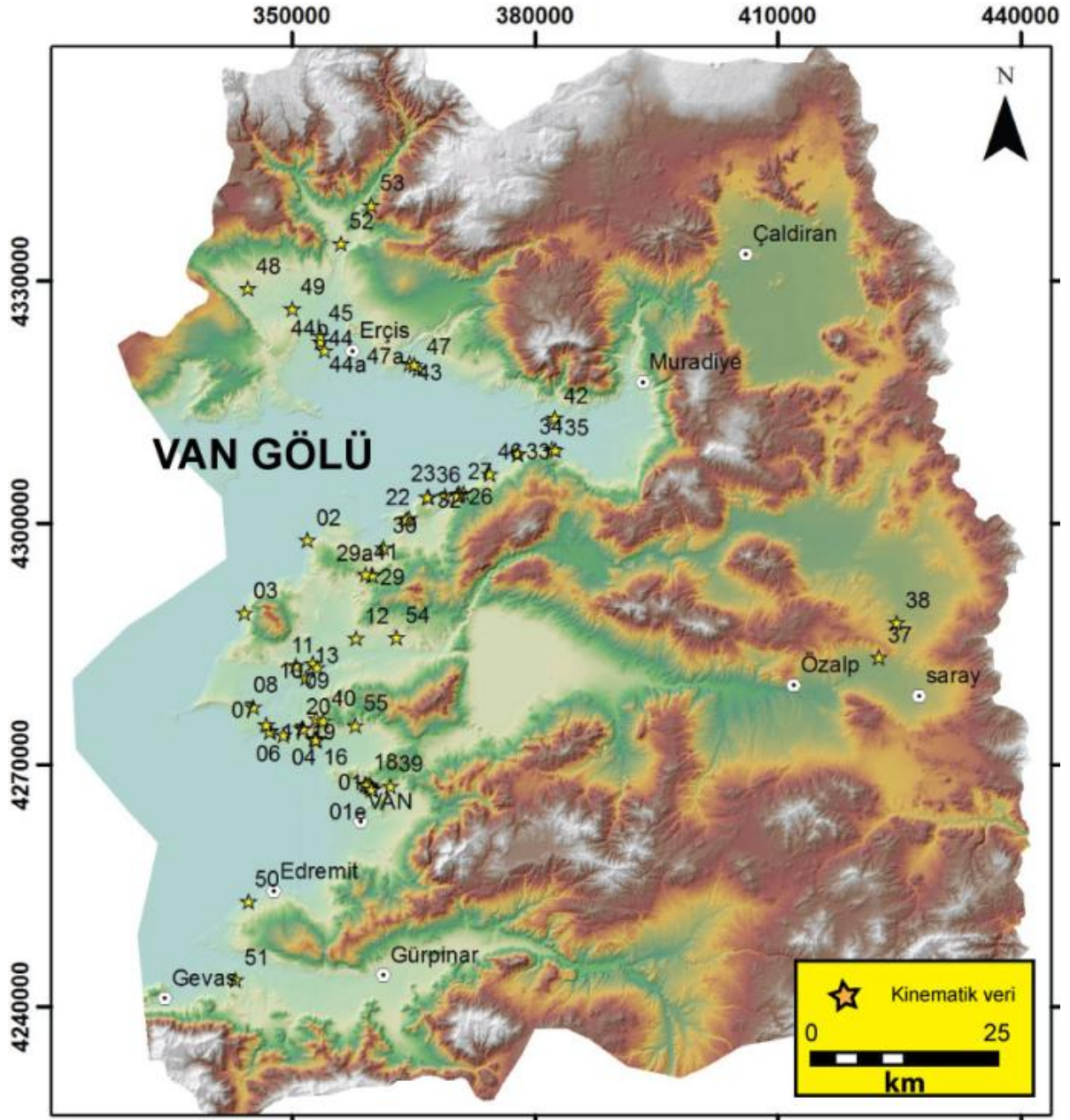


**Şekil 19.** Van havzası ve civarının sismo-tektonik haritası (faylar: Koçyiğit vd., (2001) ve Karakhanian vd., (2004), Sismik veriler: Ergin vd., (1967); Soysal vd., (1981); Ambraseys ve Finkel (1995); Tan vd., (2008)).

### 3. FAY TOPLULUKLARININ KİNEMATİK ANALİZİ

#### 3.1. Arazi Çalışmaları

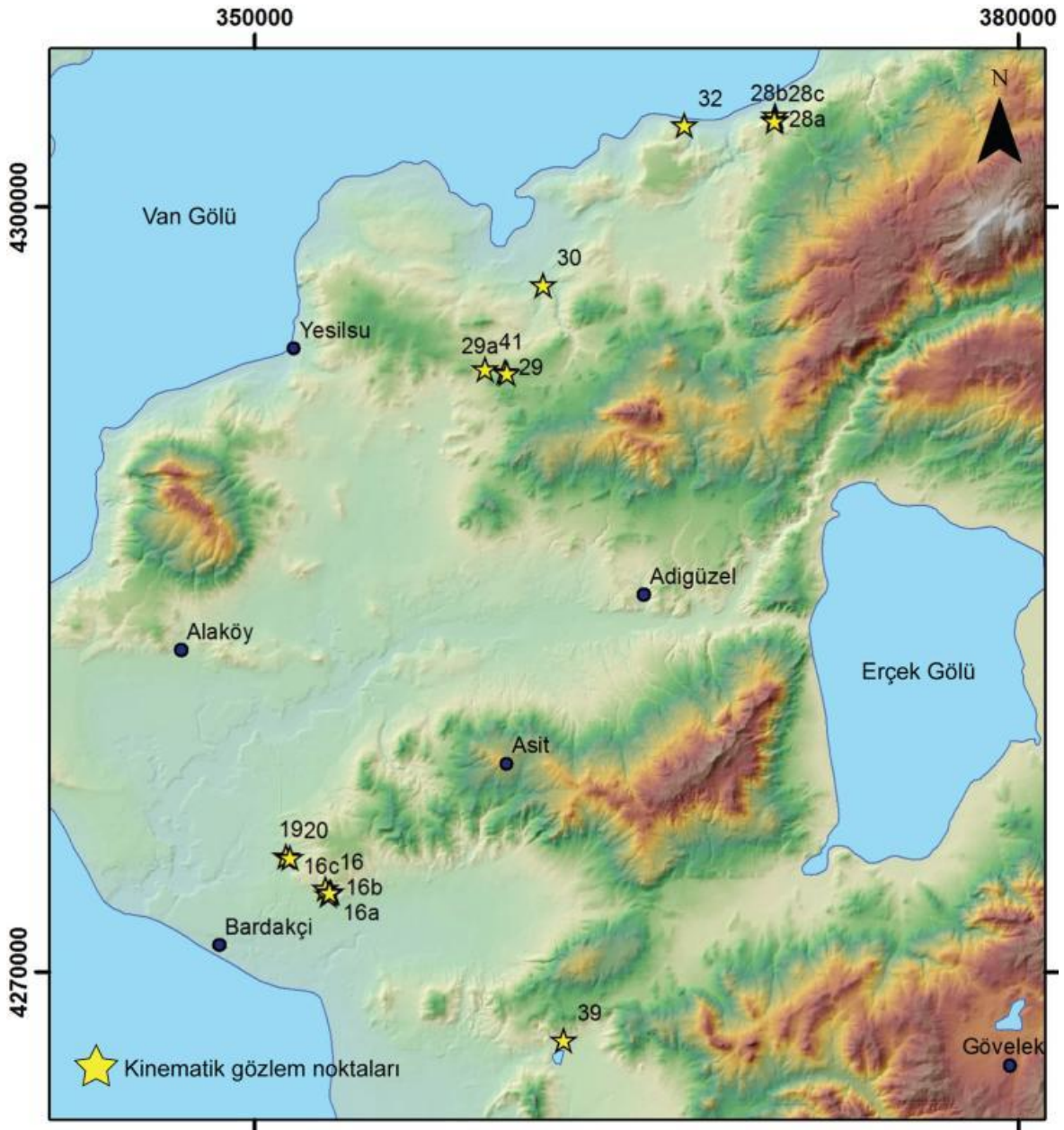
Temmuz - Ağustos 2015 tarihinde Van Gölü havzasının doğu, kuzeydoğu ve kuzeyinde yapılan arazi çalışmalarında toplam 51 lokasyon tanımlanmış, farklı yaş ve litolojiden 53 farklı lokasyondan kinematik veri derlenmiştir (Şekil 20). 203 farklı fay düzlemi ve bu fay düzlemleri üzerindeki kinematik veriler ölçülmüştür. Bu kinematik veriler aşağıda detaylı bir şekilde anlatılmıştır.



Şekil 20. Van Gölü havzasının doğu kesiminde yer alan kinematik gözlem noktaları.

### 3.1.1. Eski karasal çökeller (Miyosen-Pliyosen) içerisinde açılan doğal/yapay yarmalardan elde edilen kinematik veriler

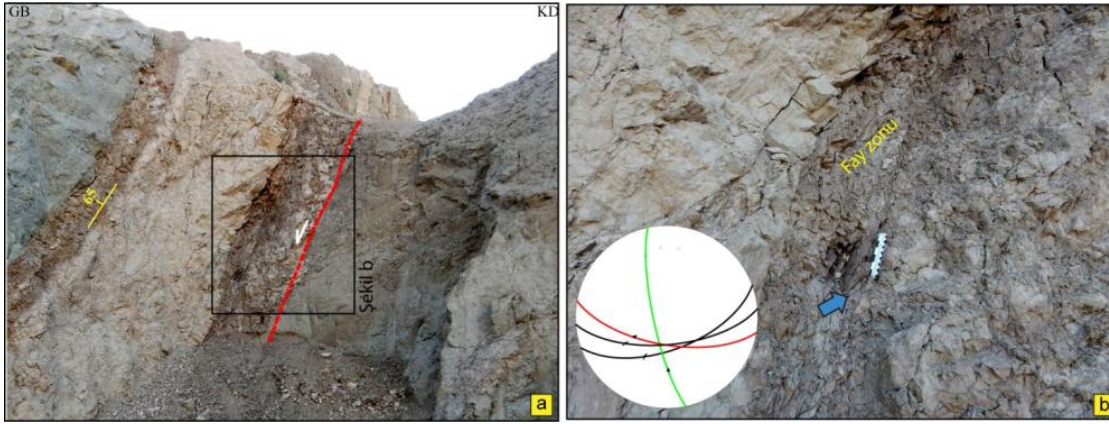
Van Gölü'nün güney, doğu ve kuzeyinde eski karasal çökeller geniş yayılımlar sunmaktadır. Bu çökeller içerisinde yer alan doğal/yapay yarmalardan kinematik veriler toplanmıştır (Şekil 21). Her bir lokasyonun detayı ve ölçülebilen kinematik veriler aşağıda detaylı olarak anlatılacaktır.



Şekil 21. Eski karasal çökeller içerisinde yer alan kinematik gözlem noktaları.

### V-15-16 Organize Sanayi

Yeni organize sanayi (38.59D / 43.31K) Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi doğusunda yeni inşa edilmeye başlanmıştır. İnşaat sebebiyle birden fazla yarma açılmıştır. Eski karasal çökeller, kumtaşı-kiltaşı-çamurtaşı ardalanmasından meydana gelmekte ve bu alan içerisinde yaygın bir şekilde yüzeylemektedir (**Şekil 22a**). Tabakalar 25 ile 75° arasında değişen eğimlerle güneye doğru eğimlenmişlerdir. Yarmalarda normal ve ters faylanmalar mevcut olup, 50-70 cm arasında değişen fay zonları bulunmaktadır (**Şekil 22b**). Fay zonları kil seviyeleri ve killerin yapraklanması ile karakteristiktir. Açılan kademeli yarmalarda 6 farklı fay düzlemi ölçülmüş olup, 4 adet fay düzleminde fay çizizi ölçümü yapılmıştır. Normal fayların genel doğrultuları K40-50°D arasında değişirken, ters fayların doğrultuları K80°B ile D-B arasında değişmektedir.



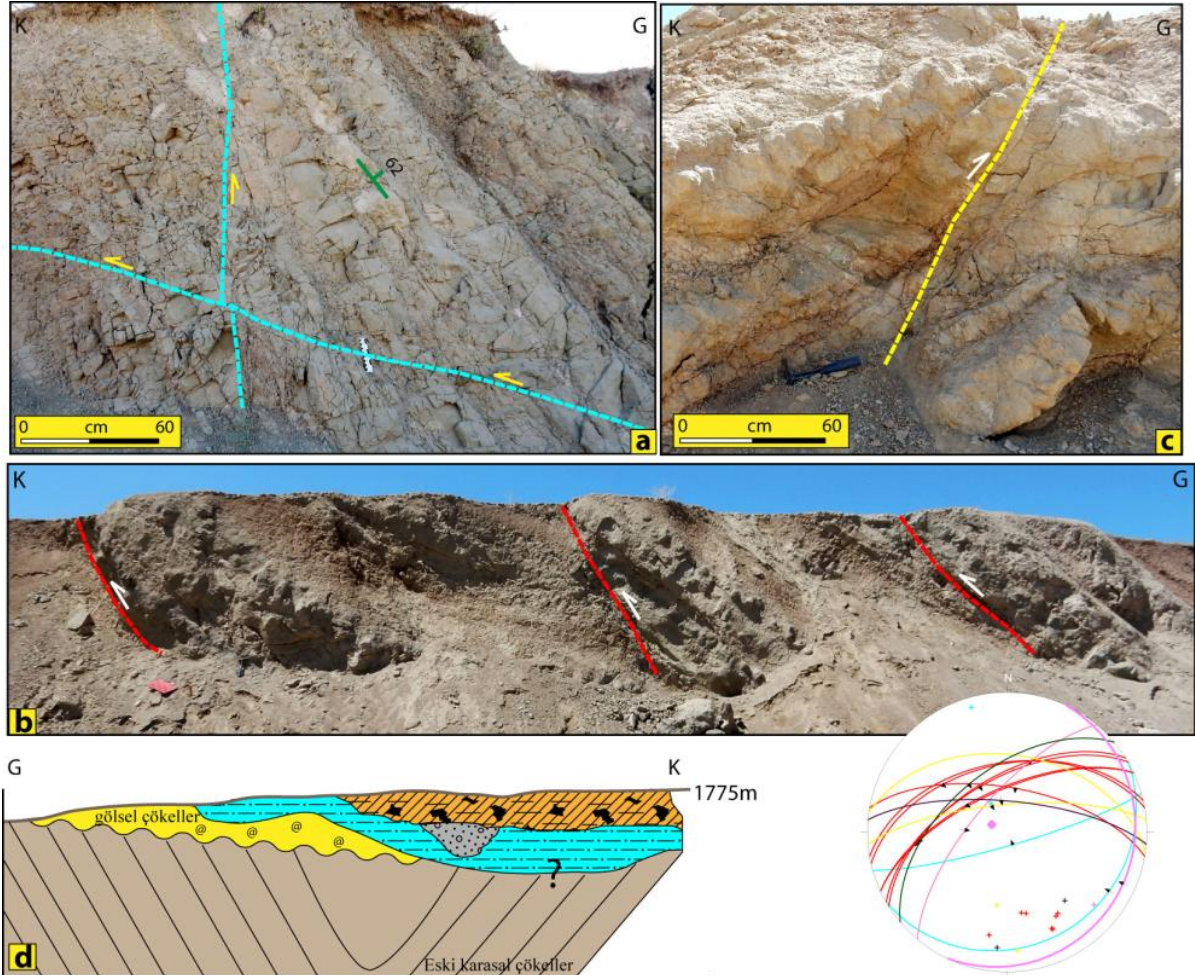
**Şekil 22.** a) Kumtaşı-kiltaşı-çamurtaşı içerisinde gelişmiş doğrultu atımlı faylanma, b) 50 cm genişliğindeki fay zonu.

### V-15-19/20 Eski hastane temeli

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesine ait eski hastane temeli 2008 yılında açılmış ve açılan zemin profili incelendiğinde kayaçlarda yoğun bir deformasyon olduğundan dolayı bu alana yapılmasından vazgeçilmiştir. 21 Ekim 2011 yılında meydana gelen Van-Erciş depreminde bu alanda yer alan temel üzerinde yüzey deformasyonları meydana gelmiştir. Depremi yaratan Van/Tabanlı fayının bu alandan geçtiği ifade edilmiştir. Bu nedenden ötürü alanda detaylı arazi çalışmaları yapılmıştır.

Hastane temelinin alt kotlarında belediye asfalt şantiyesi (38.60D / 43.29K) bulunmaktadır. Eski karasal çökeller, kumtaşı-kiltaşı-konglomera ardalanması ile devam etmektedir. Tabakalar 60° ile güneydoğuya doğru eğimlenmiş olup, eğim atımlı ters faylar tarafından kesilmişlerdir (**Şekil 23a**).

Hastane temelinde gelindiğinde alt seviyelerde karasal çökeller  $50^\circ$  ile kuzeye doğru eğimlenmiştir. Çökelin üst seviyelerinde bulunan kumtaşları içerisinde fosilli bir seviye saptanmış ve U/Th yaş analizi için örnek alınmıştır. Karasal çökellerin üzerine Kuvaterner yaşlı Van Gölü formasyonu olarak tanımlanan kumlu ve fosilli seviyeler uyumsuz olarak gelmekte ve  $15^\circ$  kuzeye doğru eğimlendikleri görülmektedir (Şekil 23d). Göl çökellerinin üzerine akarsu kanalı ile yeniden işlenmiş skorya konisi seviyeleri gelmektedir. Kumtaşı-kiltaşı ve konglomera araldanmasından meydana gelen akarsu çökelleri birden fazla eğim atımlı ters fay tarafından kesilmiştir (Şekil 23b, c). Bu fayların genel doğrultuları birbirlerine yaklaşık paralel olup 30-100cm arasında değişen ötelenmelere neden olmuşlardır. Bu lokasyonda 17 farklı noktadan fay düzlemi ölçümü yapılmış, 14 adet fay düzleminde fay çizizi ölçümü yapılmıştır. Tüm faylar eğim atımlı ters fay olup, yaklaşık doğrultuları D-B ile K80-85°B arasında değişmektedir.



**Şekil 23.** a) Belediye asfalt şantiyesi yarmasındaki eğim atımlı ters faylar, b) Hastane temelindeki birbirine yaklaşık gelişen ters faylar, c) ters faylarda meydana gelen 70 cm ötelenme d) birimlere ait enine jeolojik kesit (ölçeksiz).

### V-15-29 Tasmalı geçidi kuzeyi

Van-Erciş Karayolunun 25. km'sin de Tasmalı geçidi bulunmaktadır. Bu geçisin hemen kuzeyinde açılan yol yarmasında eski karasal birimler yer almaktadır. Kilitaşı-kumtaşı-konglomera ardalanmasından meydana gelen birim yoğun bir deformasyona uğramış (Şekil 24a) ve birden fazla normal fay/oblik fay tarafından kesilmiştir (Şekil 24b, c). 21 farklı fay düzleminde ölçüm yapılmış ve bunlardan 14'ünde fay çizgisi tespit edilmiştir.



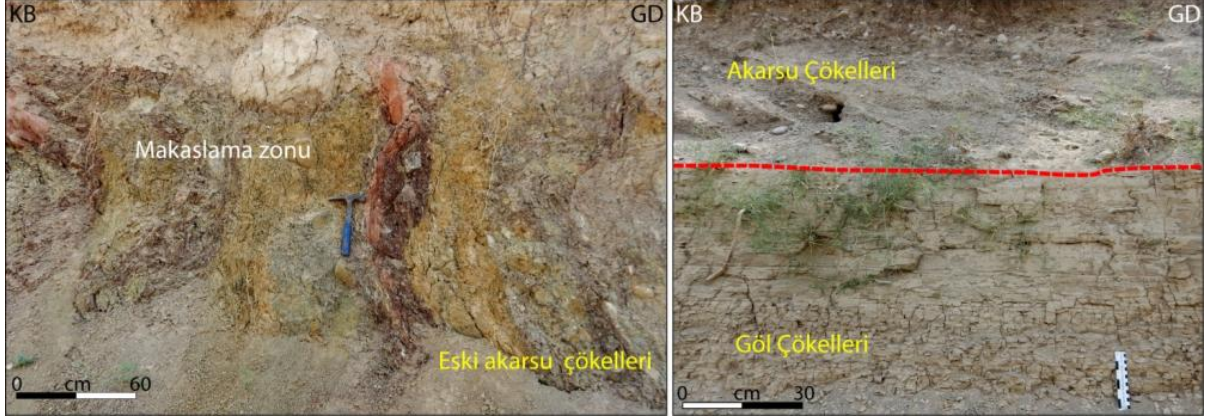
**Şekil 24.** a) Karasal çökelerde meydana gelen deformasyon, b-c) lokasyonda ölçülen normal ve doğrultu atımlı faylardan örnekler.

### V-15-30 Kumluca

Kumluca köyünün güneydoğusunda, 38.80D/43.40K koordinatlarındaki lokasyonda karasal çökeller üzerine uyumsuzlukla Kuvaterner yaşlı göl çökelleri ve bazaltlar gelmektedir. Karasal çökeller, (kumtaşı-kilitaşı-konglomera) 75° ile güneye doğru eğimlenirken, üst seviyede bulunan gölsel ve akarsu çökellerinde herhangi bir deformasyon bulunmamaktadır (Şekil 25a, b). Karasal çökellere ait birimlerin yoğun bir deformasyon geçirdiği görülmektedir. Bu alanın bir makaslama zonu olduğu ve K70° doğrultu bir doğrultu atımlı fay tarafından kontrol



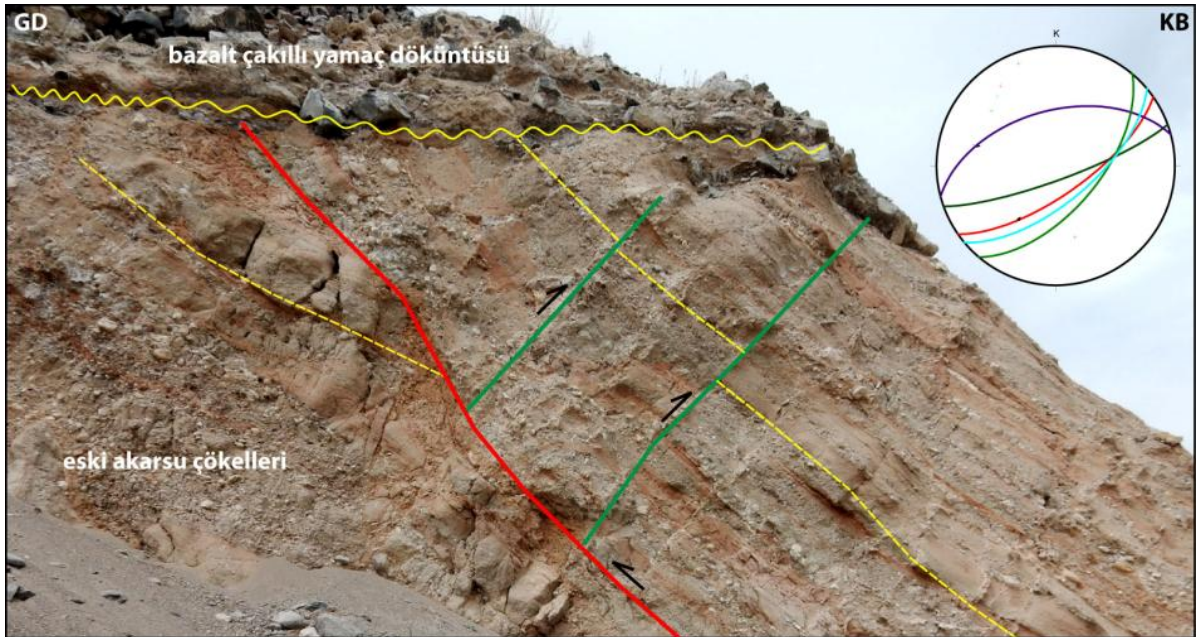
edildiği düşünülmektedir. Ancak bu fay eski karasal çökelleri etkilediği halde üst seviyelerde bulunan gölsel çökelleri etkilememektedir.



**Şekil 25.** a)Eski akarsu çökellerinde meydana gelen makaslama zonu, b)akarsu çökelleri üzerine gelen yatay göl ve akarsu çökelleri.

#### V-15-32 Karaağaç

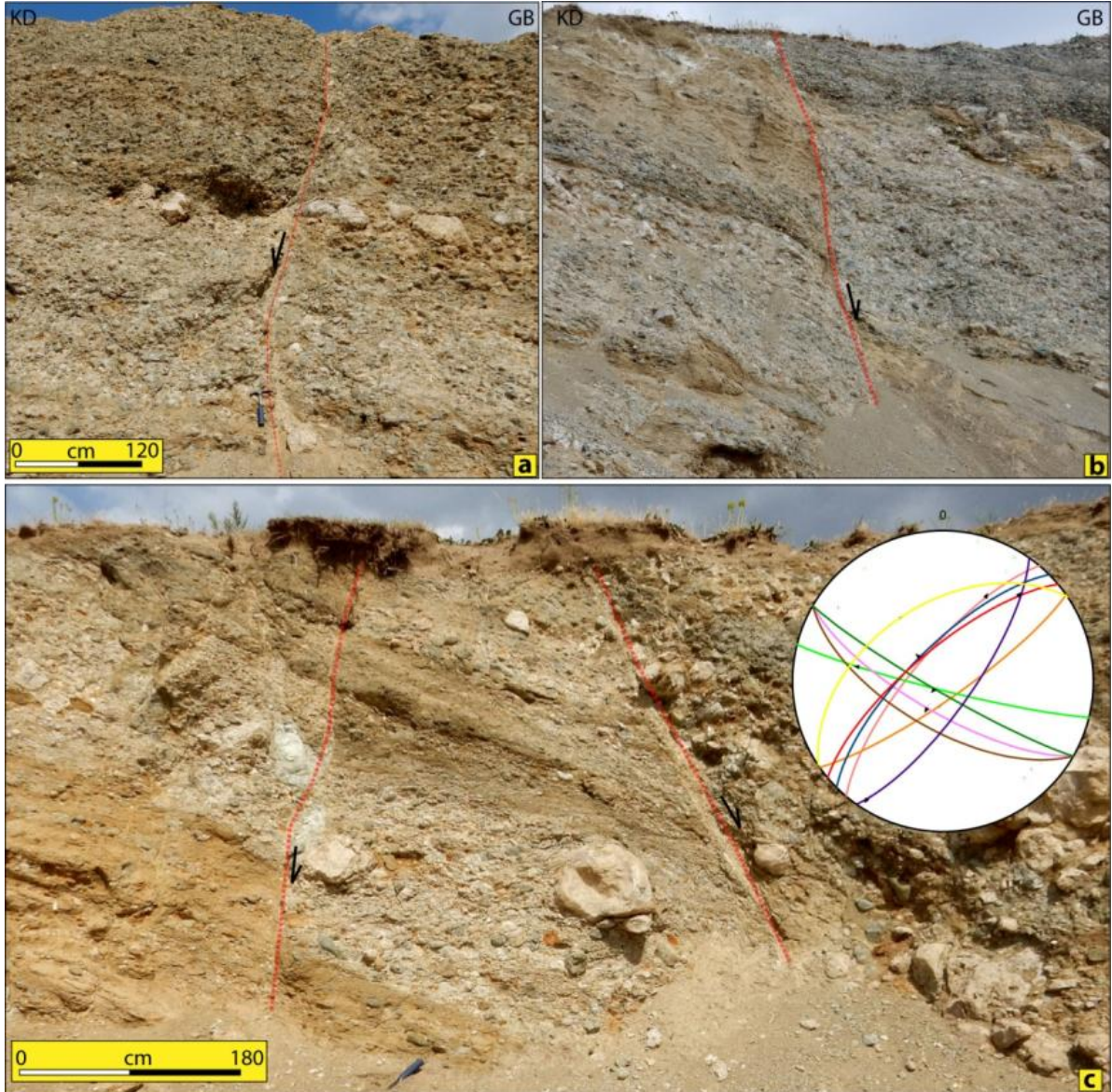
Karaağaç lokasyonu, Karaağaç köyünün kuzeybatısında, 38.86D/43.46K koordinatlarında yer almaktadır. İstif alt seviyelerinde 52° ile kuzeybatıya doğru eğimlenmiştir. Karasal çökeller kireçtaşı çakıllı konglomera-çamurtaşı seviyeleri ile başlamaktadır. Bu seviyenin üzerine uyumsuz bir şekilde bazalt çakıllı yamaç döküntüsü gelmektedir. Karasal çökelleri kesen ve yaklaşık 50 cm öteleyen eğim atımlı ters faylar K45°D doğrultusunda uzanmaktadır (Şekil 26). 5 farklı fay düzlemi ölçümü yapılmış ve bunlardan 2'sinde fay çizgisi tespit edilmiştir.



**Şekil 26.** Karasal çökelleri kesen ana eğim atımlı ters ve ikincil gelişen faylar.

### V-15-38 Dorutay

Dorutay lokasyonu Van'ın doğusunda bulunan Dorutay (Özalp ilçesi) köyünün doğusunda yer almaktadır (38.73D/44.13K). Gölet çalışmaları sırasında yaklaşık 50 m'lik bir yarma açılmıştır. Gabro çakıllı akarsu çökellerinden oluşan istif yaklaşık 25 m kalınlığına sahiptir. Çökel, orta-iyi yuvarlaklaşmış, 5-15 cm çakıl boyutuna sahip, orta-yüksek enerjili ortamda çökelmiştir (Şekil 27a). K60B ve K50D doğrultulu normal bileşenli oblik faylar tarafından kesilen ve ötelenen birim, bazı kesimlerde eğimlenmiştir (Şekil 27b, c). 10 farklı fay düzlemi ölçümü yapılmış ve bunlardan 8'sinde fay çizgisi tespit edilmiştir.



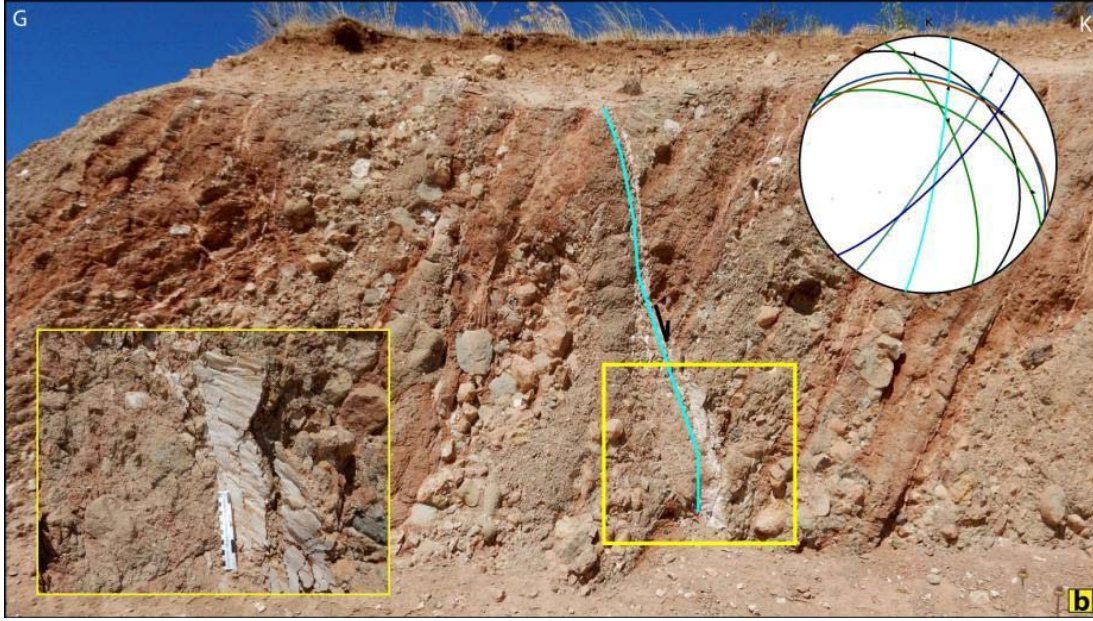
**Şekil 27.** Akarsu çökelleri kesen ve öteleyen normal bileşenli oblik faylar.

### V-15-41 Tasmalı geçidi

1875 m yüksekliğinde bulunan Tasmalı geçidi Van-Erciş Karayolu üzerindedir (38.77D/43.77K). Eski karasal çökellerin bulunduğu alanda, birim genel olarak kumtaşı-konglomera ardalanmasından meydana gelmektedir. Konglomera seviyesi kaba çakıl boyutundan orta dereceli çakıl boyutuna, kireçtaşı çakıllı, orta-kötü derecede yuvarlaklaşmış tanelerden meydana gelmektedir (Şekil 28a). Çamur matrislidir ve yüksek/düşük enerjili ortamlarda çökelmiştir. Karasal çökeller bu alanda yoğun deformasyon geçirmiş, kırılmış ve kıvrılmıştır. Güneye doğru 50-75° arasında eğimlenen birim, doğrultu atımlı faylar tarafından kesilmiştir. Doğrultu atımlı faylarda genel olarak normal bileşende bulunmaktadır (Şekil 28b). K20-60°B arasında değişen doğrultulara sahip faylarda, çok net izlenebilen fay çizgileri gelişmiştir. Lokasyonda, 7 farklı fay düzlemi ölçümü yapılmış ve bunlardan 7'sinde fay çizgisi tespit edilmiştir.



**Şekil 28.** Karasal çökelleri kesen ana ve ikincil gelişen doğrultu atımlı faylar.



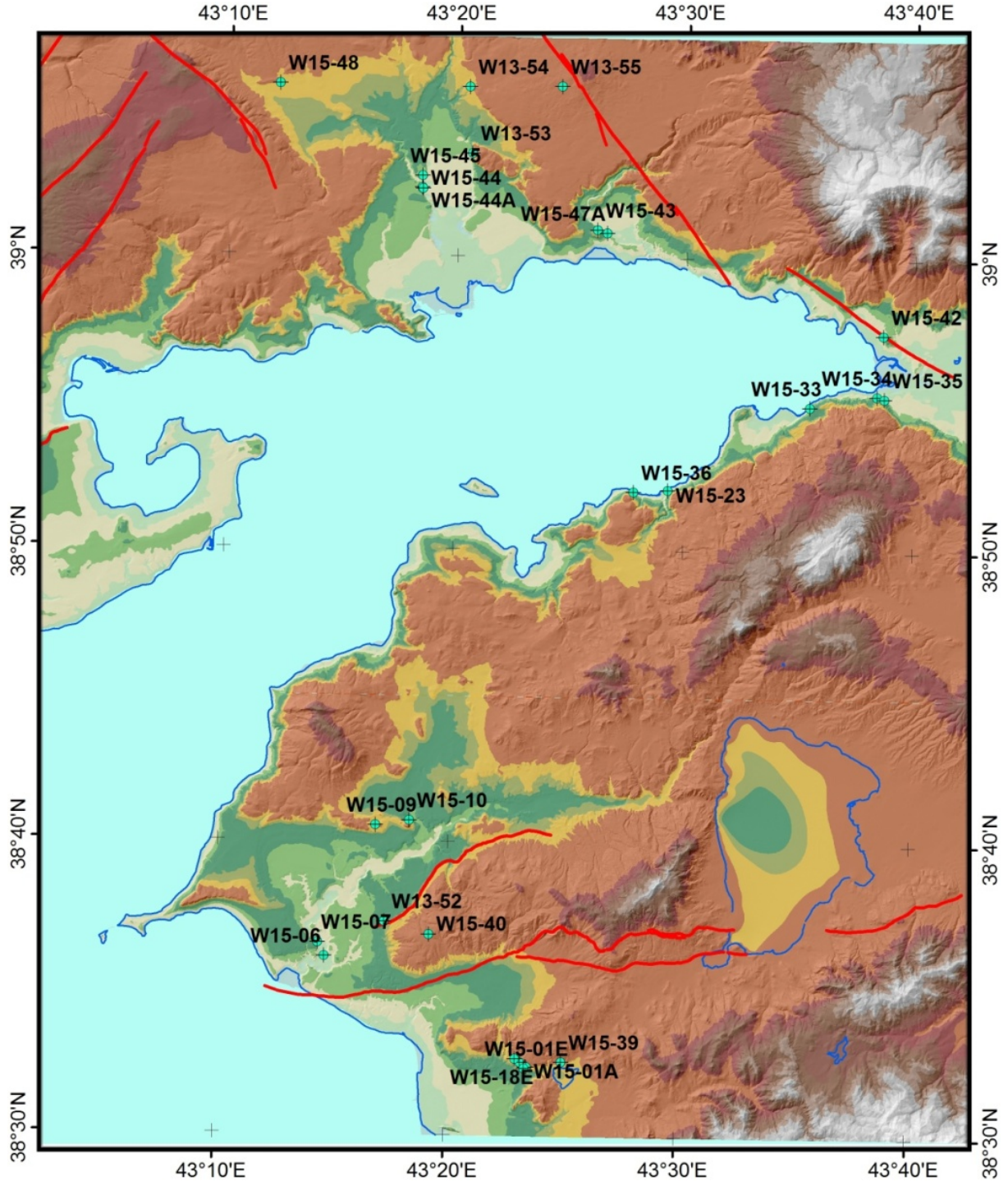
Şekil 28. (devamı)

### 3.1.2. Gölsel ve akarsu çökelleri (Pleyistosen-Holosen) içerisinde açılan doğal/yapay yarmalardan elde edilen kinematik veriler

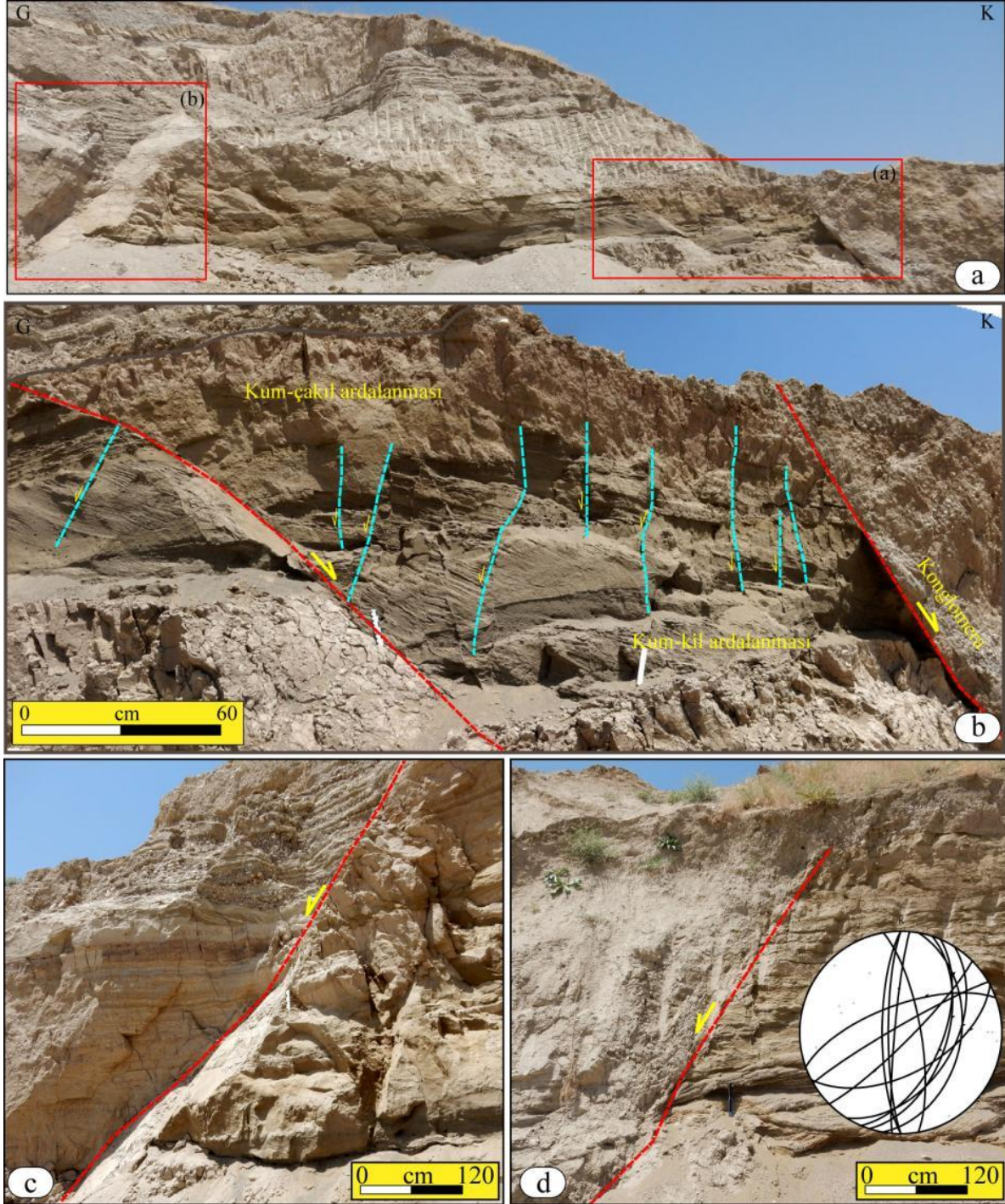
Van Gölü havzasından 51 farklı gözlem noktası tanımlanmıştır. Bu gözlem noktaları içerisinde 37 lokasyonda 203 adet fay düzlemi ve fay kinematiğine işaret eden veriler ölçülmüştür (Şekil 29).

#### V-15-07 (Topaktaş Köyü)

Topaktaş lokasyonu 38.60 D/ 42.60 K koordinatlarında yer almaktadır. Topaktaş köyünün kuzeyinde bulunan bu doğal yarmada Göl çökelleri ile akarsu çökelleri yüzeylemektedir (Şekil 30a). Van Gölü'ne ait bu taraça çökelleri 1690-1700 seviyesinden bulunmakta ve Kuzucuoğlu vd. (2010) makalesine bağlı olarak Van Gölünün taraça seviyesinin T2" seviyesine denk gelmektedir. Birim kumtaşı-kiltaşı-marn-konglomera ardalanmasından oluşmaktadır. Bu lokasyonda 13 fay düzlemi ölçümü yapılmış, düzlemlerden 7'si üzerinde fay çizliği ölçümü yapılmıştır. Baskın olarak normal faylanmanın olduğu alanda sol/sağ yönlü oblik faylanmalarda bulunmaktadır. Ana faylarda ortalama düşey atım 1,5-4 m arasında değişmektedir (Şekil 30b, c ve d). Ana faylara eşlenik gelişen ikincil faylarda bu düşey atım 15-20 cm arasında değişmektedir.



Şekil 29. Kuvaterner yaşlı çökellerde sınıflanan kinematik gözlem noktaları

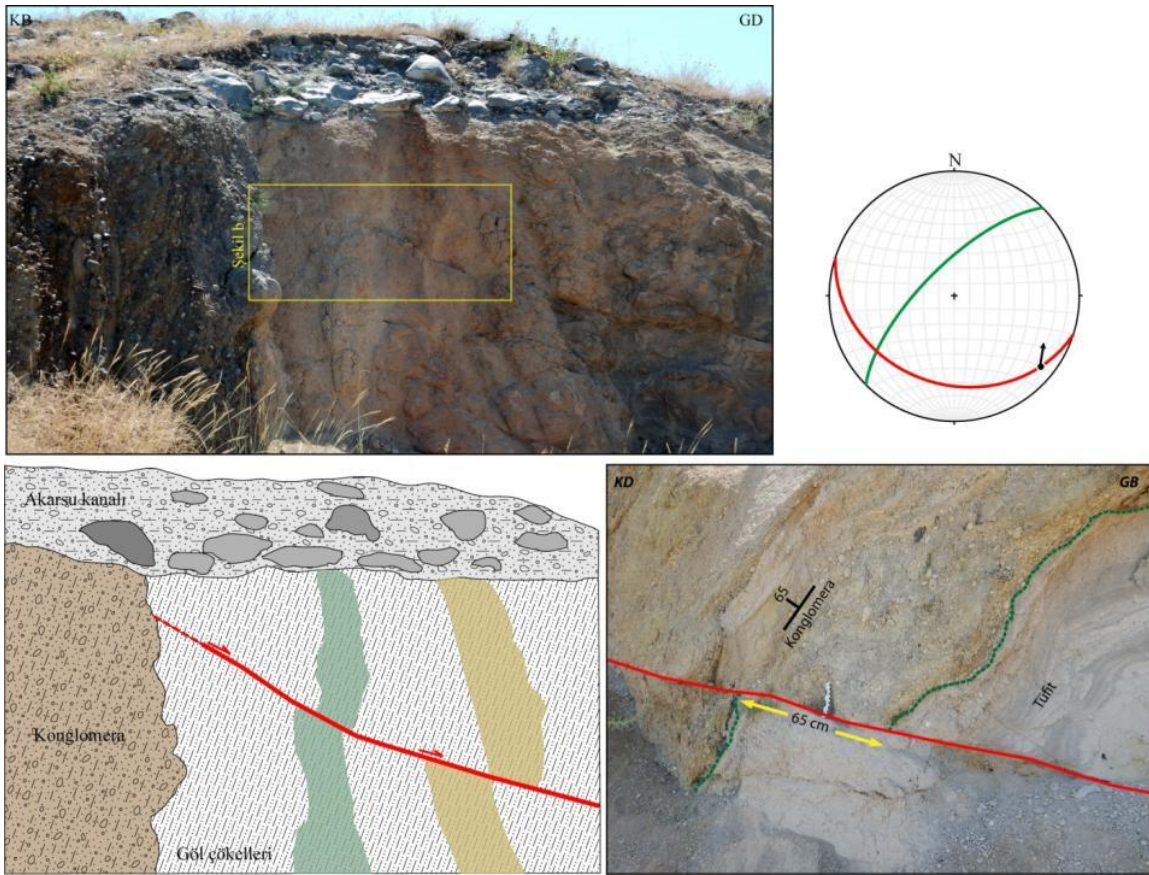


**Şekil 30.** a) Topaktaş lokasyonunun genel görünümü, b) Alaköy Formasyonunu kesen ana ve ikincil gelişen normal faylar c,d) Üst seviyelerde Pleyistosen birimleri kesen normal faylar.

Topaktaş lokasyonu Van gölünün doğusunda yer alan önemli lokasyonlar dan dan biri konumundadır. Çünkü bu alanda birçok noktada açılan doğal veya yapay yarma olmasına rağmen kinematik veri sadece bu lokasyonda tespit edilmiştir. Ayrıca ana fayda meydana gelen 5 m düşey ötelenme ve fayların en üst seviyede bulunan çakıllı birimi de etkilemesi, fayların Holosen aktivitesine bir kanıt durumundadır.

### V-15-23 (Van-Erciş karayolu 35 km)

Van-Erciş karayolunun 40 km açılan yol yarmasında  $70^{\circ}$  ile kuzeye doğru eğimlenmiş akarsu çökelleri bulunmaktadır. Akarsu çökelleri genel olarak 5-10 cm boyutunda, kireçtaşı-ofiyolit çakıllı, iyi yuvarlaklaşmış ve iyi çimentolanmıştır (Şekil 31a). Akarsu çökelinin alt seviyelerinde göl çökelleri (kumlu-siltli) ile 0,3 ile 1 cm arasında değişen çakıl boyutlarına sahip konglomera ardalanmalı olarak devam etmektedir. Göl çökelleri içerisinde tekrar işlenmiş pomza seviyesi bulunmaktadır. Her iki seviyeyi 15-20 cm bazalt çakıllı akarsu çökeli uyumsuz olarak örtmektedir. Akarsu çökelleri ile göl çökelleri  $K60^{\circ}D$  gidişli sağ yanal normal bir fay tarafından kesilerek yaklaşık 25 cm ötelenmektedir (Şekil 31b).

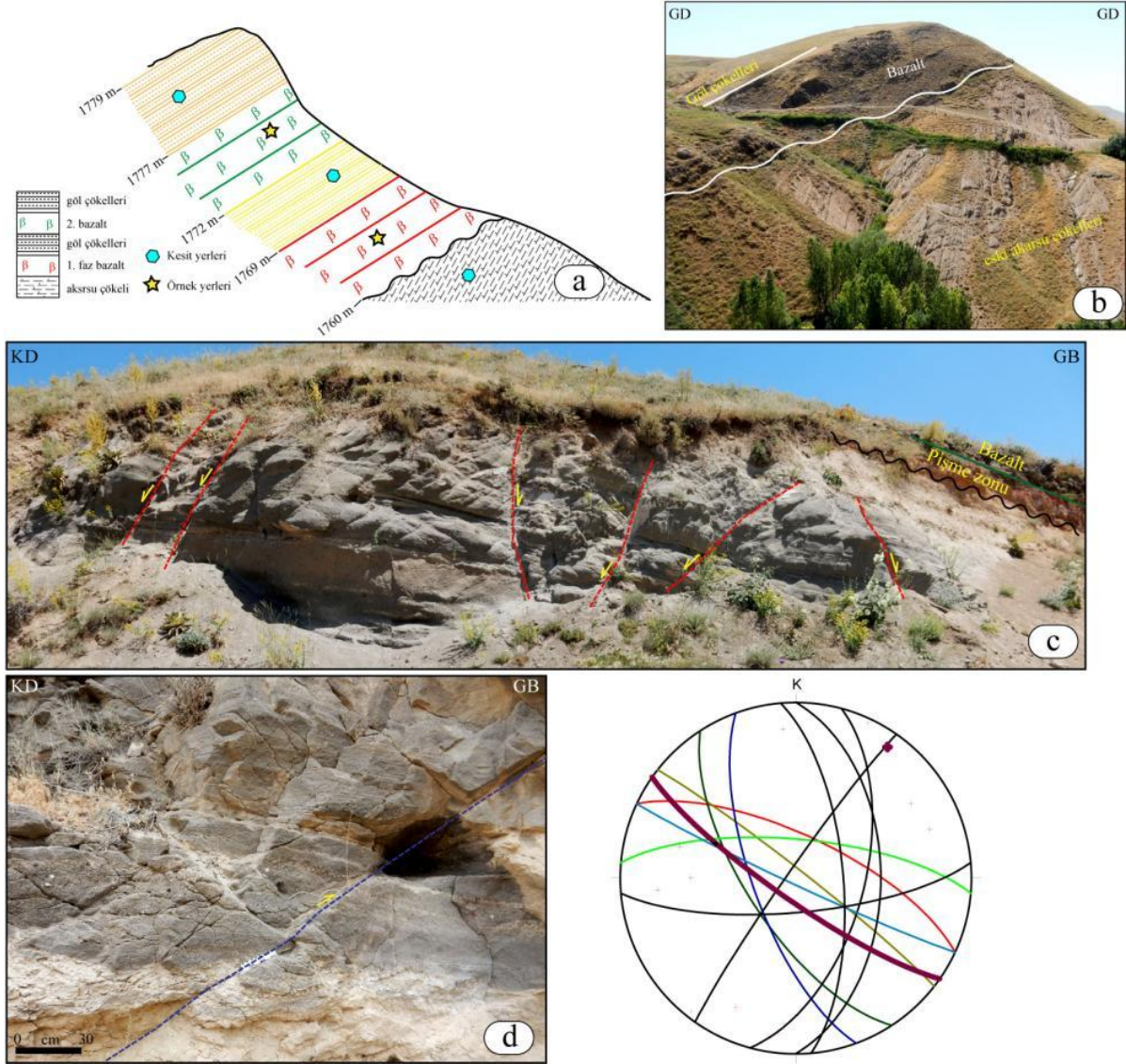


**Şekil 31.** a) Akarsu çökelleri ile göl çökelleri, b) göl çökelleri kesen normal fayın ve kesitinin şematik gösterimi.

### V-15-24-28 Ermişler

Ermişler köyü Van Gölü havzasının genç çökel stratigrafisinin en iyi gözlenebildiği noktalardan biridir (Şekil 32a). İstif en alt kesiminde eski karasal çökelere ait kumtaşı-konglomera ile başlamaktadır. Bu çökel yaklaşık olarak  $70^{\circ}$  ile güneye doğru eğimlenmiştir. Bu çökelin üzerine bazaltlar gelmektedir (Şekil 32b). Bazaltlar  $33^{\circ}$  ile güneye doğru eğimlenmişlerdir. Bazaltların üzerine göl taraça çökelleri gelmektedir. Bu ardalanma 1780 m

seviyelerine kadar bazalt-gösel seviye ardanması olarak devam etmektedir. Karasal çökellerden ve kumtaşı-pomza ardanması meydana gelen göl çökellerinden kinematik veriler toplanmıştır (Şekil 31c, d). 20 farklı fay düzlemi ölçümü yapılmış ve bunlardan 9'unda fay çizgisi tespit edilmiştir.



**Şekil 32.** a) Bölgedeki birimlerin alt-üst ilişkilerinin şematik gösterimi b) bazaltın, karasal çökellerin üzerine uyumsuz olarak gelmesi, c) göl çökellerinin genel görünümü ve faylanma d) göl çökellerini kesen eğim atımlı ters fay.

#### V-15-40

Bardakçı köyünün doğusunda yer alan lokasyonda eski karasal çökeller ile gösel çökeller yüzeylenmektedir. Karasal çökeller kumtaşı-konglomera ardanmasından meydana gelmekte ve doğuya doğru 70° ile eğimlenmişlerdir. Gösel çökeller pomzalardan meydana gelmekte ve karasal çökellerin üzerine yaklaşık yataya yakın bir şekilde uyumsuz olarak



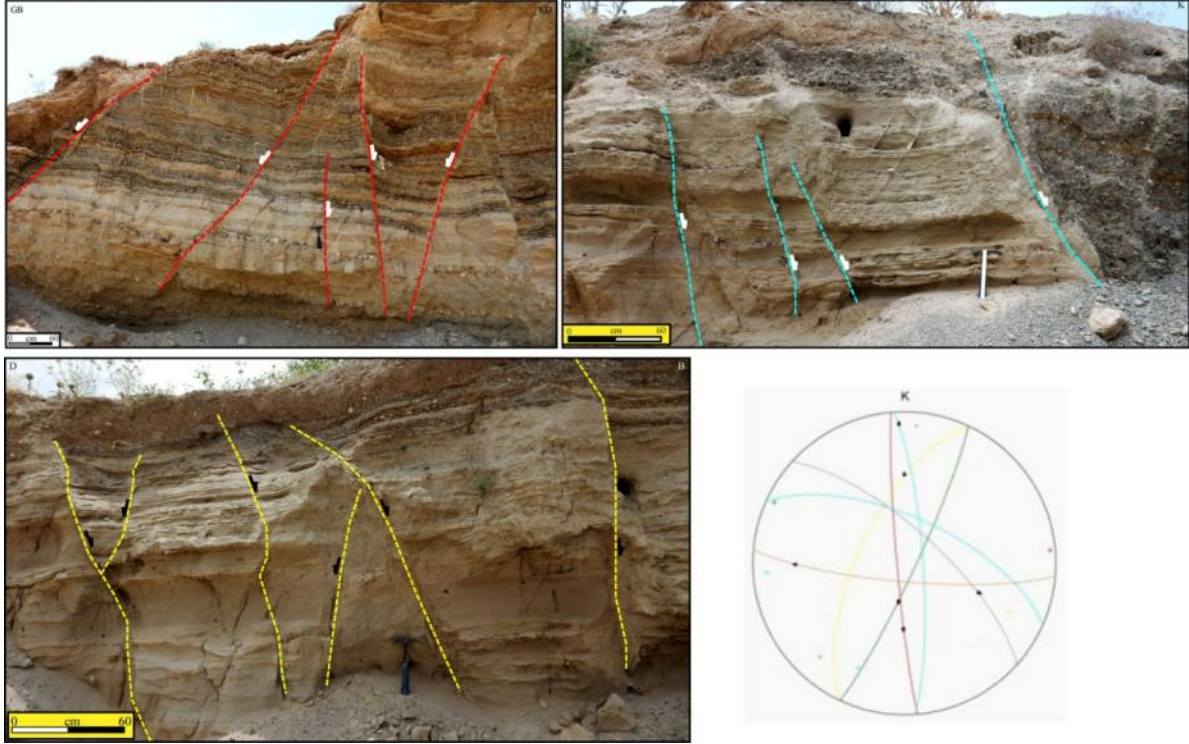
gelmektedirler. Her iki birimde K60°D doğrultulu sağ yönlü normal bir fay tarafından kesilmekte ve düşey yönde 2 m'lik düşey bir ötelenme meydana gelmektedir (Şekil 33). Lokasyonda 4 farklı fay düzlemi ölçümü yapılmış ve bunlardan 2'sinde fay çizgisi tespit edilmiştir.



**Şekil 33.** Eski karasal çökeller ile gölsel çökelleri kesen sağ yönlü normal fay.

#### V-15-01 (Beyüzümü lokasyonu)

Van ilinin doğu kesiminde birden fazla kum ocağı açılmıştır. Bunlardan biride, Van Gölü'nün eski taraça seviyesi olarak tanımlanan Beyüzümü taraçasıdır. Çökel genel olarak çapraz katmanlanmalı kumlu-siltli seviye, bol fosilli kumlu-çakıllı seviye ile pomza çakıllı seviyelerden oluşmaktadır (Şekil 34). Kum ocağı olarak işletilen bu alanda birden fazla yarma açılmıştır. Kesitlerde genel olarak normal faylanma ile doğrultu atımlı faylanmayı işaret eden kinematik veriler ölçülmüştür. 21 adet fay düzlemi ölçülmüş olup, bunlardan 9'unda fay çizgisi tespit edilmiştir. Genel doğrultuları K-G ile K20B arasında değişmektedir (Şekil 34). Elde edilen veriler Streonet Programında değerlendirilmiş ve P-T diyagramının sonucuna bağlı olarak D-B yönlü bir açılmanın varlığı görülmektedir. Beyüzümü fayı ilk defa Ateş vd., (2007) tarafından tanımlanmıştır. Beyüzümü köyünün kuzeyinden geçtiği ifade edilen fay sadece morfolojik verilere ve iki farklı birim arasında oluşturduğu sınır ile tanımlanmıştır. Ancak yapılan arazi çalışmalarında Beyüzümü formasyonun güneyde yatayken kuzeye doğru gelindikçe güneye doğru eğimlendiği ve eğim derecesinin kuzeye doğru arttığı görülmektedir.



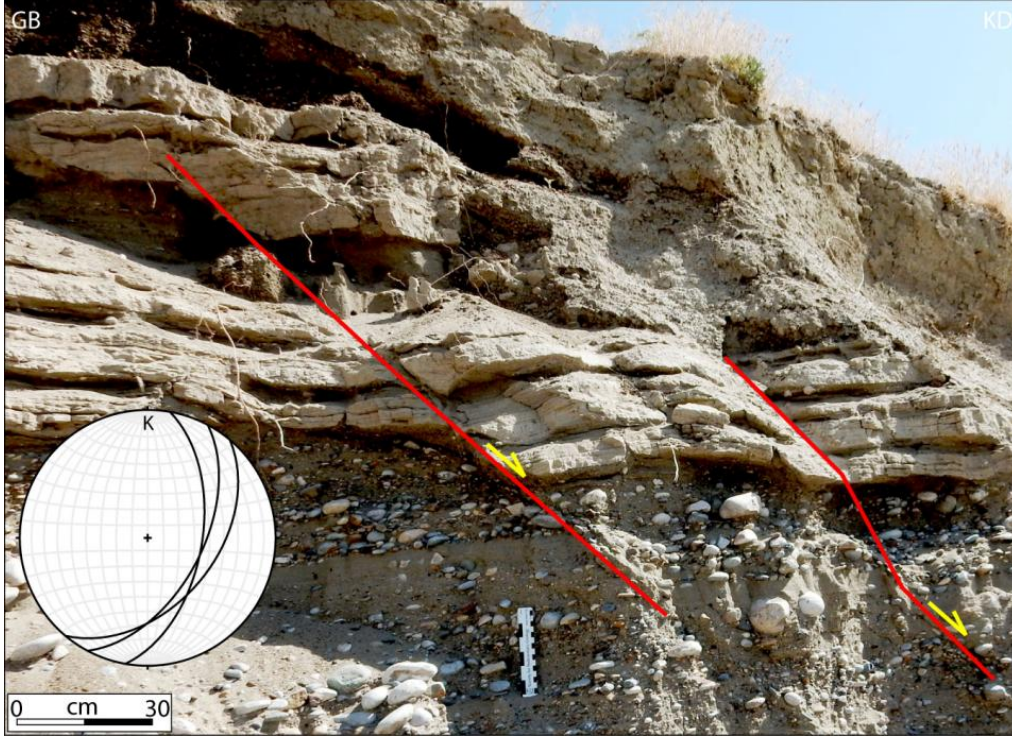
**Şekil 34.** Beyüzümü göl taraça seviyesini kesen normal faylar.

#### V-15-06 (Topaktaş köyü)

Topaktaş köyü civarında akarsu kanal çökelleri ile göl çökelleri ardalanmalı olarak devam etmektedir. İstifin en üst seviyesini 2,5 m kalınlığa sahip akarsu çökellerinden meydana getirmektedir. Kanal çökellerinin taneleri iyi yuvarlaklaşmış ve genel olarak mermer-ofiyolit çakıllarından meydana gelmektedir (Şekil 35). Göl çökelleri ince katmanlanmalı kumlu seviyelerden meydana gelmektedir. İstifin en üst seviyesinde kaba çakıllı yamaç molozu bulunmaktadır. İstif eğim atımlı normal faylar tarafından kesilmiştir. Ancak faylanma en üst seviyede yer alan kaba çakıllı seviyeyi etkilemiştir. Üç farklı fay düzlemi ölçülmüş olup, birim çakıllı olduğundan dolayı herhangi bir fay çizgisi tespit edilememiştir.

#### V-15-09 Atmaca

Atmaca lokasyonu, Atmaca Köyünün kuzeyinde 38.67D/43.28 K koordinatlarında bulunan doğal bir yarmadır. İstif alt seviyelerinde fosilli-kumlu bir seviye ile başlamakta ve üst seviyelere doğru iyi yıkanmış fan-delta çökellerine geçiş yapmaktadır. Fan-delta çökellerinin çakılları tek-tip olup, kireçtaşlarından meydana gelmektedir (Şekil 36). Sağ yanal doğrultu atımlı faylar tarafından kesilmiş istifte, düşey atım 15-20 cm arasında değişmektedir (Şekil 36). Genel doğrultuları D-B arasında olan fay düzlemlerinde, sadece iki fay çizgisi tespit edilebilmiştir.



**Şekil 35.** Pleyistosen yaşlı akarsu-göl çökelleri içerisinde gelişen normal faylanma.

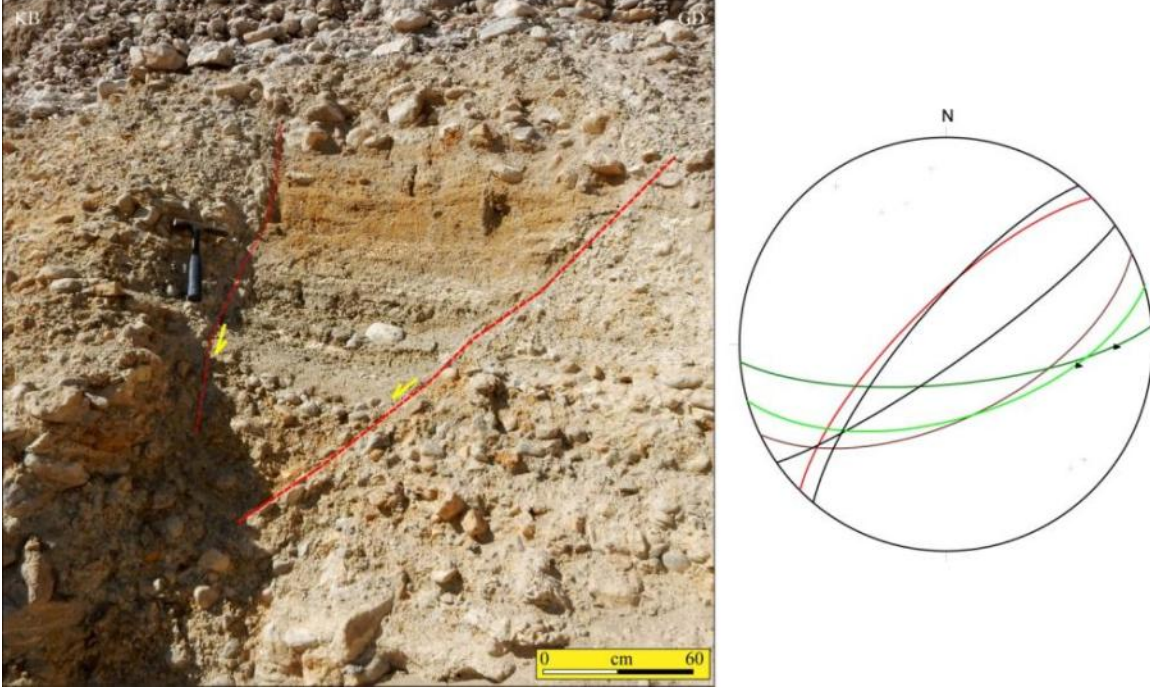


**Şekil 36.** Fan-delta-göl çökelleri içerisinde gelişen normal faylanmalar.

### V-15-10 Yumrutepe

Yumrutepe Köyünün kuzeyinde (38.67D/43.30K) tanımlanan lokasyonda sin-sedimanter faylar bulunmaktadır. Çökel alt seviyesinde 5 cm boyutlarında kaba çakıllı delta çökelleri ile başlamakta, orta seviyelerde kaba kum ve silt aralanması ile devam etmektedir (Şekil 37). En üst seviyede ise kaba çakıllı akarsu çökelleri yer almaktadır. Bu çökel, Eosen yaşlı kireçtaşları üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Genel doğrultuları K40D olan faylar sol

yönlü normal faylardır. Bu lokasyonda 6 farklı fay düzlemi ölçümü yapılmış ancak ikisinde fay çizgisi ölçümü yapılabilmektedir.



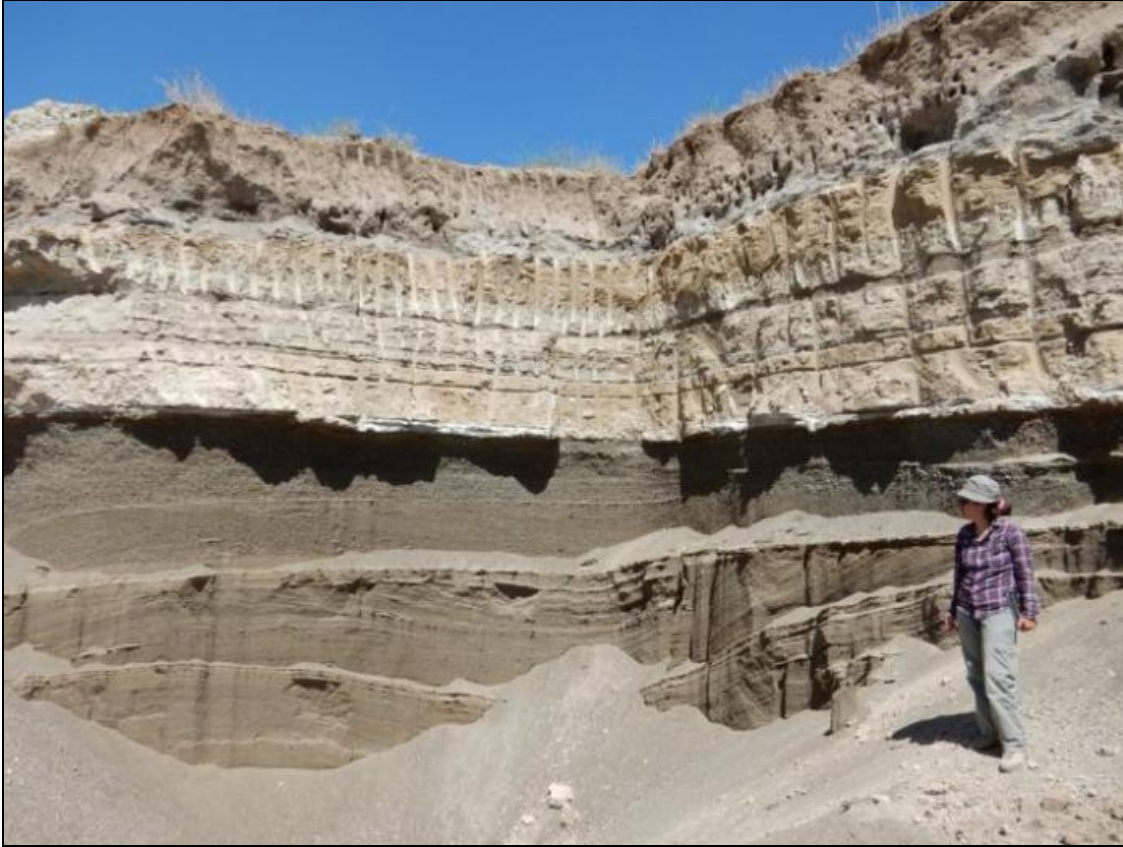
**Şekil 37.** akarsu çökellerindeki normal faylanmalar.

#### V-15-11 Yumrutepe kum ocağı

1713 m seviyesinde bulunan eski Göl taraça seviyesi (38.67D / 43.31K) Van - Erciş karayolunun 25 km'sin de bulunmaktadır. Yaklaşık 15 m kalınlığa sahip olan bu istifte fan-delta çökelleri ile geçişli olan göl çökelleri genel olarak ince kumlu seviye ile siltli seviyelerden meydana gelmektedir. Çökeller içerisinde herhangi bir kinematik veri tespit edilmemiştir.

#### V-15-12 Karasu

Erçek Gölünün kuzeyinden başlayıp Van Gölü'ne dökülen Karasu nehrinin beş ayrı taraça seviyesi bulunmaktadır. Akarsuyun en kuzeydeki taraça seviyesi 1770 m olup (Şekil 38), en güneydeki seviye ise 1720 m seviyesindedir. Alaköy fayının batı segmenti tarafından denetlenen bu akarsuyun taraça çökellerinde herhangi bir kinematik veri saptanmamıştır.



**Şekil 38.** Karasu nehrine ait taraça (1770 m).

#### V-15-14 Karasu

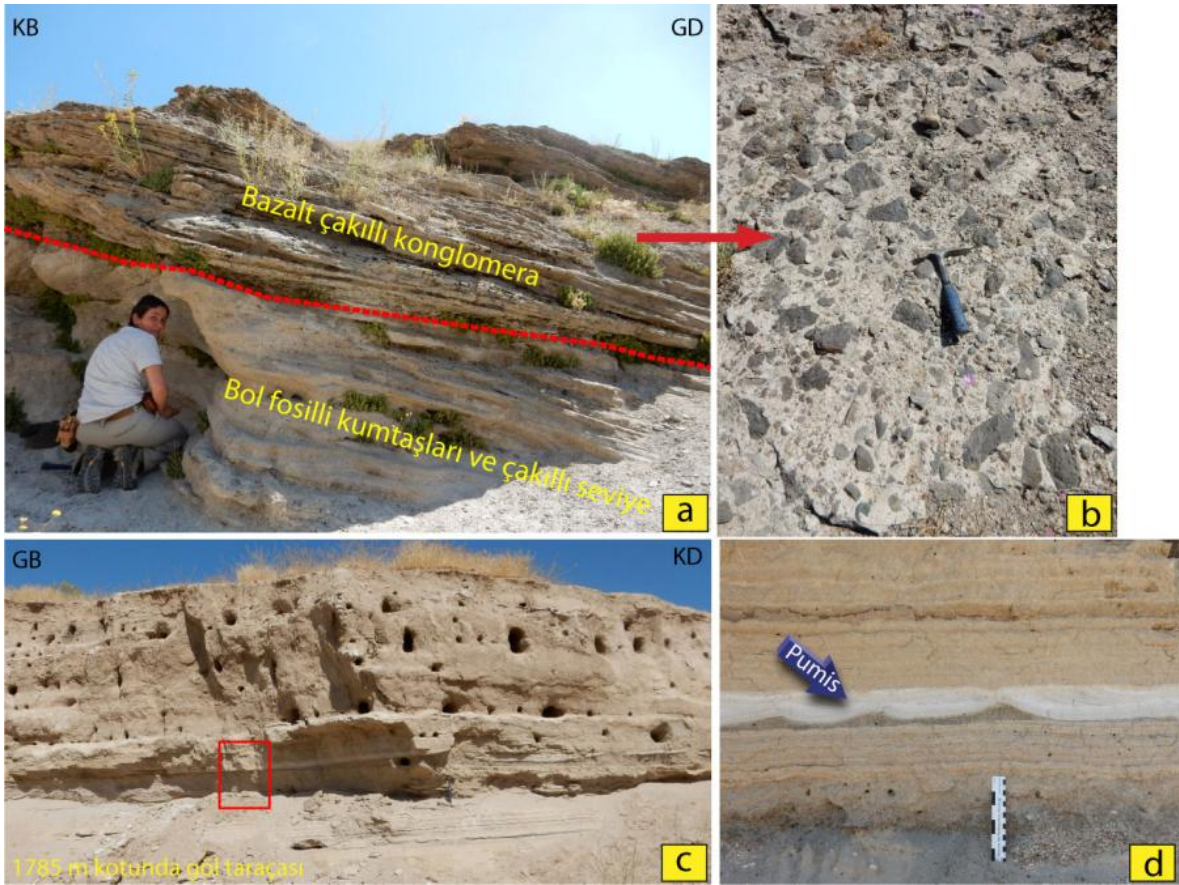
1665 m seviyesinde bulunan eski göl çökelleri içerisinde kinematik veri tespit edilmemesine rağmen sismit yapıları yaygın bir şekilde bulunmaktadır. Sismitler deprem esnasında oluşan su kaçış yapıları olarak değerlendirilmektedir (Şekil 39). Kinematik veri olmamasına karşın, bölgede meydana gelen küçük ölçekli depremlerin çökelleri etkilendikleri görülmektedir.



**Şekil 39.** Göl çökelleri içerisinde gelişen sismit yapıları.

### V-15-21/22 Gedikbulak

Gedikbulak lokasyonu, Van-Erciş karayolunun 50.km'sinde yer almaktadır. Kesit 1760-1775 m kotlarında bol gastrapod ve union fosilli kumlu seviye başlamaktadır. Bu seviyenin üzerine 0,5 ile 1 cm boyutlarına sahip çakıllı bir seviye gelmekte ve istif ardalanmalı şekilde devam etmektedir (Şekil 40a). İstifin en üst seviyesini ise bazalt çakıllı, yaklaşık 7 m kalınlığındaki iyi çimentolanmış konglomera seviyesi oluşturmaktadır (Şekil 40a,b). Genel olarak birimler 25° ile güneydoğuya doğru eğimlenmişlerdir. 1785 m kotlarında ise pomza ara katkılı (Şekil 40d) çapraz katmanlanmalı iyi çimentolanmış kumlu seviyelerden oluşan göl taraçası bulunmaktadır (Şekil 40c). Bu istifte herhangi bir kinematik veri bulunmamaktadır.



**Şekil 40.** a) Gölsel çökeller ile bazalt çakıllı konglomera seviyesi, b) köşeli bazalt çakıllı konglomera, c) göl çökellerinden genel bir görünüm, d) muhtemelen Etrüsk volkanına ait pomza seviyesi.

### V-15-32a Karaağaç

Karaağaç lokasyonunun (V-15-32) kuzeydoğusunda Van-Erciş karayolu üzerinde açılan doğal yarmada göl çökelleri bulunmaktadır. Çökel incelendiğinde laminalı kumlu bir seviyelerden meydana geldiği görülmektedir. Dikkat çekici nokta ise, istifte herhangi bir faylanma verisi olmamasına rağmen, çökellerin kuzeye doğru eğimlenerek, sürüklenme kıvrımı oluşturduğu görülmektedir (Şekil 41).



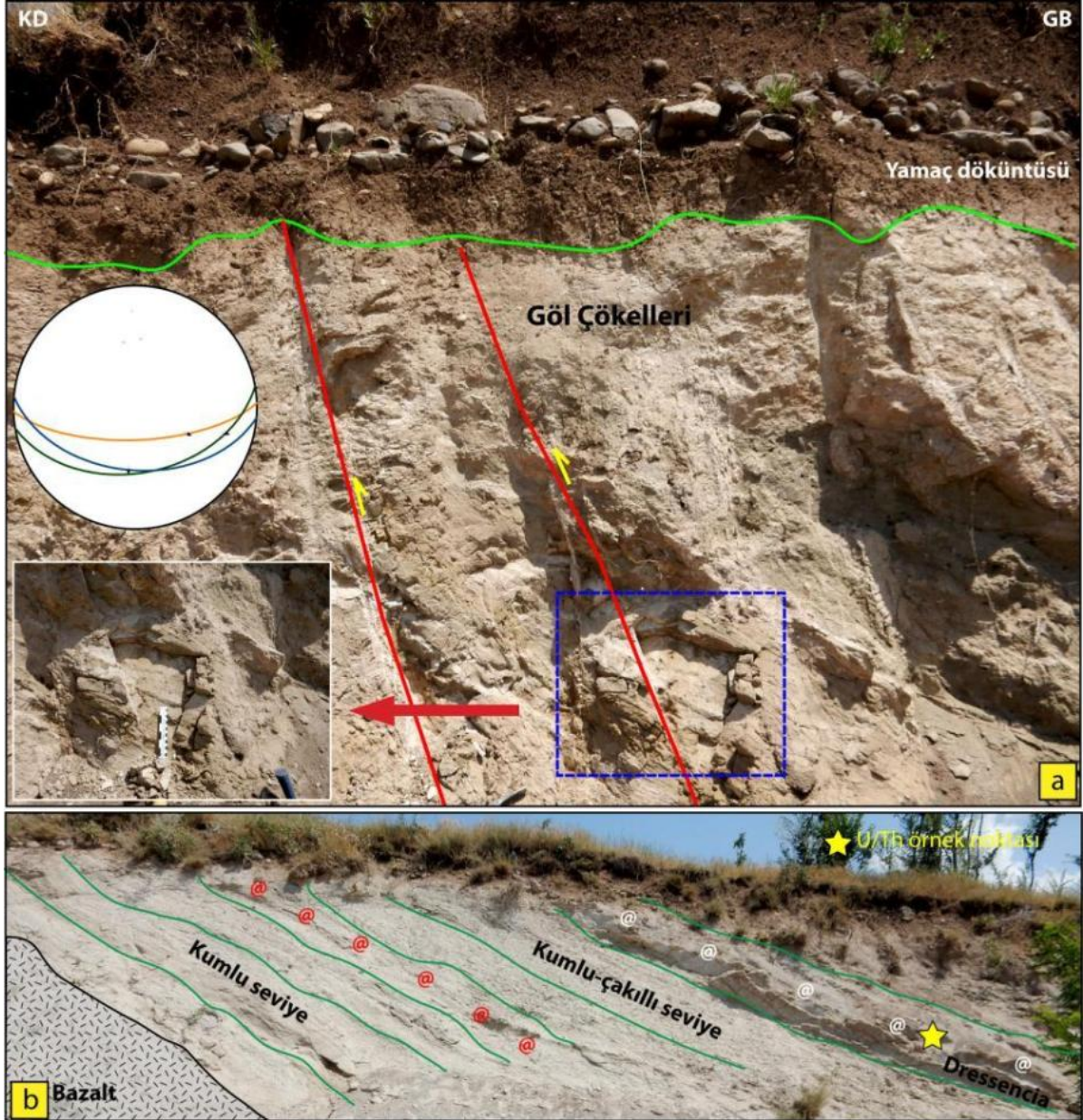
**Şekil 41.** Kumlu seviyeden oluşan gölSEL birimin içinde meydana gelen sürüklenme kıvrımları.

#### V-15-33 Çakırbey

Çakırbey köyünün kuzeybatısında bulunan lokasyon, 38.91D/43.59K koordinatlarında yer almaktadır. Kesitin en alt seviyesini bazaltlar oluşturmaktadır. Bazaltların üzerine uyumsuzlukla kumlu-çakıllı ve kumlu seviyelerden oluşan gölSEL çökeller gelmektedir. Bu seviyelerin arasında *Dressencia* sp. fosilleri bulunmuş ve U/Th yaşlandırılması yapılabilmemesi için örnekler alınmıştır (Şekil 42a). En üst seviyeyi ise akarsu çökelleri oluşturmakta ve bu çökeller içerisinde karasal gastropod fosilleri bulunmaktadır. Van Gölü doğusunda genel olarak deformasyona uğramamış olan göl çökelleri, Van-Erciş karayolu üzerine bulunan tüm lokasyonlar da deforme olmuş ve eğimlenmişlerdir. Bu lokasyonda bulunan genç çökeller, 45° ile güneye doğru eğimlenmişlerdir. Bu birimleri kesen üç farklı sağ yönlü ters fay ölçülmüş ve üç fay çiziği tespit edilmiştir (Şekil 42b).

#### V-15-34 Ovapınar doğusu

Ovapınar köyünün doğusunda 38.92D/43.64K koordinatlarında eski bir kum ocağı bulunmaktadır. 1673 m yüksekliğinde bulunan bu taraça çökelleri, Van Gölünün eski taraça çökellerini oluşturmaktadır. Kesit altta ince-orta katmanlanmalı kumlu seviye ile başlamakta ve akarsu çökelleri ile ardalanmalı olarak devam etmektedir. Akarsu çökellerinin çakılları, bazalt kökenli olup, yuvarlaklaşmış, 5-10 cm çakıl boyutlarına sahiptir (Şekil 43a).



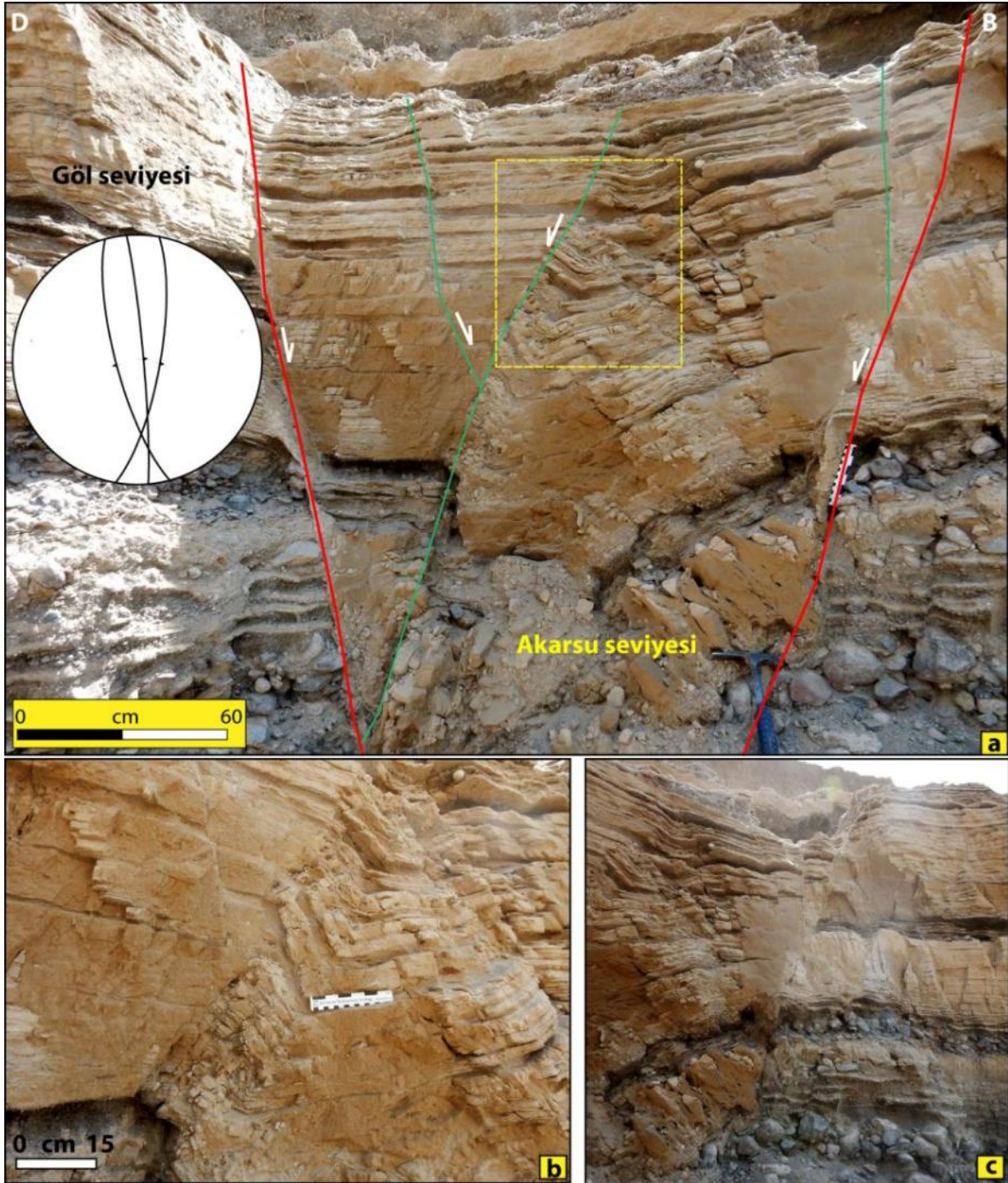
**Şekil 42.** a) Göl çökellerini kesen ve öteleyen eğim atımlı ters faylar, b) Bazalt ve eğimlenmiş eski Van gölü taraçası.

Ocağın güney yamacında çökeller iki normal fay tarafından kesilmiştir. Yaklaşık K-G doğrultu eğim atımlı normal faylarda ki düşey ötelenme 4 ile 5 m arasında değişmektedir (Şekil 43b, c). İki eğim atımlı normal fay arasında gelişen horst yapısında bulunan kumlu seviyelerdeki katmanlarda çok net izlenebilen sürüklenme kıvrımları gelişmiştir. 7 farklı fay düzlemi ölçümü yapılmış ve bunlardan 4'ünde fay çizgisi tespit edilmiştir.

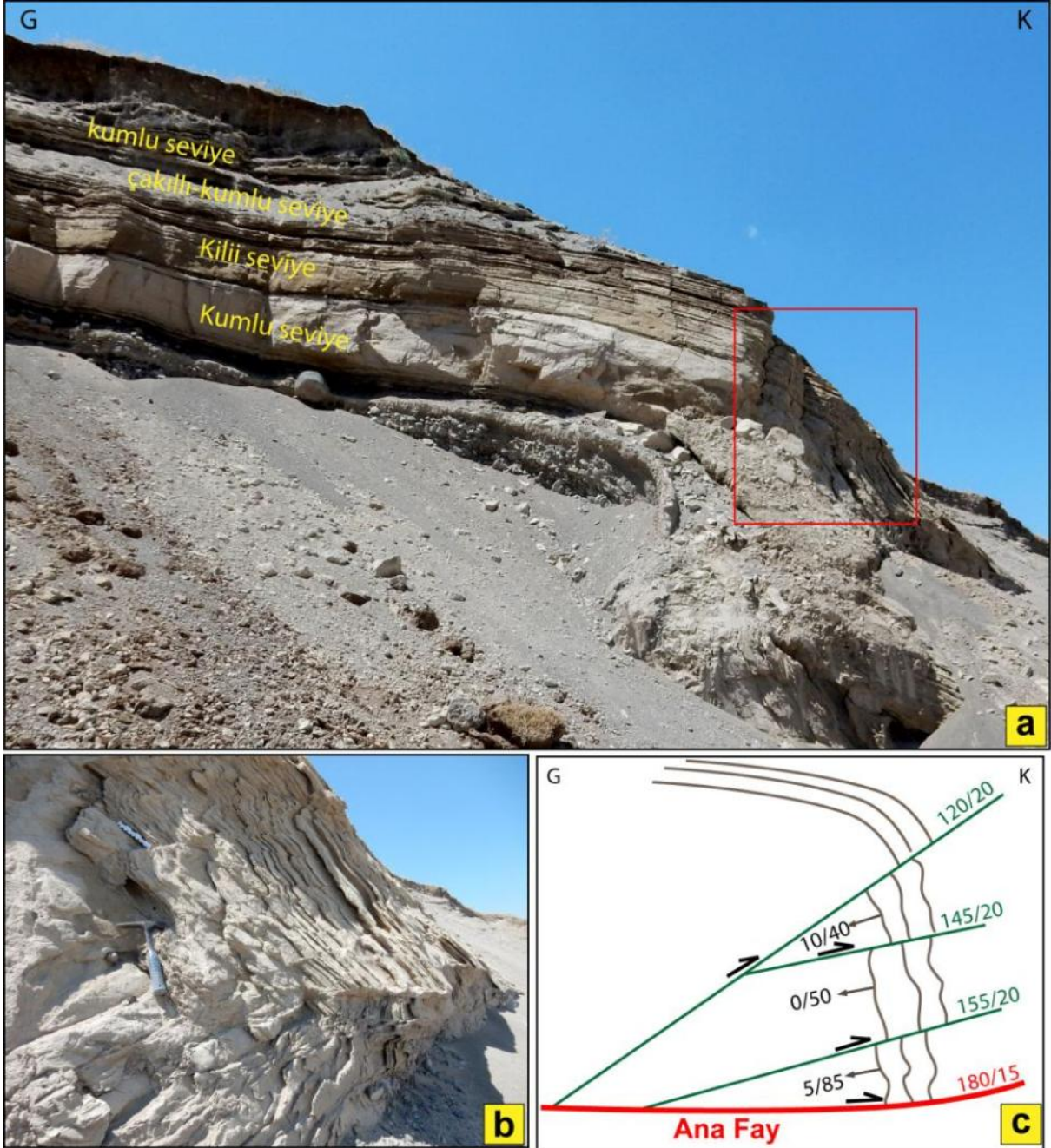
Ocağın doğu yamacında ise göl çökelleri ana bir bindirme fayı tarafından kesilmektedir. Çökeller bindirme düzlemine yaklaştıkça kıvrımlanmaktadır (Şekil 44a). Tabakaların eğim



dereceleri düzleme doğru kademeli olarak artmaktadır (Şekil 44b, c). Ana fayın doğrultusu D-B olup, ikincil gelişen fayların doğrultuları K30-60°D arasında değişmektedir.



Şekil 43. a) Göl çökellerini kesen ve öteleyen eğim atımlı normal faylar, b) sürüklenme kıvrımları, c) normal faylarda meydana gelen düşey ötelenme.

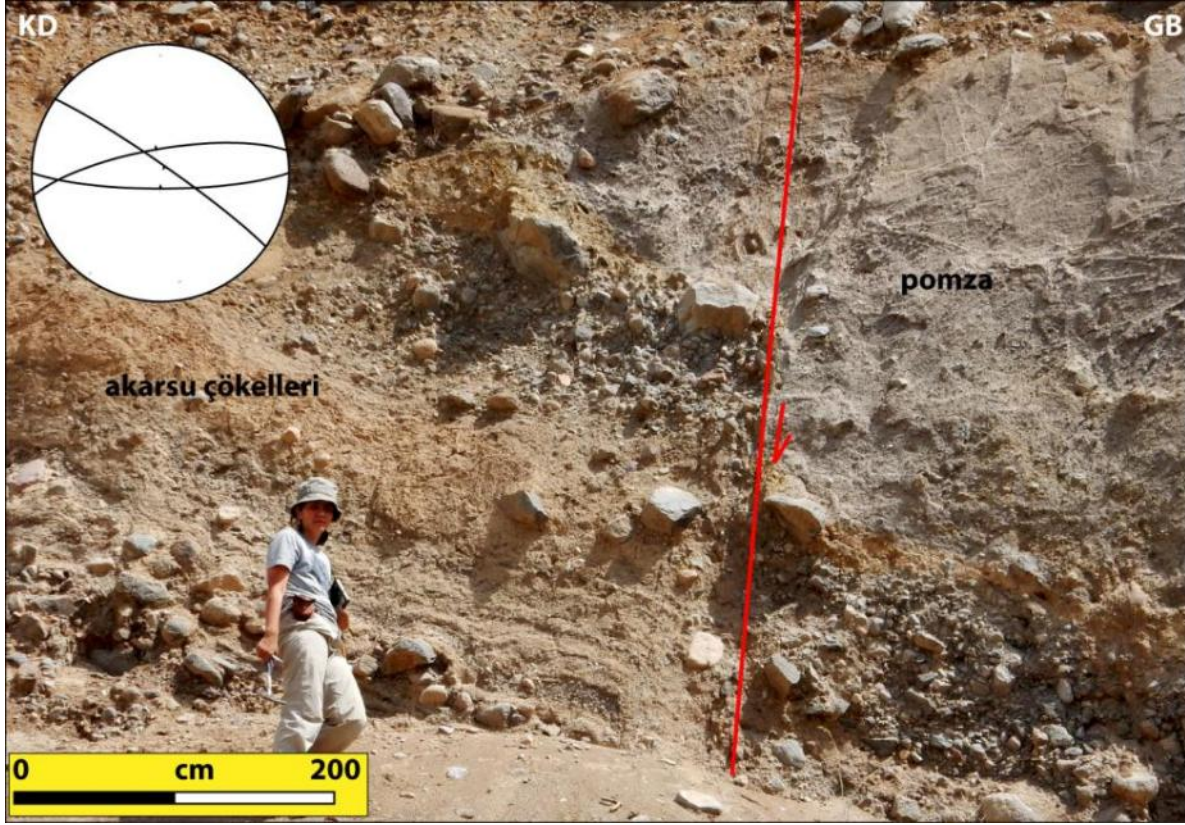


**Şekil 44.** a) Göl çökellerini kesen bindirme fayı, b) sürüklenme kıvrımları, c) lokasyona ait şematik kesit.

#### V-15-35 Ovapınar

Ovapınar köyünün güneyinde 38.92D / 43.64K koordinatların da yaklaşık 25 m kalınlığında akarsu çökellerinden oluşan bir istif yer almaktadır. İstif altta kaba çakıllı, iyi yuvarlaklaşmış, baskın olarak bazaltlardan oluşan taşkın akarsu seviyesi ile başlamaktadır. Orta seviyelerde genel olarak durgun ortamda çökelmiş, ince çakıllı-kumlu seviyeler gelmektedir. En üst seviyede ise bazalt çakıllı, kum matriksli, taşkın akarsu seviyesi gelmektedir. K30°D doğrultu normal fay tarafından kesilen birimin, tavan bloğunda volkanik malzeme olan pomza

bulunmaktadır (Şekil 45). Ana fayda 1 m düşey ötelenme olup, ikincil faylarda bu ötelenme 10-20 cm arasında değişmektedir. 4 farklı fay düzlemi ölçümü yapılmış ve bunlardan 3'ünde fay çizgisi tespit edilmiştir.



Şekil 45. Akarsu ve pomza seviyesini kesen normal faylanma.

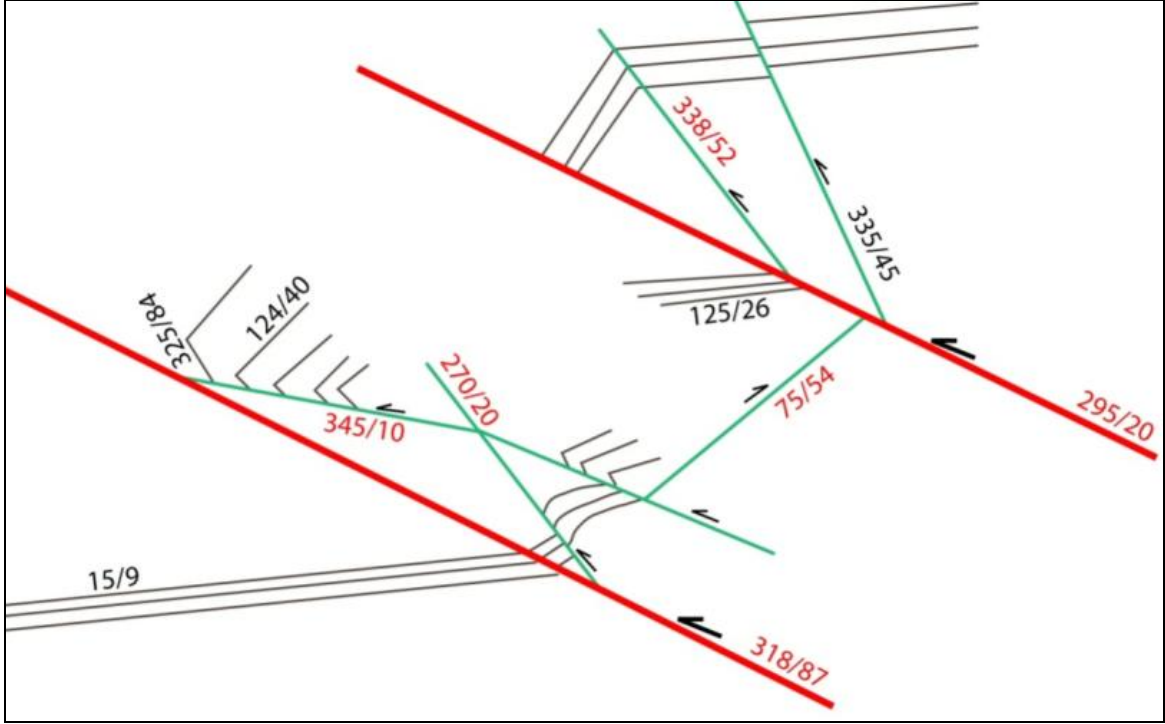
#### V-15-36 Çolpan

Çolpan köyünün güneydoğusundaki yol yarmasında 38.86D/43.46K koordinatlarında çolpan lokasyonu tanımlanmıştır. Kesit, göl ve akarsu çökellerinden meydana gelmektedir. Göl çökelleri ince laminalı, kum-kil-silt ardalanasından oluşurken ara seviyelerde akarsu çökelleri ile ardalanmalı olarak devam etmektedir. Akarsu çökelinin çakılları 10-30 cm boyutlarında, altta kaba çakıllı üst seviyelere doğru daha küçük çakıllara geçmektedir. Yüksek enerjili bir ortamı karakterize eden akarsu çökellerinin kalınlığı 1 m geçmemektedir. Birim K80°B doğrultulu eğim atımlı ters bir fay tarafından kesilerek yaklaşık 2 m'lik düşey bir ötelenme meydana gelmiştir (Şekil 46a, b). Tavan blokta meydana gelen sürüklenme kıvrımları net bir şekilde görülmektedir (Şekil 46c).



**Şekil 46.** a) Göl ve akarsu çökellerini kesen eğim atımlı ters faylar, b) göl çökelleri içerisinde meydana gelen ötelenme, c) tavan blokta meydana gelen sürüklenme kıvrımları.

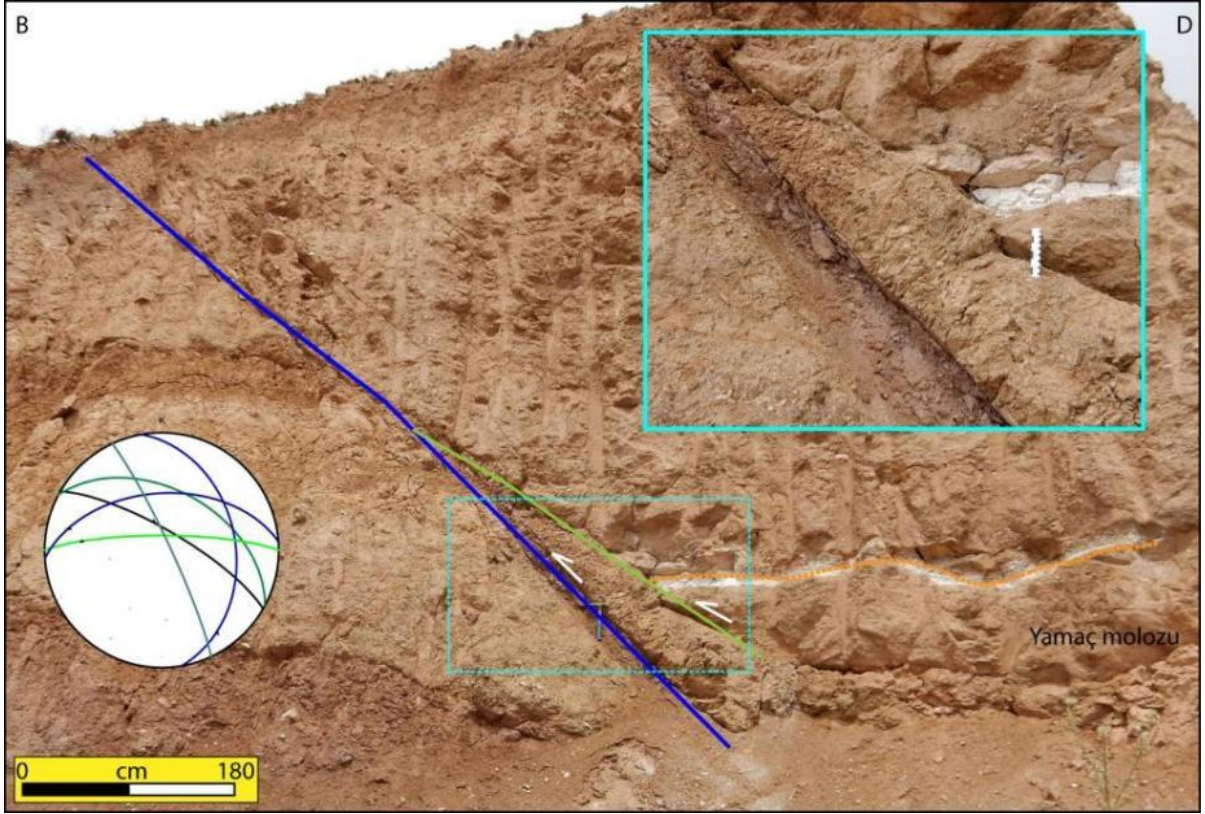
Kumlu seviyenin içerisinde tavan blokta oluşan sürüklenme kıvrımlanmaları net bir şekilde takip edilmektedir (Şekil 47). 8 farklı fay düzlemi ölçümü yapılmış ve bunlardan 5'inde fay çizgisi tespit edilmiştir.



**Şekil 47.** Lokasyondaki genel durumu gösteren şematik kesit.

#### V-15-37 Mehmetalan

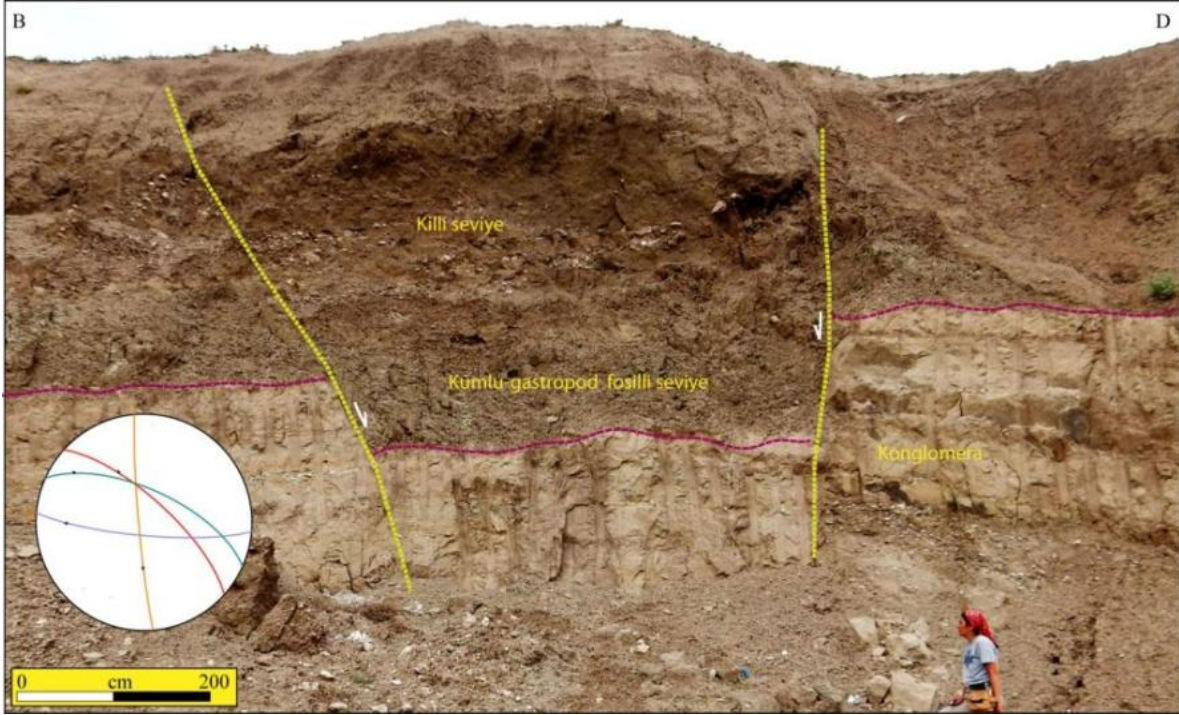
Mehmetalan lokasyonu Van'ın doğusunda bulunan Saray ilçesinin kuzeyinde yer almaktadır (38.69D/44.10K). Saray ilçesinden İran'a giden eski yol üzerinde açılan yarma yamaç molozu çökellerinden oluşmaktadır. Çökeller, K60°B doğrultulu sağ yönlü ters bir fay tarafından kesilmekte ve ötelenmektedir (Şekil 48). Tavan bloкта bulunan beyaz renkli seviye takip edildiğinde taban bloktaki devamı görülmemektedir. Yol yarmasının kuzeyine gelindikçe karbonat çimentolu breşler dikkat çekmektedir. 6 farklı fay düzlemi ölçümü yapılmış ve bunlardan 4'ünde fay çizgisi tespit edilmiştir.



**Şekil 48.** Yamaç molozunda gelişen eğim atımlı ters faylanma.

#### V-15-39 Çöplük

Van ilinin doğusunda yer alan lokasyon Sıhke gölünün kuzeyinde yer almaktadır (38.54D/43.41K). İlin çöp dökmek için açtığı yarmada akarsu-bataklık çökelleri yüzeyler. Akarsu çökelleri iyi yuvarlaklaşmış, 5-15 cm arasında değişen çakıl boyutları ve genel olarak kireçtaşı çakıllarından meydana gelen konglomera seviyesi ile başlamaktadır. Bir üst seviyede ise bol gastrapod fosilli kumlu bir seviye yer almakta ve bu seviye ise akarsuyun durgun olduğu dönemi temsil etmektedir. En üst seviyeyi ise killi-bataklık çökelleri oluşturmaktadır. İstif, K50°B ve K05°D doğrultulu normal bileşenli oblik faylar tarafından kesilmektedir (Şekil 49). Her iki fayda da ortalama düşey atım 2 ile 3 m arasında değişmektedir. 4 farklı fay düzlemi ölçümü yapılmış ve bunlardan 4'ünde de fay çizgisi tespit edilmiştir.



**Şekil 49.** Akarsu ve bataklık çökellerinden gelişmiş normal faylanmalar.

#### V-15-42 Erciş

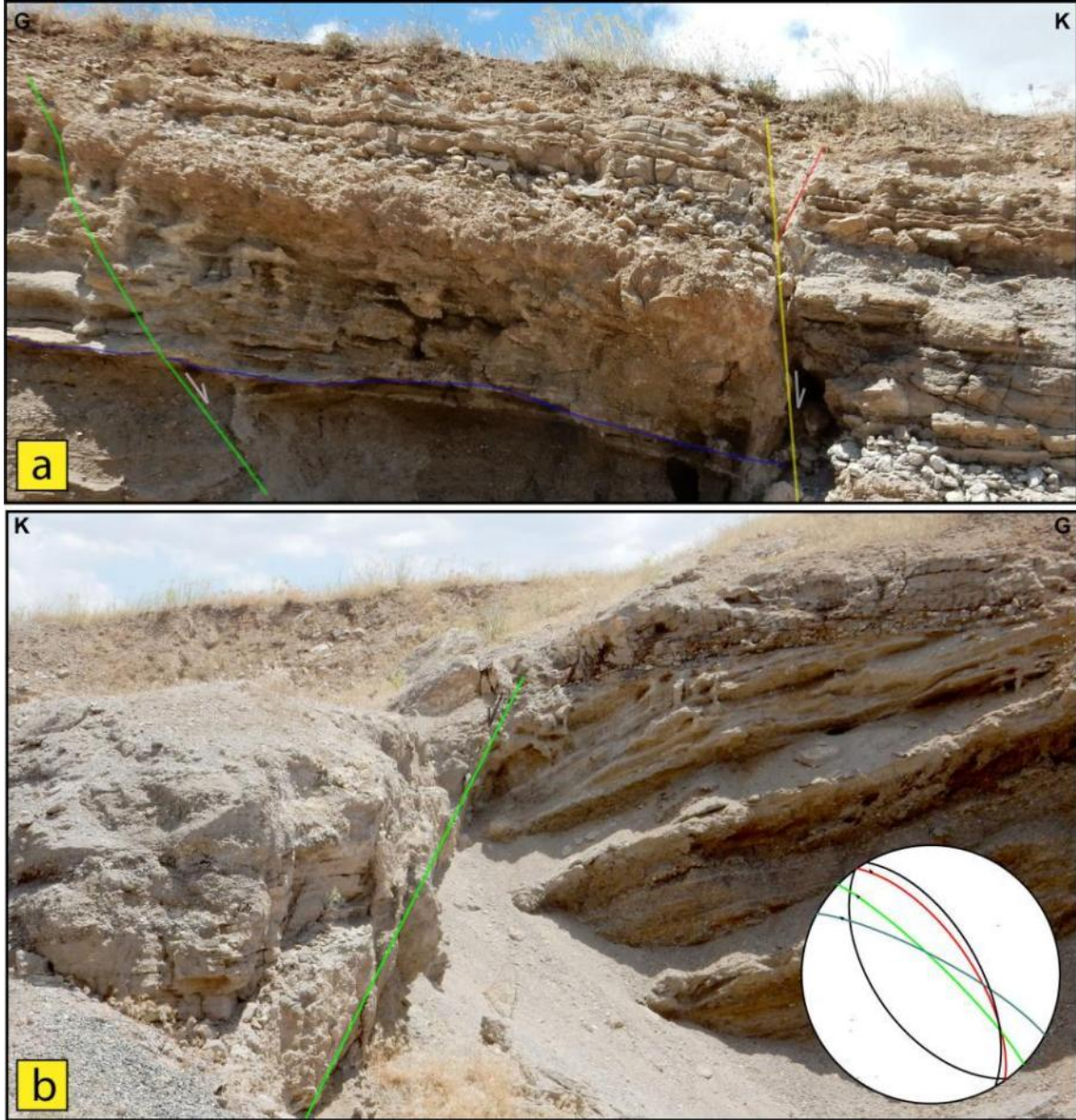
Erciş ilçesinin (Van İli) Ünseli beldesinin güneyinde bulunan lokasyon Erciş fayının tam üzerindedir (38.95D/43.64K). Fan-delta çökellerinden meydana gelen istif genel olarak çakıllı (pomza) ve kumlu seviyelerin ardalanmasından oluşmaktadır. Çakıllar genel olarak bazalt olup, iyi yuvarlaklaşmış, tane boyutları 2-10 cm arasında değişmektedir. Ana fay K46°B doğrultulu normal bileşenli sağ yönü bir fay olup, birimi 2 m'lik düşey bir ötelenmeye uğratmıştır (Şekil 50a). Bu noktasının doğusunda farklı bir noktada aynı doğrultu (K50°B) başka bir fay birim içerisinde yaklaşık 1 m'lik düşey ötelenme yaratmıştır (Şekil 50b). Bu lokasyonda 5 farklı fay düzlemi ölçülmüş olup, sadece iki adet fay çizgisi saptanmıştır.

#### V-15-44a Zilan deresi

Van-Erciş ilçesinin tam merkezinden Zilan deresi geçmektedir. Zilan deresi boyunca eski göl taraça seviyeleri bulunmaktadır. Bu taraçalar birçok noktada deformasyona uğramıştır (Şekil 51a). Erciş ilçesinin köyü olan Çatak dibi köyünün doğusunda kum ocakları bulunmaktadır (39.03D/43.30K). Açılan kesit genel olarak kumlu seviye ile kumlu-çakıllı seviyenin ardalanmasından meydana gelmiştir. 1676 m seviyelerinde bulunan bu eski taraça çökelleri birden fazla normal fay tarafından kesilerek ötelenmiştir.

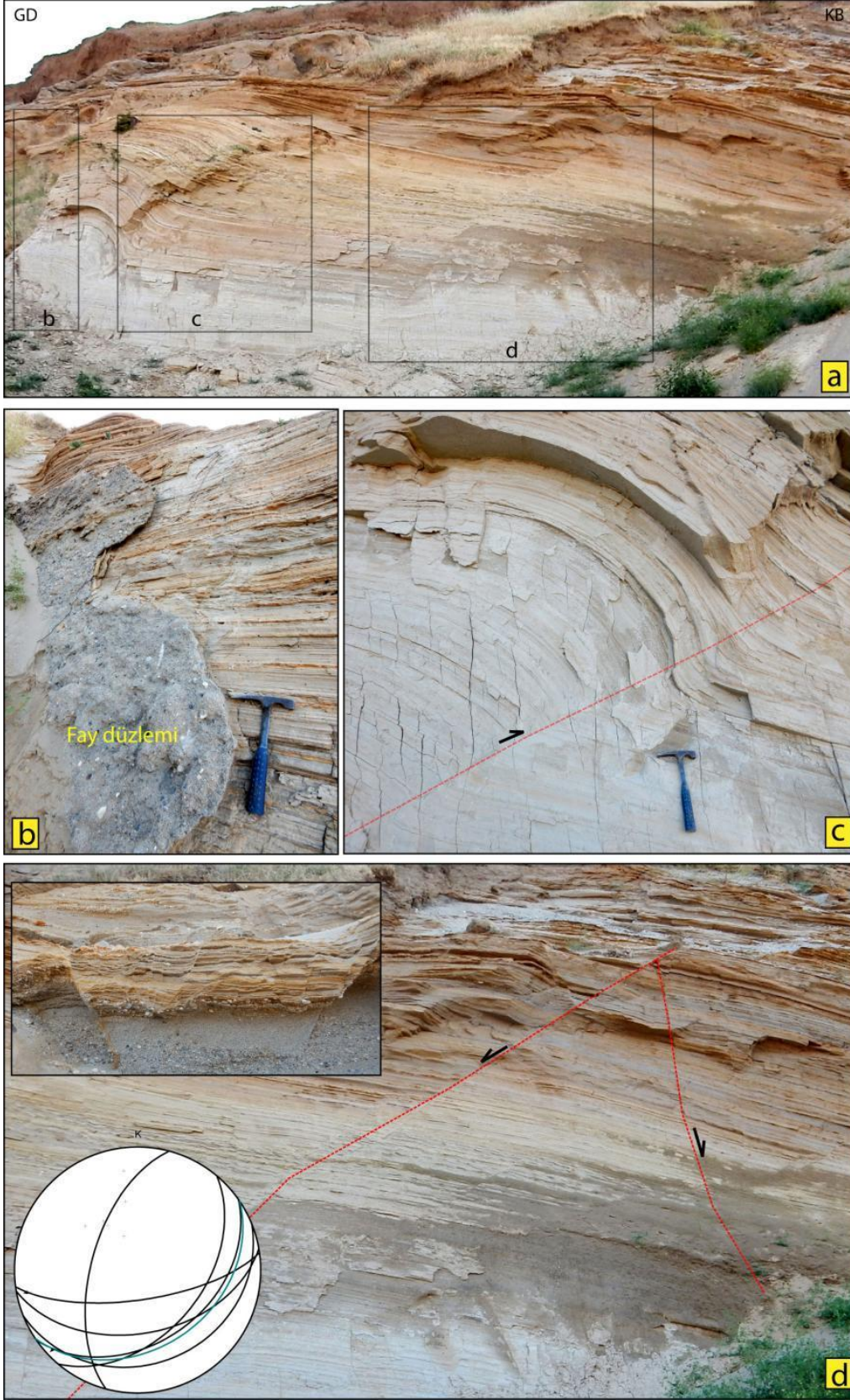
Kesitte K70°D doğrultusunda uzanan ana bir fay bulunmaktadır. Köşeli, bazalt çakıllı konglomera seviyesi fay zonu boyunca takip edilebilmektedir (Şekil 51b). Birim içerisinde

bulunan kumlu seviyenin kıvrımlandığı görülmektedir (Şekil 51c). Bu kıvrımlanmayı K68D doğrultusunda uzanan ters fay kesmekte ve 3 ile 5 cm arasında değişen ötelenme yaratmaktadır. Kesitteki faylar gelen olarak normal faylar olup K55°D ile K-G arasında değişen doğrultulara sahiptirler (Şekil 51d). Bu lokasyonda 12 farklı fay düzlemi ölçülmüş olup, sadece 4 adet fay çizgisi ölçülebilmiştir.



Şekil 50. a) K46B doğrultulu normal bileşenli sağ yönlü doğrultu atımlı fay (Erciş Fayı), b) K50B doğrultulu normal bileşenli sağ yönlü doğrultu atımlı fay (Erciş Fayı).

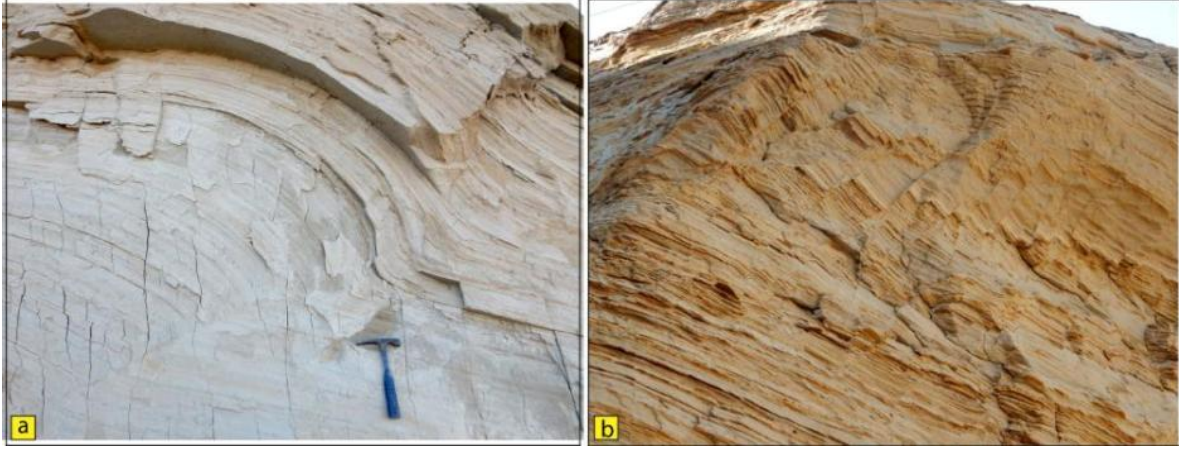




**Şekil 51.** a) Zilan deresi boyunca gözlenen göl taraçası b) göl çökelleri içerisinde gelişmiş fay düzlemi, c) tavan blokta meydana gelen sürüklenme kıvrımları, d) göl çökellerini kesen ve öteleyen normal faylar.

### V-15-44b Zilan deresi

V-15-44a lokasyonun 30 m güneyinde yer alan birim V-15-44a lokasyonu ile aynı litolojik özelliklere sahiptirler (Şekil 52a). Yaklaşık D-B ve K85°B doğrultu normal faylar tarafından kesilen birimde düşey ötelenme miktarı 30 ile 50 cm arasında değişmektedir. İkincil gelişen birden fazla küçük ölçekli normal fay tarafından kesilen birimdeki düşey ötelenme miktarı 5 ile 25 cm arasında değişmektedir (Şekil 52b).



**Şekil 51.** a) Kumlu seviyede meydana gelen sürüklenme kıvrımları b) göl çökellerini kesen ve öteleyen normal faylar.

### V-15-44c Zilan deresi

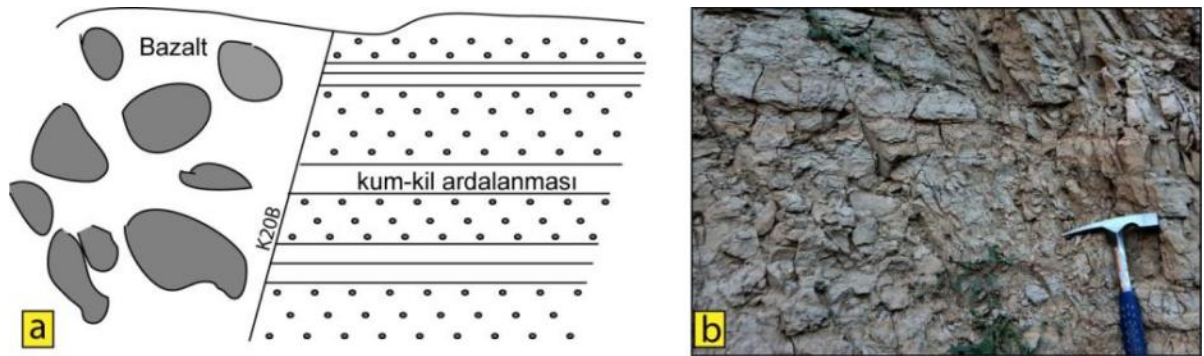
V-15-44a lokasyonun 40 m kuzeyinde bulunan vadi içerisinde bulunan doğal yarma 44c lokasyonudur. Birim genel olarak kumlu-killi-siltli seviyelerden oluşmaktadır. K10°D doğrultu normal bir fay tarafından kesilen ve ötelenen birimde birden fazla gelişen ikincil faylanmalar bulunmaktadır (Şekil 53a). İkincil faylanmalar ile oluşan ötelenmeler diğer lokasyonlardan daha fazla olup (44a ve 44b), 50 ile 85 cm arasında değişmektedir (Şekil 53b ve c).

### V-15-45

Erciş ilçesi, Çatakdibi köyünün kuzeyinde 39.04D/43.30K koordinatlarında açılan yarmada bazalt seviyesi ile killi göl sel seviyenin dokanağı bulunmaktadır (Şekil 54a). Dokanakları tektonik olup, K20°D doğrultulu sol yanal bir fay tarafından kontrol edilmektedir. Killi birim ondülasyonlu bir yapıya sahiptir (Şekil 54b).



**Şekil 53.** a) Göl çökellerinde içinde gelişen normal fay ve ikincil faylanma b,c) İkincil faylanmalar ve meydana getirdikleri ötelenmeler.

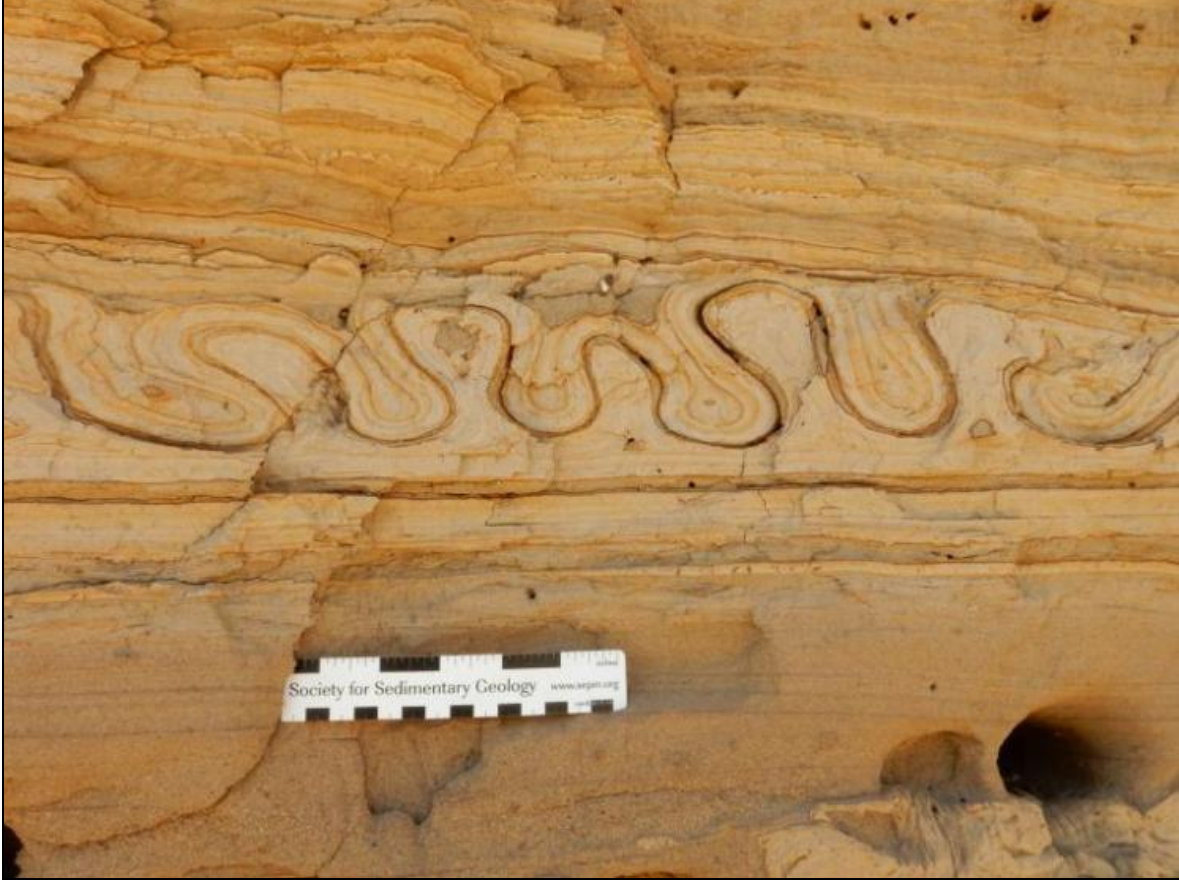


**Şekil 54.** a) Göl çökelleri ile bazalt dokanağında yer alan doğrultu atımlı faylanmayı gösteren şematik şekil, b) fay düzleminde meydana gelen killeşme.

#### V-15-47

Erciş-Kadir asker köyünün doğusunda 39.03D/43.42K koordinatlarında birden fazla doğal yarma bulunmaktadır. 1700 m yükseklikte bulunan düşük enerjili göl taraça seviyesi, kumlu

birimlerden meydana gelmektedir. Herhangi bir faylanma verisi olmamasına rağmen kumlu seviyelerde sismitler bulunmaktadır ([Şekil 55](#)).



**Şekil 55.** Göl çökellerinin kumlu seviyelerinde meydana gelen sismit yapıları.

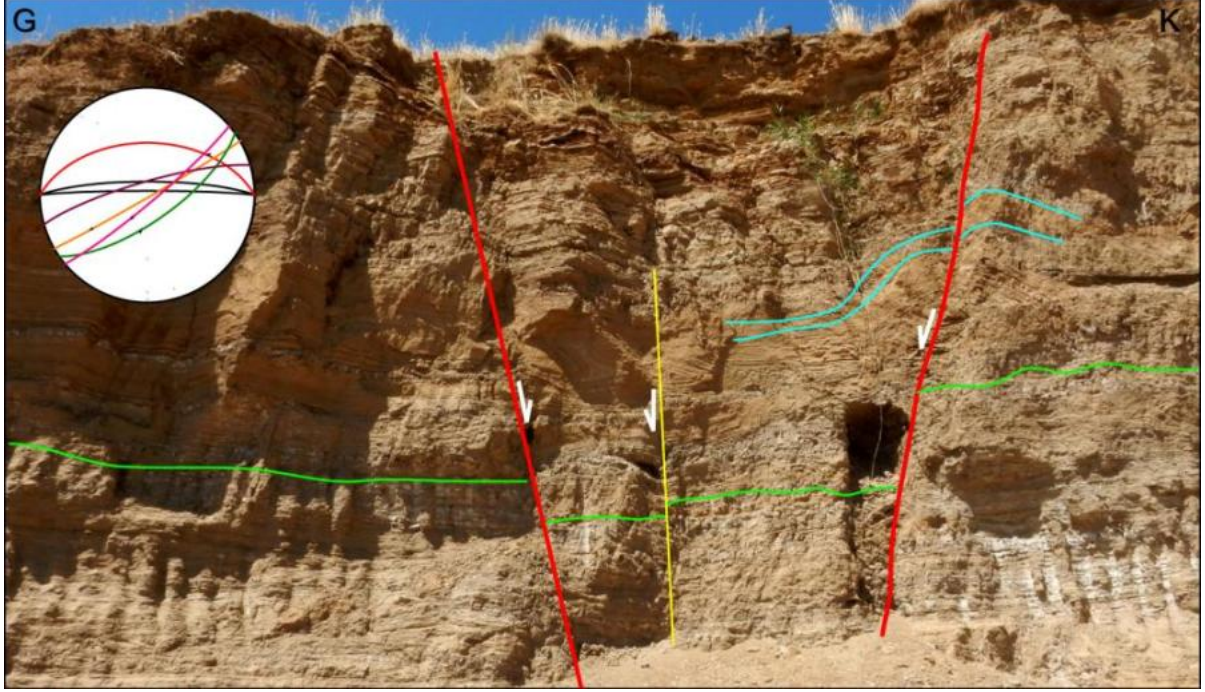
#### V-15-47a

Erciş-Kadir asker köyünün kuzeyinde 1710 m seviyelerinde eski göl taraça seviyesi bulunmaktadır (39.04D/43.30K). Düşük enerjili göl ortamında çökelmiş olan birim kumlu-siltli seviyelerden oluşmaktadır. Kısmen ara seviyelerde çakıllı-kumlu seviyeler görülmektedir. Kumlu seviyelerin içerisinde bol miktarda sismit yapıları seviyeler görülmektedir. Birinci ana fay yaklaşık K10°D uzanan normal bir fay olup ve birimi 1 m düşey yönde ötelenmektedir ([Şekil 56](#)). İkinci ana fay K55°D doğrultusunda olup sol yönlü doğrultu atımlı bir faydır. İkincil gelişen faylar, ana fay doğrultusuna paralel olup, düşey ötelenme miktarları 5-10 cm arasında değişmektedir.

#### V-15-48

Erciş-Çobandüzü mevkiinde, 39.5D/43.12K koordinatlarında akarsu çökelleri içerisinde K60D doğrultusunda uzanan ters bir fay bulunmaktadır ([Şekil 57](#)). Kesit alt seviyelerinde kumlu bir seviye ile başlamakta ve üste doğru bazalt çakıllı akarsu kanal çökellerine geçmektedir. Ara

seviyelerde ise pomza seviyeleri bulunmaktadır. Fay boyunca yaklaşık 30 cm'lik bir ötelenme görülmektedir (Şekil 57).



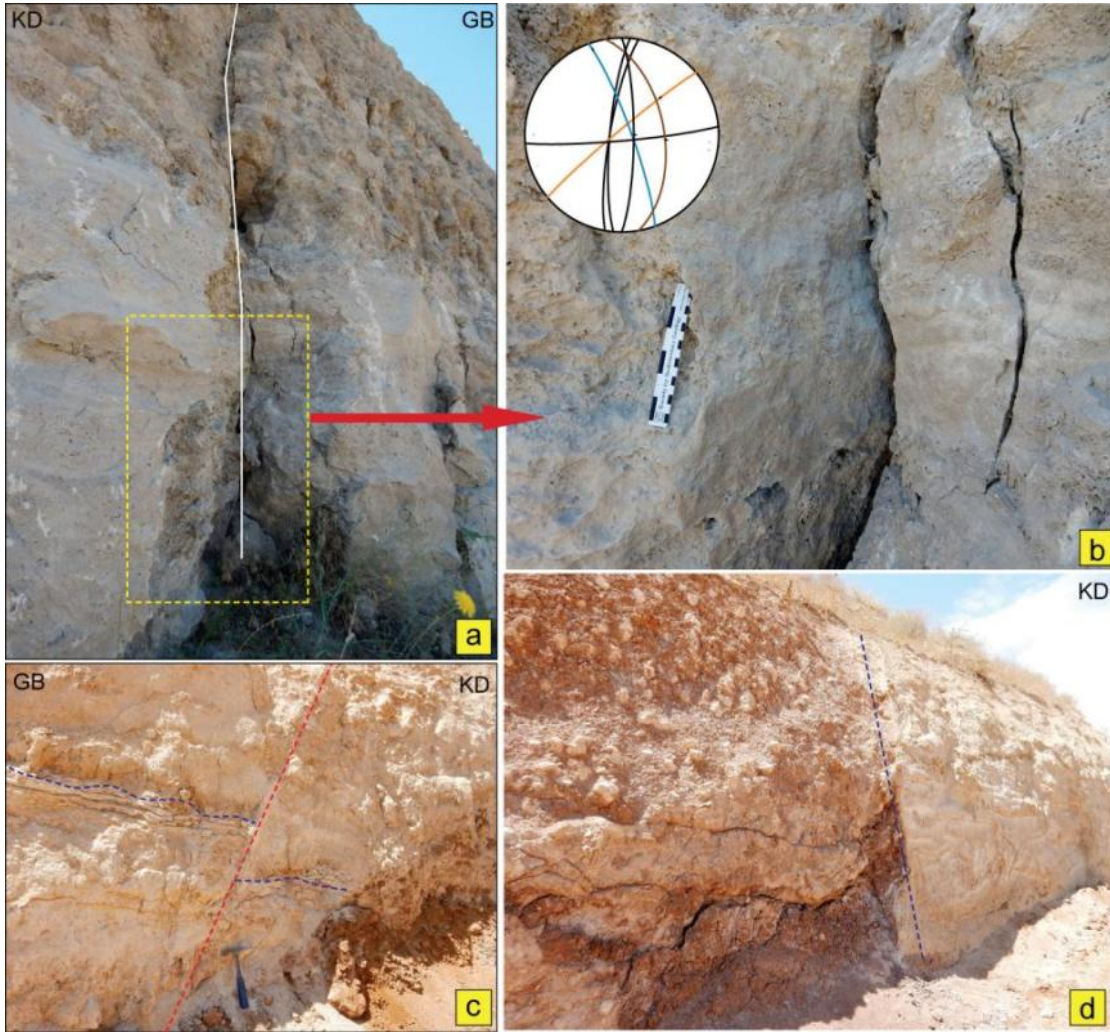
Şekil 56. Göl çökellerinde gelişen normal faylanmalar.



Şekil 57. Akarsu çökeline gelişen eğim atımlı ters faylanma.

V-15-50/51

Pleyistosen yaşlı travertenler Van Gölü havzasının güney kenarında geniş yayılım göstermektedirler. Yaşının en az 40000 yıl, en fazla 100000 yıl olduğu belirtilen (Acarlar vd., 1991) travertenlerin Pleyistosen volkanizmasına bağıntılı gelişen çözülmüş karbonatlarca zengin suların yüzeye çıkmasıyla oluştuğu düşünülmektedir (Degens vd., 1984). Van gölü güneydoğusunda yer alan travertenler, Edremit ve Gürpınar travertenleri olarak iki grup altında incelenebilir. Edremit travertenleri tabaklı, daha az deforme olmuşken, Gürpınar travertenleri tamamen masif ve aşırı deformasyona uğramışlardır. Edremit travertenleri K-G ile K25°D doğrultu, normal bileşeni azda olsa olan sol yanal doğrultu atımlı faylarla kontrol edilmektedir (Şekil 58a). Bunlarda meydana gelen yanal atım miktarı 1m civarındadır. Gürpınar'da yer alan travertenler ise KB doğrultulu ters bileşene sahip sağ yanal doğrultu atımlı faylarla kontrol edilmektedir (Şekil 58b). Bu lokasyonda 7 farklı fay düzlemi ölçülmüş olup, 5 fay düzleminde fay çizgisi saptanmıştır.



**Şekil 58.** a) Edremit travertenleri içerisinde gelişen sol yanal doğrultu atımlı faylanma, b) fay düzlemi, c) sağ yönlü ters faylanma d) traverten içerisinde gelişen makaslama zonu.

#### 4. KİNEMATİK VERİLERİN MEKANSAL SINIFLAMASI

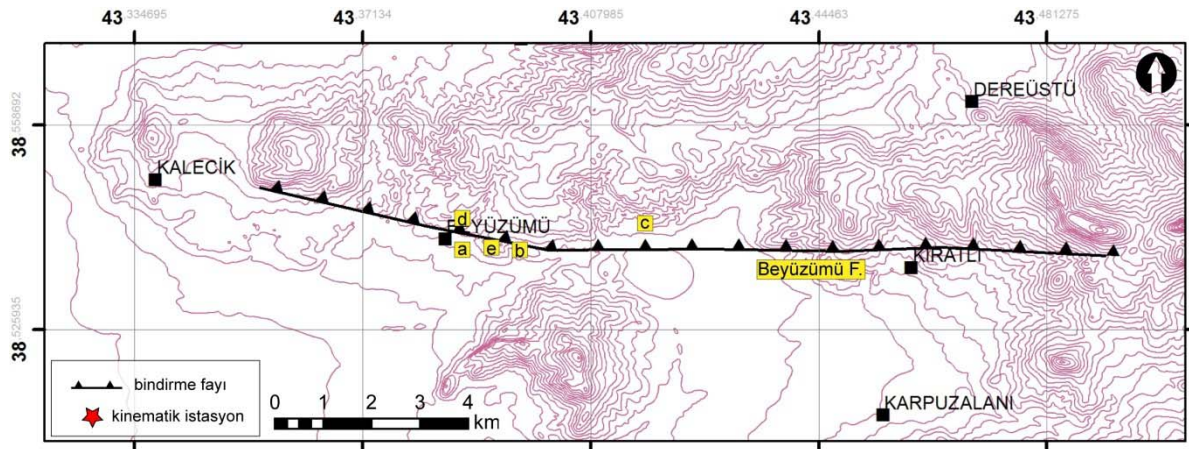
Van Gölü havzasından 51 farklı gözlem noktası tanımlanmıştır. Bu gözlem noktaları 203 adet fay düzlemi ve fay kinematiğine işaret eden veriler ölçülmüştür. Elde edilen veriler mekansal ayırt edilmiş ve Pliyosen-Kuvaterner yaşlı çökeller içerisinde elde edilen verilerin kinematik analizleri gerçekleştirilmiştir.

*Elde edilen veriler mekansal olarak dört sınıf altında toplanmıştır:*

- (1) Beyüzümü Fayı (Beyüzümü ve Bostaniçi)
- (2) Van Fay zonu/Everek fayı (Topaktaş ve Yumrutepe) Yeni Köşk Fayı (Yeniköşk),
- (3) Çolpan fayı (Çolpan),
- (4) Erciş fayı (Muradiye ve Erciş).

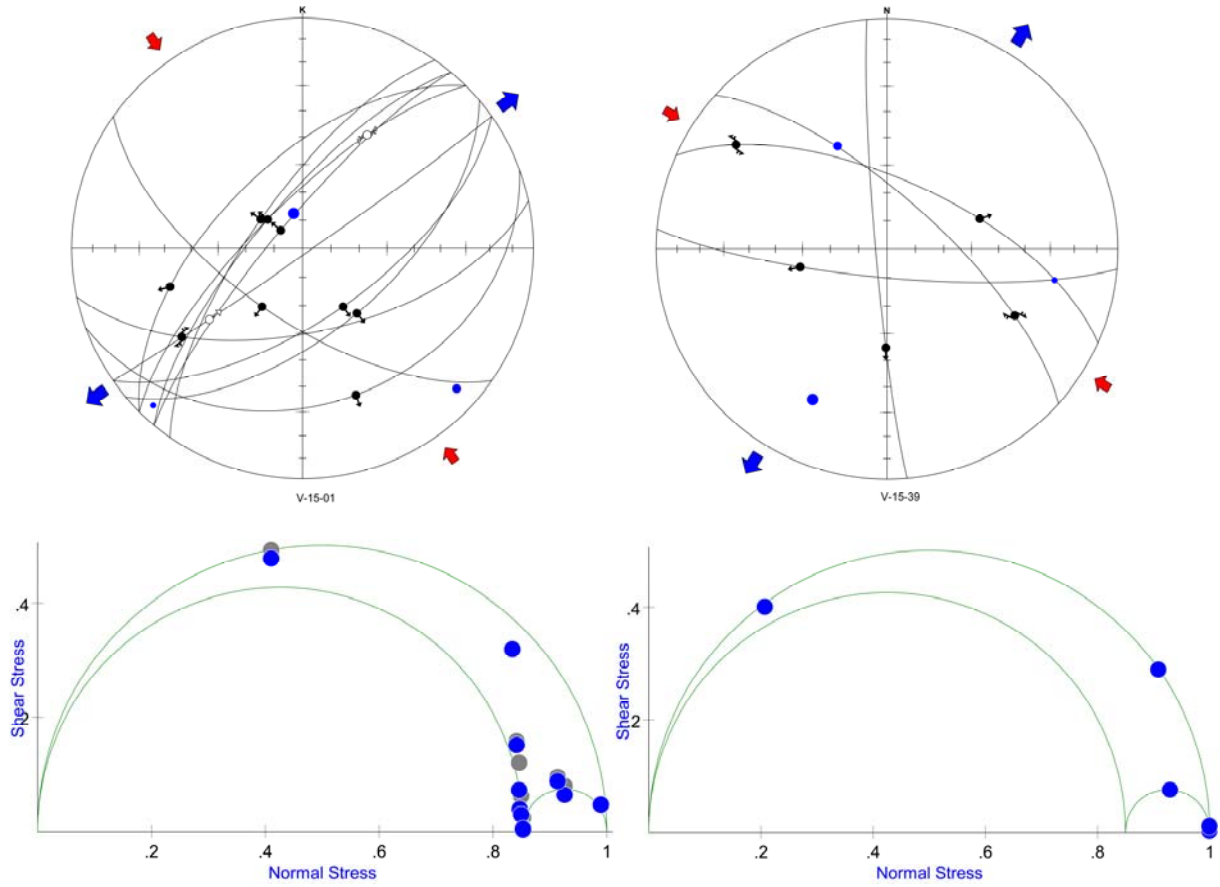
##### 4.1. Beyüzümü Fayı

Beyüzümü fayı yaklaşık 20 km uzunluğunda, D-B gidişli bir bindirme fayıdır. Van il merkezinin kuzeybatısında bulunan Kalecik köyünden başlamakta ve bu alanda Paleosen-Eosen yaşlı kireçtaşları ile Kuvaterner yaşlı birimlerin dokanağını oluşturmaktadır. Doğuya doğru devam edildiğinde Beyüzümü köyünün hemen kuzeyi ile Van ili çöp alanı arasında hem morfolojik olarak hem de yapısal unsurlar bakımından en iyi izlenebildiği alandır. Bu alanda Miyosen yaşlı Van formasyonu ile Kuvaterner yaşlı Van gölü taraçaları arasında dokanak oluşturmakta ve taraça çökellerini 20-70° arasında değişen değerlerde eğimlendirmektedir. Beyüzümü fayı boyunca beş farklı noktadan kinematik veri toplanmıştır (Şekil 59). Kesitlerde genel olarak normal faylanma ile doğrultu atımlı faylanmayı işaret eden kinematik veriler ölçülmüştür. Genel doğrultuları K-G ile K20°B arasında değişmektedir. 21 adet fay düzlemi ölçülmüş olup, bunlardan 9'unda fay çizgisi tespit edilmiştir.



Şekil 59. Beyüzümü fayı boyunca kinematik gözlem noktaları.

Bu fay zonu içerisinde (Beyüzümü:V15-01(a-b-c-d-e-) ve Bostaniçi (V15-39) lokalitelerinde kinematik veri işlenmiştir. Analiz edilen Beyüzümü (4), Bostaniçi (4) fay seti aynı gerilme yönleri sunmaktadır. Her iki analizde Van Bölgesi'nin beklenen KB-GD sıkışma KD-GB yönlü yönlü açılma göstermektedir (Şekil 60). Bostaniçi lokalitesi stratigrafik olarak Beyüzümü lokalitesinden daha yaşlıdır. Bostaniçi lokalitesinde  $K54^{\circ}B$  yönlü sıkışma görülürken Beyüzümü lokalitesine gelindiğinde  $K37^{\circ}B$  olduğu görülmektedir (Şekil 60).



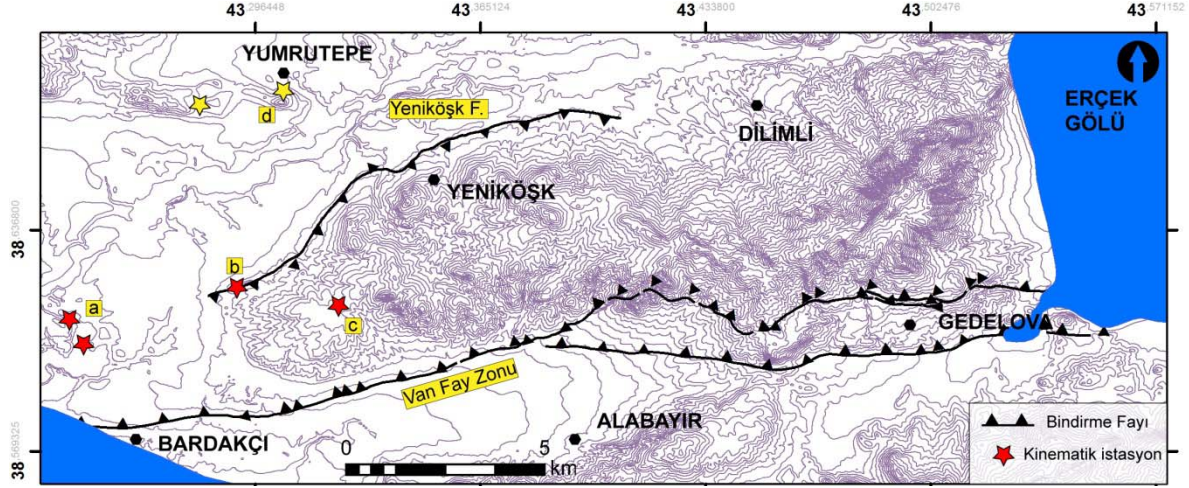
**Şekil 60.** Beyüzümü (V15-01) ve Bostaniçi (V15-39) kinematik verilerinin analizi ve asal gerilme yönleri.

#### 4.2. Van Fay zonu/Everek fayı-Yeni Köşk Fayı

Van Gölü havzasının doğu kesiminin de iki ayrı su havzası bulunmaktadır. Van ilinin bulunduğu bölüm Everek Havzası ve kuzeyi ise Karasu havzası olarak adlandırılmaktadır. Van Fay zonu Everek havzasının kuzey kenarını kontrol etmekte, Yeniköşk fayı ise Karasu havzasının güney kenarını kontrol etmektedir.

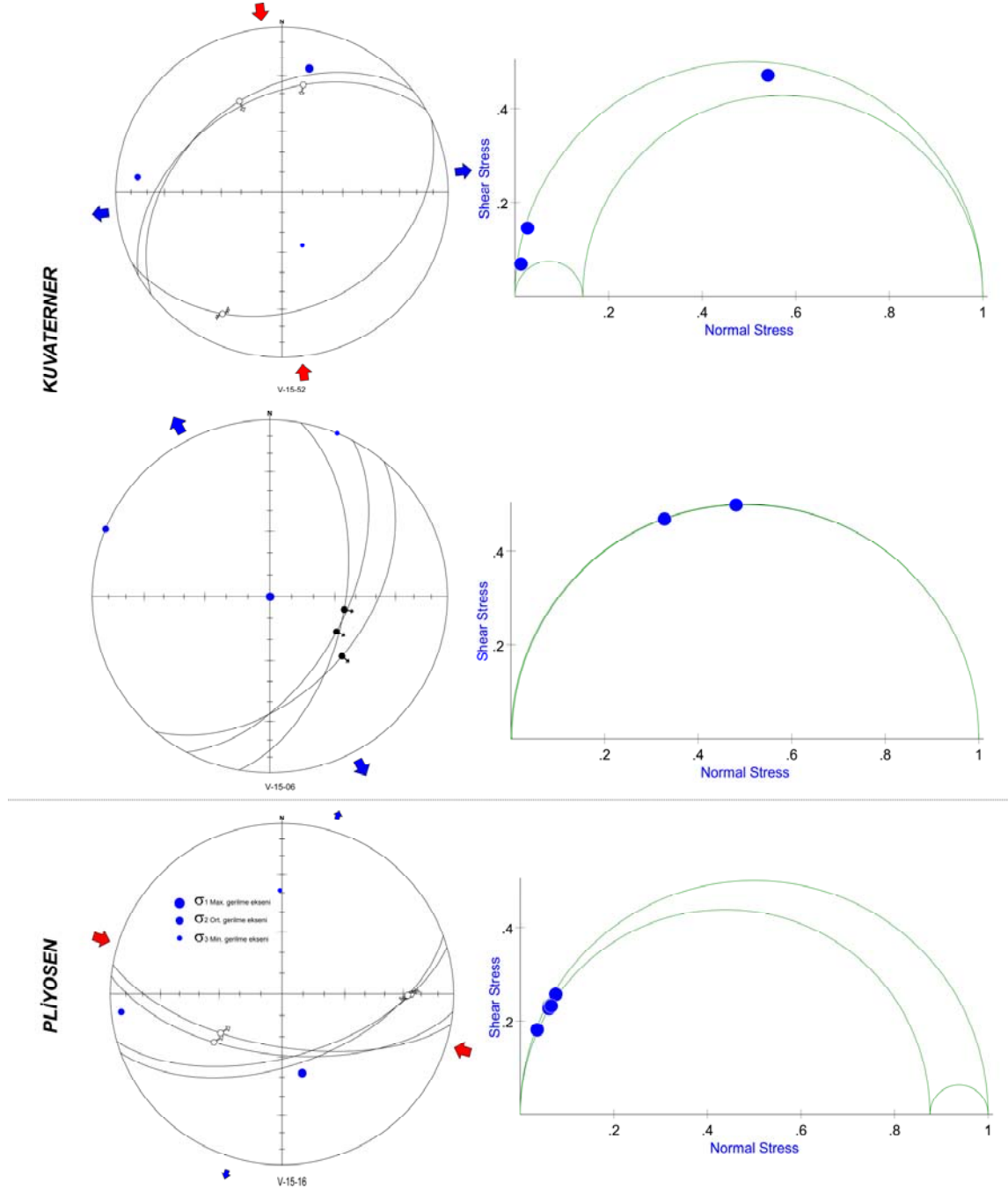


Bu alanda yapılan arazi çalışmalarında Van Fay zonu boyunca üç farklı noktadan kinematik veri toplanmıştır (Şekil 61). Açılan kademeli yarmalarda 6 farklı fay düzlemi ölçülmüş olup, 4 adet fay düzleminde fay çizizi ölçümü yapılmıştır. Normal fayların genel doğrultuları  $K40-50^{\circ}D$  arasında değişirken, ters fayların doğrultuları  $K80^{\circ}B$  ile  $D-B$  arasında değişmektedir (Şekil 62).



Şekil 61. Van Fay zonu/Everek fayı-Yeni Köşk Fayı alanında yer alan kinematik gözlem noktaları.

Yüzüncü Yıl Üniversitesi doğusunda bulunan yeni sanayi sitesinin (V15-16) inşasında kademeli olarak yarmalar açılmıştır. Bu yarmalarda alınan ölçümler eski akarsu çökelleri (Pliyosen) içerisinden elde edilmiştir. Genel olarak  $K80^{\circ}B$  doğrultulu sıkışma ve  $K10^{\circ}D$  doğrultulu genişleme bileşenleri sunmaktadır. Topaktaş yakınlarındaki iki lokalite de (06 ve 07) ölçülen normal ve oblik bileşenli faylar  $KB-GD$  yönlü açılma göstermektedir. Bu faylar, bölgenin morfolojisine uygun olarak  $BGB-DKD$  uzanımlı, gerilme yönlerine göre de sol yönlü bir doğrultu atımlı bir fay kontrolünde gelişmiş olabilir (Şekil 62). Van fay zonu üzerindeki (W13-52) lokalitesi, göl taraçalarını kesen  $KD-GB$  doğrultulu eşlenik ters faylardan oluşmaktadır. Bu veriler  $KB-GD$  yönlü sıkışma vermektedir. Bu bölge aynı zamanda 23 Ekim 2011 7.2 (Mw) Van Depremi'nin de odak noktasına yakındır. Deprem süresince gerçekleşen deformasyonun INSAR yöntemiyle incelenmesi (Elliot vd., 2013) depremin bu sahada  $KD$  doğrultuda uzanan kuzeye eğimli bir ters fay tarafından gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Bu önemli aktif fayın geometrisi ve kinematiği, W13-52 lokalitesinde ki verilerle uyum göstermektedir (Şekil 62).

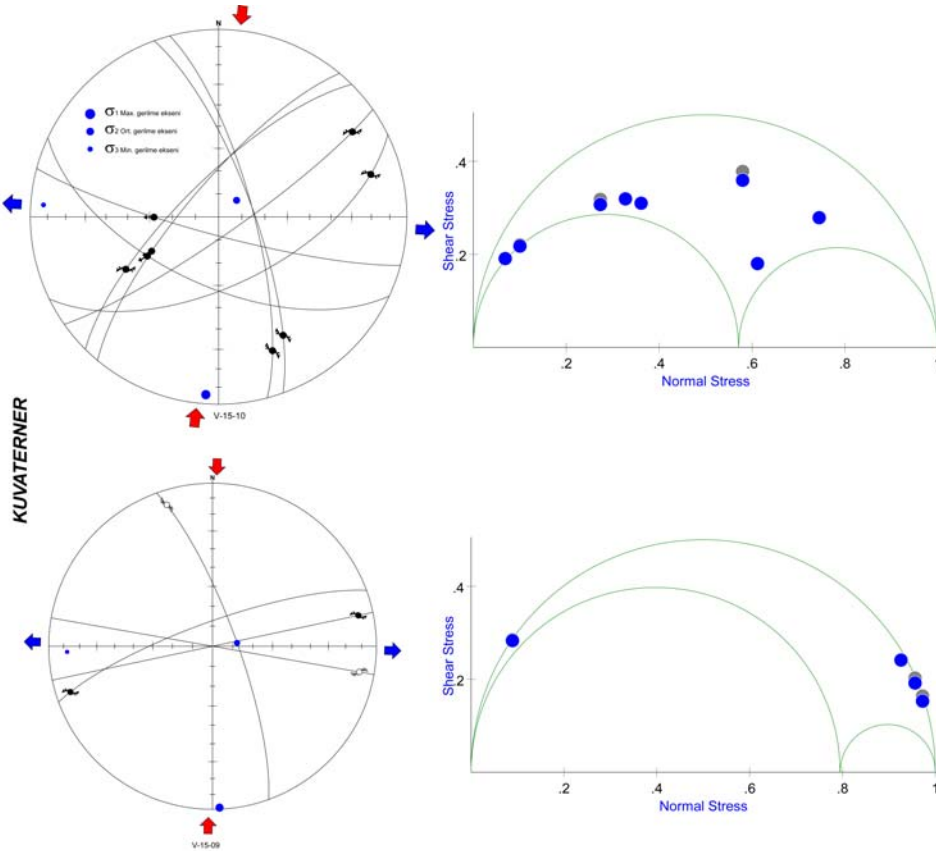


**Şekil 62.** Van Fay zonu/Everek fayı civarından derlenen kinematik verilerinin analizi ve asal gerilme yönleri.

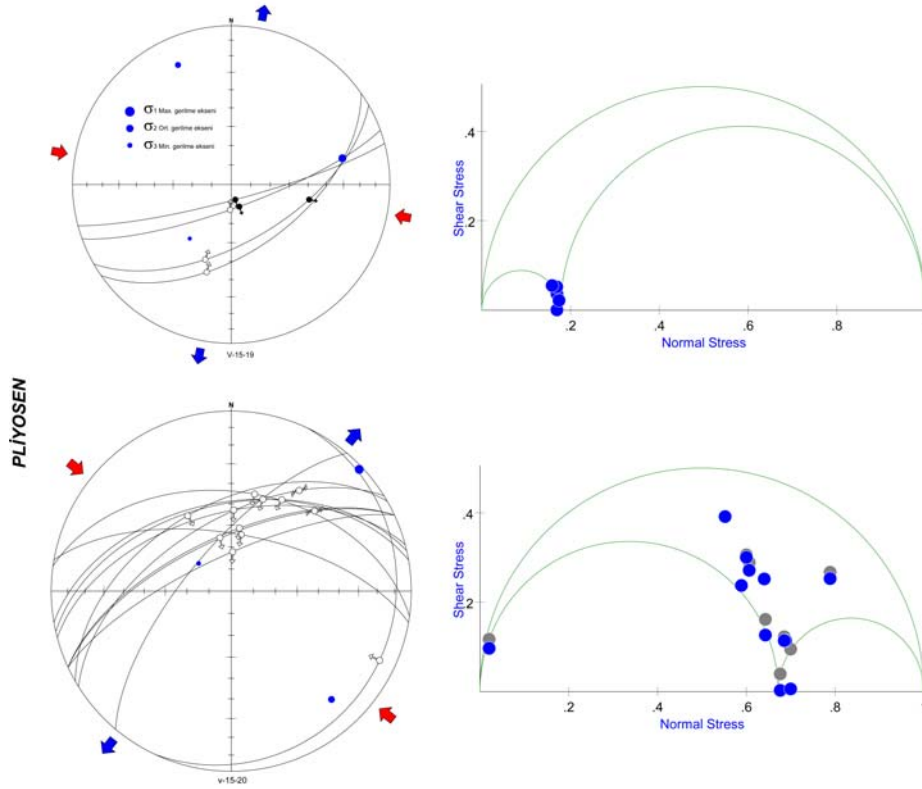
Yeni köşk fayı üzerinde yer alan eski hastane temel kazısı içerisinde birden fazla yarma açılmıştır. Bu lokasyonda 17 farklı noktadan fay düzlemi ölçümü yapılmış, 14 adet fay düzleminde fay çiziği ölçümü yapılmıştır. Tüm faylar eğim atımlı ters fay olup, yaklaşık doğrultuları D-B ile K80-85°B arasında değişmektedir (Şekil 63).

Anadolu Lisesi temel kazıları sırasında açılan yarmalarda göl taraça çökellerini kesen bindirme fayları gözlenmiştir. Bu gözlem noktasında Yeniköşk fayı net bir şekilde görülmektedir ve toplam atım yaklaşık 80 cm civarındadır. D-B uzanımlı Yeniköşk fayının kontrol ettiği bölgeden beş farklı gözlem noktası tanımlanmış ve kinematik veri derlenmiştir. İki bindirme fayının oluşturduğu sırt olan Ziyaret sırtı, 2173 m yüksekliğindedir. Sırtın üzerinden Beyüzümü köyüne ulaşan yeni yol çalışması nedeniyle birden fazla yol yarması açılmıştır. Açılan yol yarmalarında Kuvaterner yaşlı çökellerin genel olarak normal faylanma ile kesildiği ve ortalama ötelenmenin 80 cm ile 120 cm arasında değiştiği görülmektedir. Karasu havzasının kuzey yamacında bulunan Yumrutepe, eski göl taraça seviyelerinden oluşmaktadır. Bu seviyeler normal faylar tarafından kesilmekte ve 15-30 cm arasında değişen düşey ötelenme miktarlarına sahiptirler.

Eski hastane temeli (V15-19-20) inşasında kademeli olarak açılan yarmalardan elde edilen kinematik verilerin analizi K50-80°B arasında sıkışma ve K10-40°D doğrultulu genişleme bileşeni sunmaktadır (Şekil 63). Bu yarmalarda alınan ölçümler eski akarsu çökelleri (Pliyosen) içerisinde elde edilmiştir. Yumrutepe lokalitesinde (V15-09-10) ise K-G yönlü sıkışma, D-B yönlü açılma bileşeni vardır (Şekil 63).



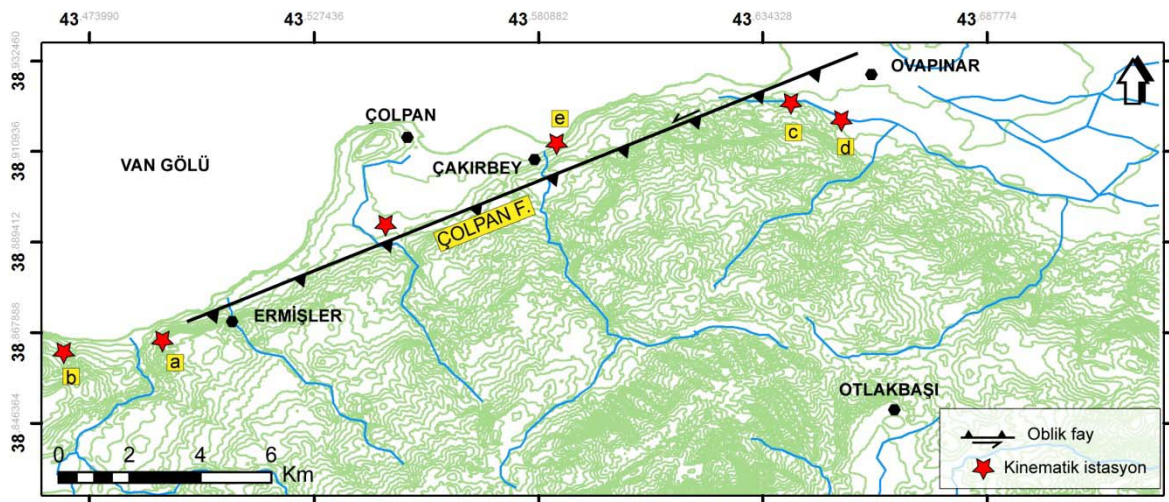
Şekil 63. Yeni Köşk fayı civarından derlenen kinematik verilerinin analizi ve asal gerilme yönleri.



**Şekil 63.** (devamı)Yeni Köşk fayı civarından derlenen kinematik verilerinin analizi ve asal gerilme yönleri

### 4.3. Çolpan Fayı

Van Gölü havzasının kuzeydoğu bölümünde yapılan arazi çalışmalarında altı farklı lokasyondan veri toplanmıştır (Şekil 64). Yapılan arazi çalışmaları ve veri istasyonlarının harita üzerinde eklenmesinden sonra bu alanda güneydoğuya eğimli aktif bir bindirme fayı olduğu görülmektedir.



**Şekil 64.** Çolpan fayı boyunca kinematik gözlem noktaları.

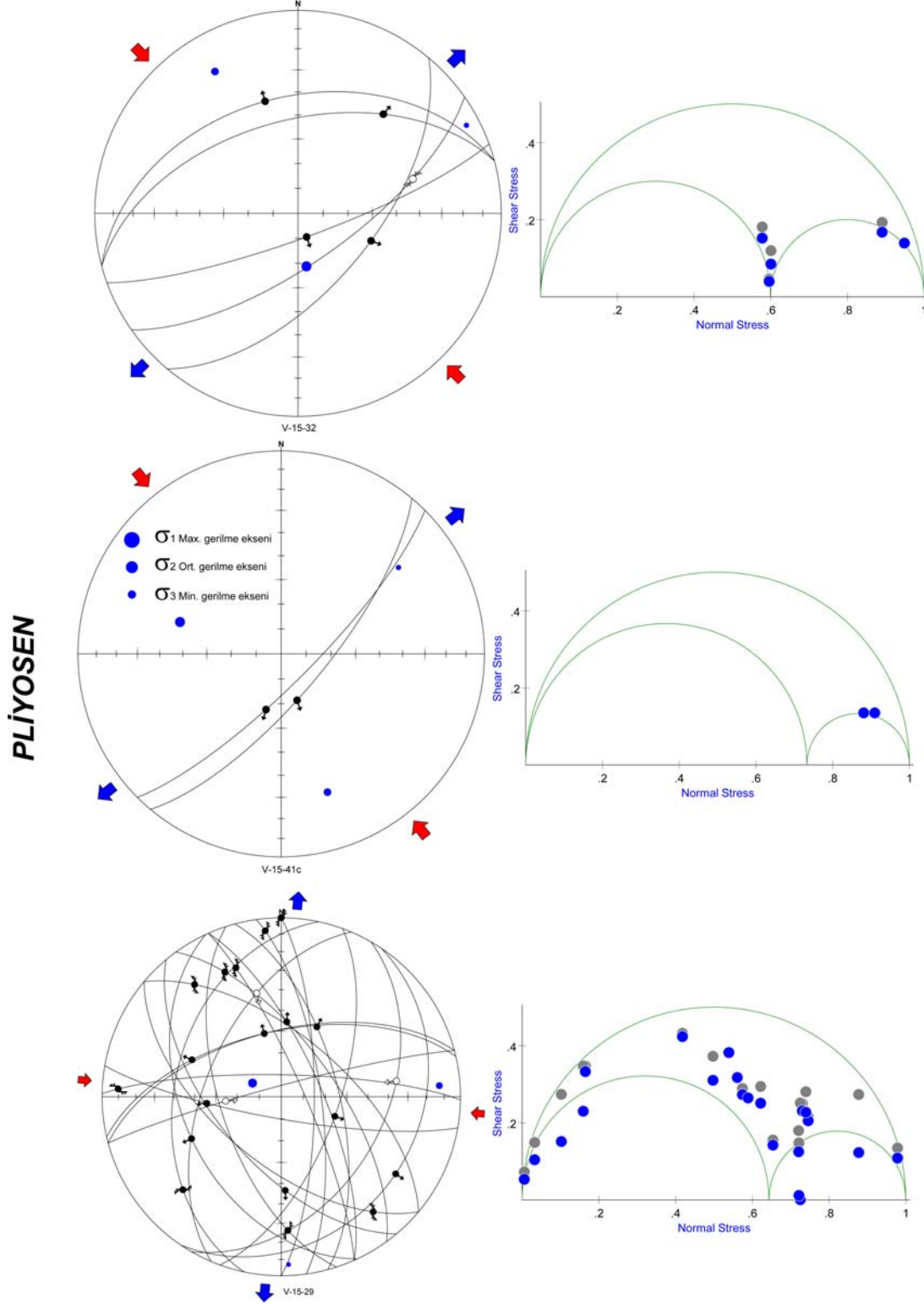
Çolpan fayı olarak adlandırılan, yaklaşık 20 km uzunluğunda, K20°D uzanımlı sol yanal doğrultu atım bileşenli bir bindirme fayıdır. Bu alanda bulunan eski akarsu çökelleri genel olarak 70° ile kuzeye eğimlenmişlerdir. Ermişler köyünün batısında tanımlanan gözlem noktasında akarsu çökelleri K60°D doğrultulu normal fay tarafından kesilmektedir. Çolpan fayı boyunca birçok noktada çökeller içerisinde sürüklenme kıvrımları gözlenmektedir. Bunlardan bir tanesi Çolpan köyünün güneydoğusunda yer alır. Yüksek enerjili bir ortamı karakterize eden akarsu çökellerinin kalınlığı 1m'yi geçmemektedir. K80°B doğrultulu eğim atımlı ters bir fay tarafından kesilen birim üzerinde yaklaşık 2 m'lik düşey bir ötelenme meydana gelmiştir. Tavan blokta meydana gelen sürüklenme kıvrımları net bir şekilde görülmektedir.

Eski akarsu çökelleri (Pliyosen) içerisinde bulunan doğal yarmalarda üç farklı noktadan kinematik veri elde edilmiştir (V15-29-32-41). Tasmalı geçidi üzerinde bulunan doğal yarmada (V15-29) çökeller birden fazla normal fay/oblik fay tarafından kesilmiştir. Analiz edilen veriler D-B yönlü sıkışma, bununla birlikte K-G yönlü açılma bileşeni sunmaktadır (Şekil 65). Ancak, bu lokasyonun hemen kuzeyinde bulunan diğer iki lokasyondan (32, 41) elde edilen verilerin analiz sonuçları KB-GD yönlü sıkışma ve KD-GB açılma bileşeni sunmaktadır (Şekil 65).

Çolpan fayı boyunca en önemli gözlem noktalarından biri Ovapınar köyünün güneybatısında yer almaktadır. Ocağın güney yamacında çökeller iki normal fay tarafından kesilmiştir. Yaklaşık K-G doğrultu eğim atımlı normal faylarda ki düşey ötelenme 100-150 cm arasında değişmektedir. İki eğim atımlı normal fay arasında gelişen horst yapısında bulunan kumlu seviyelerdeki katmanlarda çok net izlenen sürüklenme kıvrımları gelişmiştir. Ocağın doğu yamacında ise göl çökelleri ana bir bindirme fayı tarafından kesilmektedir. Çökeller bindirme düzlemine yaklaştıkça kıvrımlanmaktadır. Tabakaların eğim dereceleri düzleme doğru kademeli olarak artmaktadır. Ana fayın doğrultusu D-B olup, ikincil gelişen fayların doğrultuları K30-60°D arasında değişmektedir.

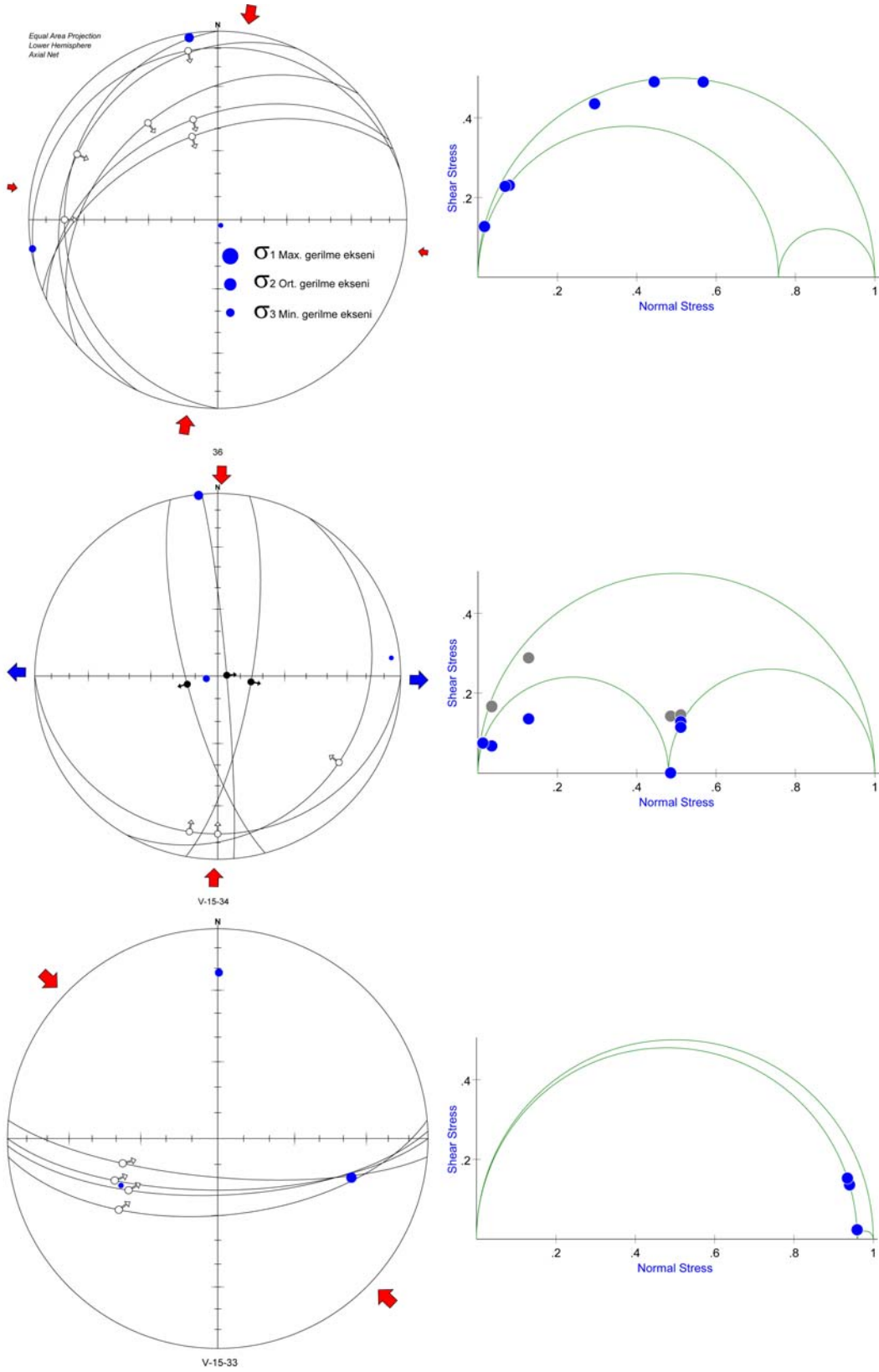
Çolpan Fayı boyunca genç çökelleri kesen faylardan oluşan 3 farklı lokalite de çalışılmıştır. Bu lokaliteler batıdan doğuya (W15-36, W15-33, W15-34) olarak gruplanmıştır. W15-33 veri setine, lokalitede ki tabakalanmanın eğim yönüne göre geometrik düzeltme uygulanmıştır. Analiz edilen veriler KKB-GGD yönlü sıkışma gösteren bindirmelerden oluşmaktadır, bununla birlikte W15-34 lokalitesinde büyük bir bindirmenin üzerinde gelişmiş normal faylar da BKB-DGD yönlü açılma bileşeni sunmaktadır (Şekil 66). Çolpan Fayı, Van Gölü'nü doğu kesiminde güneyden sınırlamaktadır. Fay boyunca yapılan arazi gözlemleri sırasında çok sayıda yükselmiş teras ve Kurtdeğiği fm'da ise şiddetli deformasyon izlenmiştir. Fayın güncel aktivitesinin ürettiği morfolojik çizgiselliğin uzanımı KD-GB yönlüdür (Şekil 66). Bu gerilme

rejimde gelişen makaslama çatlaklarının hareket yönleri değerlendirildiğinde güneye eğimli kuzeye bindiren bir ana fayın üzerinde sol yönlü doğrultu atım bileşeni öngörülebilir



Şekil 65. Çolpan fayı civarından eski akarsu çökellerinde derlenen kinematik verilerinin analizi ve asal gerilme yönleri.

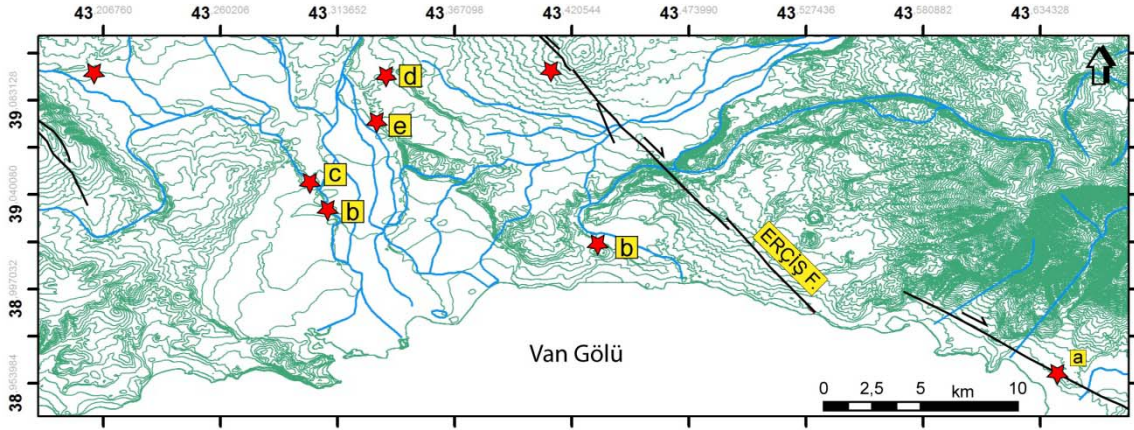
**KUVATERNER**



**Şekil 66.** Çolpan fayı civarından taraça çökellerinden derlenen kinematik verilerinin analizi ve asal gerilme yönleri.

#### 4.4. Erciş fayı

Van Gölü havzasının kuzey bölümünde yapılan arazi çalışmalarında, Kuvaterner çökelleri içerisinde sekiz farklı noktadan kinematik veri derlenmiştir (Şekil 67). Erciş fayının doğu ucunda bulunan gözlem noktasında fay,  $K46^{\circ}B$  doğrultulu normal bileşene sahip sağ yanal doğrultu atımlı bir faydır. Çökelleri yaklaşık 200 cm düşey ötelenmeye uğramıştır. Bu gözlem noktasının doğusunda farklı bir noktada aynı doğrultulu ( $K50B$ ) başka bir fay birim içerisinde yaklaşık 1 m'lik düşey ötelenme yaratmıştır. Fayın batısında bulunan lokasyonda eski göl taraça seviyesi yaklaşık 1710 m seviyelerinde bulunmakta ve normal faylar tarafından kesilerek, düşey yönde ötelenmişlerdir. Ana fay  $K10^{\circ}D$  uzanımlı olup, çökelleri yaklaşık 100 cm düşey yönde ötelenmektedir. Aynı zamanda depremlerin çökellerde meydana getirdiği ifade edilen deformasyon yapılarından simit yapıları bulunmakta ve bu yapılar normal faylar tarafından kesilmektedir.



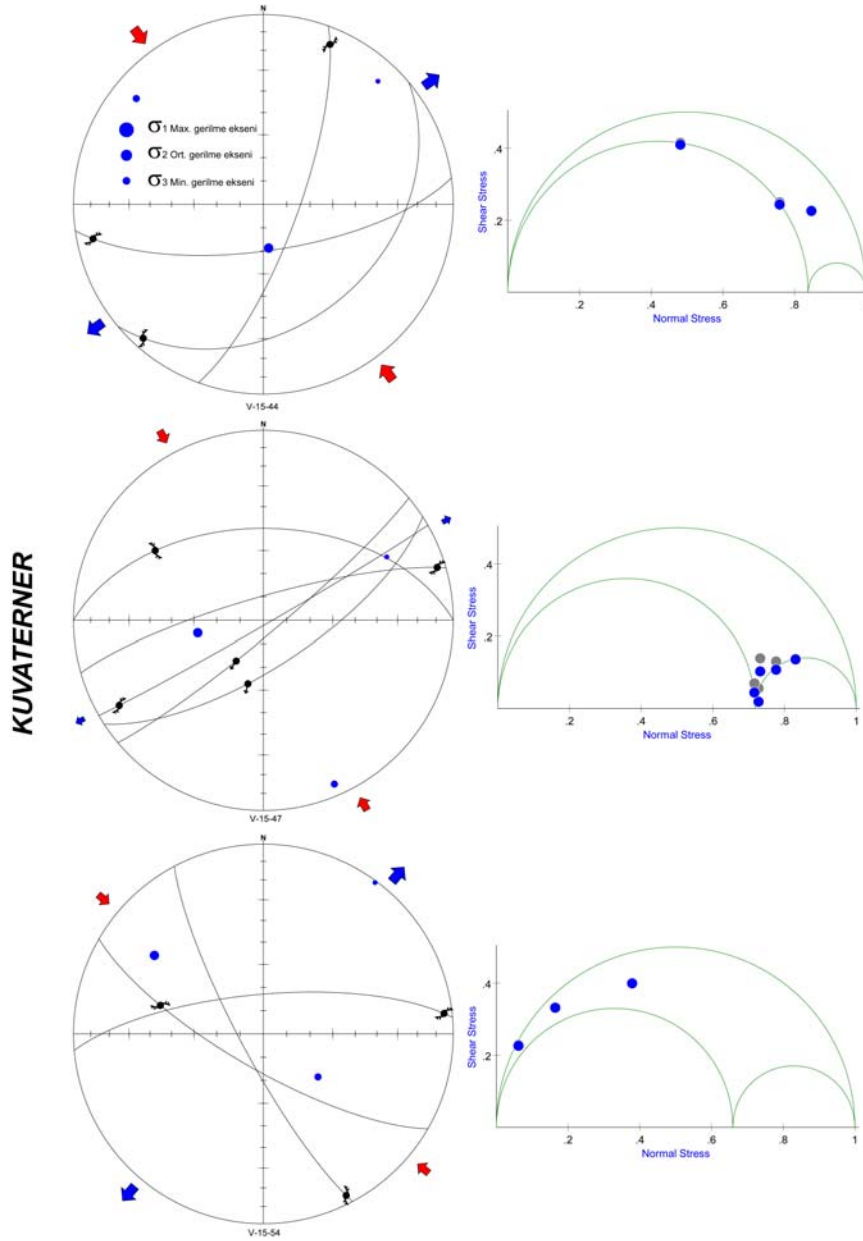
Şekil 67. Erciş bölgesinde tanımlanan gözlem noktaları.

Zilan deresi, Van Gölü havzasının kuzeyinde yer almaktadır. Derenin batı yamacı boyunca Van Gölü'ne ait eski taraça çökelleri yüzeylemektedir. Çökel genel olarak kumlu-killi-siltli seviyelerden oluşmaktadır. Bu seviyeler normal faylar tarafından kesilip, ötelenmektedir. Genel doğrultuları farklı olan bu faylar boyunca ötelenme miktarları en az 5 cm en fazla ise 50 cm arasındadır. Ayrıca çökeller içerisinde kalınlıkları 20 cm ile 100 cm arasında değişen simit seviyeleri bulunmaktadır. Ancak bu seviyelerde herhangi bir faylanma verisi tespit edilmemiştir. Zilan deresinin kuzeyine doğru gidildiği zaman akarsu ve göl çökellerini kesen iki farklı ana fay bulunmaktadır.

Erciş ilçesinin hemen kuzeyinde bulunan yol yarmasında ana fay  $K85^{\circ}D$  doğrultusunda uzanan sağ yanal doğrultu bileşenine sahip ters bir faydır. Faydaki net atım yaklaşık 100 cm civarındadır. Kuzeye doğru devam edildiğinde eski göl taraça seviyesini kesen  $K5^{\circ}D$  doğrultulu normal faydaki düşey ötelenme miktarı yaklaşık 150 cm civarındadır.



Emre vd. (2012) tarafından KB-GD uzanımlı, sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay olarak haritalanan Erciş Fayı çevresinde 4 farklı kinematik veri içeren genç çökel kesiti bulunmaktadır. Veri setleri tipik bir sağ yönlü makaslama zonuna ait faylanmaları içermektedir ve analizi KB-GD yönlü sıkışma ve KD-GB yönlü açılma vermektedir (Şekil 68). Setlerin harita üzerindeki konumları, Erciş Fayı'nın birçok splay faydan oluşan balık kılıçığı yapısı gösterdiği yönünde yorumlanabilir. Gerilme yönlerindeki açısal farklılıklar fay zonunun her bir yan kolunun geometrisi ile ilişkili olarak açıklanabilir.



Şekil 68. Erciş Fayı boyunca kinematik fay topluluklarının analizi ile edilen asal gerilme yönleri.

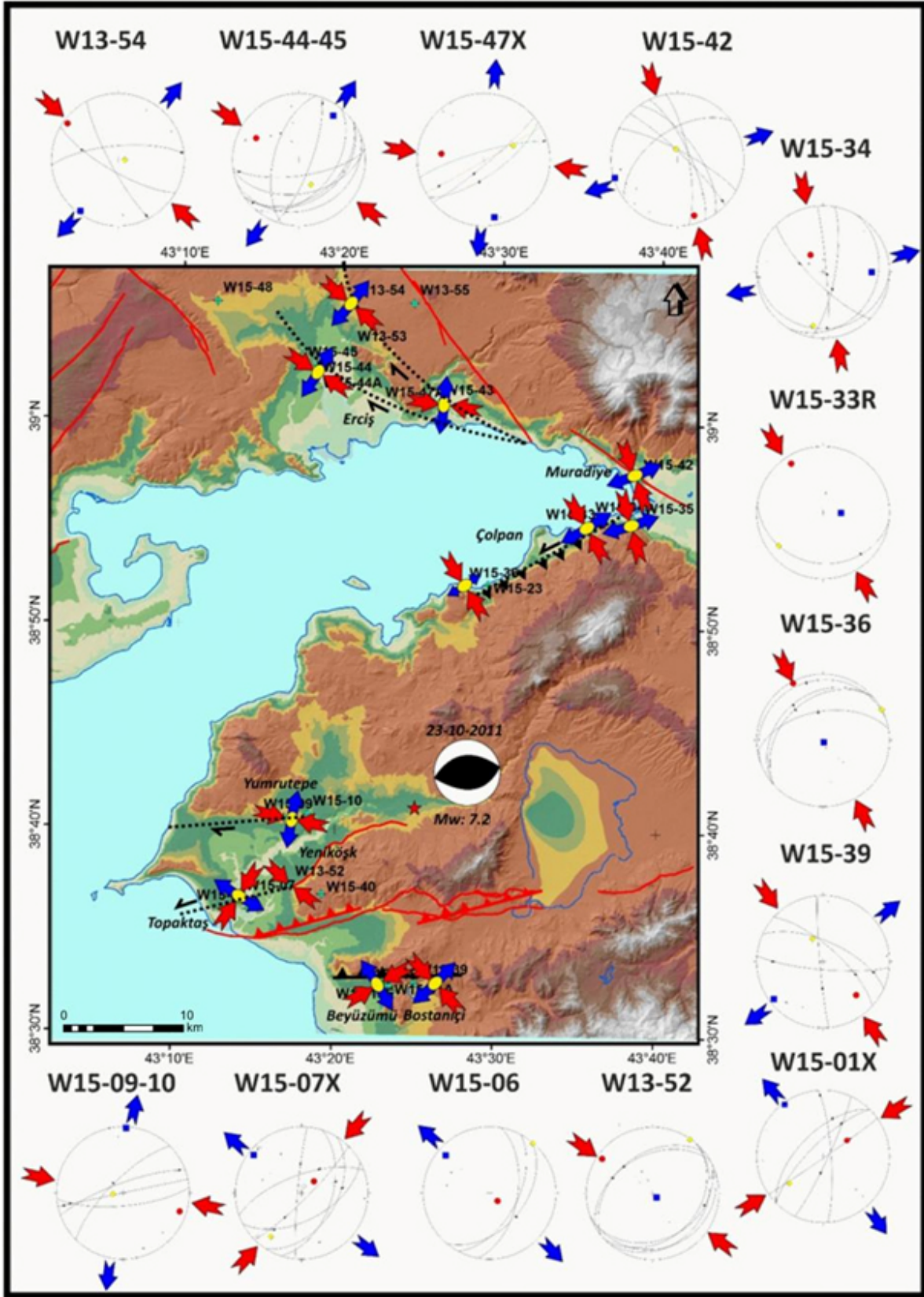
## 5. KİNEMATİK VERİLERİN ZAMANSAL SINIFLAMASI

Van Gölü havzasının doğu ve kuzeyi boyunca sahada ölçülen fay düzlemlerinden hareketle gerçekleştirilen fay topluluklarının kinematik analizi sonucunda Pliyosen-Kuvaterner’de etkin olan gerilme durumları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Fay boyunca yüzlek koşullarının uygun olduğu yerlerde ve özellikle genç birimlerde gözlemlenen fay düzlemlerinden, faya ait parametreler (doğrultusu, eğim miktarı, eğim yönü, sapma açısı, fayın türü) ölçülüp, ardından Stereonet programında değerlendirilmesi ve ilksel gerilme bileşeni analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda; 13 istasyonda, 87 adet fay düzlemi ölçülerek her bir istasyonun analizi gerçekleştirilmiş, birbirine yakın istasyonlarda da veri toplulaştırılması yapılmıştır ([Şekil 69](#)). Genel olarak bu istasyonlarda faylar yatay tabakaları kesmektedir ancak Pliyosen çökellerinden elde edilen veriler tabaka doğrultu ve eğimine göre geometrik düzeltme yapılmıştır.

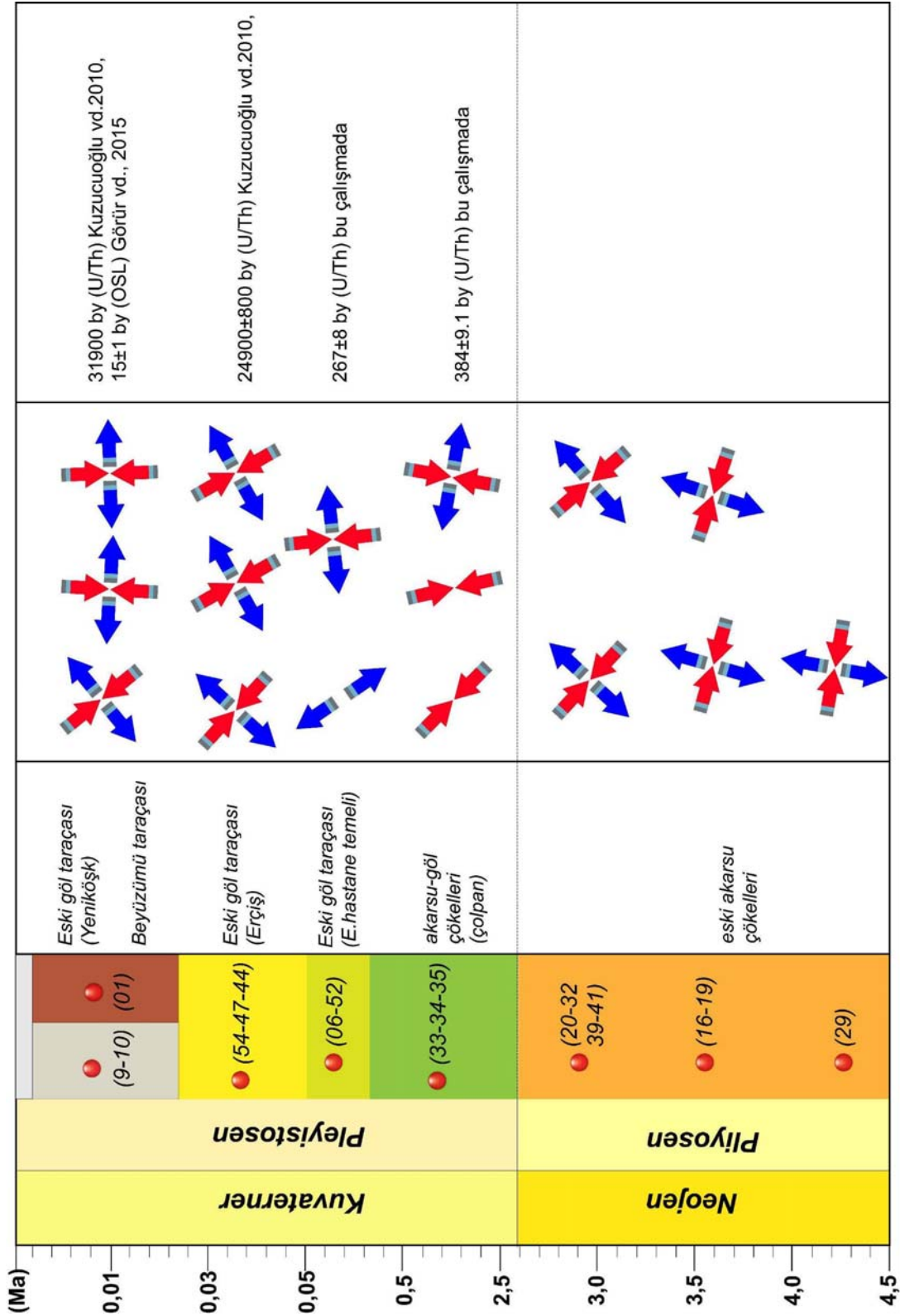
Tek başına değerlendirilmiş olan eski akarsu çökellerinde (Pliyosen) elde edilen kinematik verilere göre en büyük asal gerilme ekseninin ( $\sigma_1$ ) durumu  $\sigma_1=140\pm 15^\circ$ , en küçük asal gerilme ekseninin ( $\sigma_3$ ) durumu  $\sigma_3=240\pm 20^\circ$  olarak hesaplanmıştır. Burada en büyük asal gerilme eksenini ( $\sigma_1$ ) ve en küçük asal gerilme ekseninin ( $\sigma_3$ ) yataya yakın konumda, ortaç gerilme eksenini ise ( $\sigma_2$ ) düşey konumda olduğu doğrultu atımlı faylanmayla karşımıza çıkan bir tektonik rejimdir. Elde edilen veriler sonucunda, Pliyosen dönemdeki sıkışma doğrultusu  $K70-40^\circ B$ ’dir. Buna karşın açılma doğrultusu  $K20-50^\circ D$  doğrultusundadır ([Şekil 70](#)). Aynı zamanda, Van Gölü havzasının da Pliyosen döneminde tektonik rejimin KB-GD doğrultulu sıkışma rejimi altında gelişen ters bileşenli sağ yanal doğrultu atımlı faylanma (transpresyonel) olduğunu göstermektedir.

Orta Pleyistosen dönemine ait akarsu-göl çökellerinden ( $384\pm 9.1$ ) elde edilen kinematik veriler (33-34-35) değerlendirildiğinde en büyük asal gerilme ekseninin ( $\sigma_1$ ) durumu  $\sigma_1=345\pm 10^\circ$ , en küçük asal gerilme ekseninin ( $\sigma_3$ ) durumu  $\sigma_3=255\pm 5^\circ$  olarak hesaplanmıştır. Bu dönem içerisinde bölgede sadece sıkışmalı bir tektonik rejimin olduğu ve sıkışmanın doğrultusu ise K-G ile  $K40^\circ B$ ’dir ([Şekil 70](#)). Geç Pleyistosen döneminde ( $267\pm 8$ ) yer alan kinematik veriler değerlendirildiğinde sıkışma rejiminden çok açılma rejiminin hâkim olduğu görülmektedir.

Günümüzdeki tektonik rejimin KKB-GGD doğrultulu sıkışma ve DKD-BGB doğrultulu açılma rejimi altında gelişen (ters bileşenli doğrultu atımlı rejim) doğrultu atımlı faylanma rejimi olduğu görülmektedir ([Şekil 70](#)).



Şekil 69. Gözlem noktalarından elde edilen verilerin stereonet çizimleri ve ilksel P-T eksenleri kinematik analiz sonuçları.



Şekil 70. Fay topluluklarının kinematik analizi ile edilen asal gerilme yönlerinin zamansal dağılımı.

Van Gölü havzasında tektonik rejimin transpressiyonel karakterde başlayıp, lokal olarak transtansiyonel bir rejim görülse de baskın olarak transpressiyonel rejimin günümüzde etkin



olduğu görölmektedir. Van Gölü havzasında gelişen faylanmaların bu tektonik rejimle uyumlu olarak ve bu sistem içerisinde geliştiği düşünölmektedir.

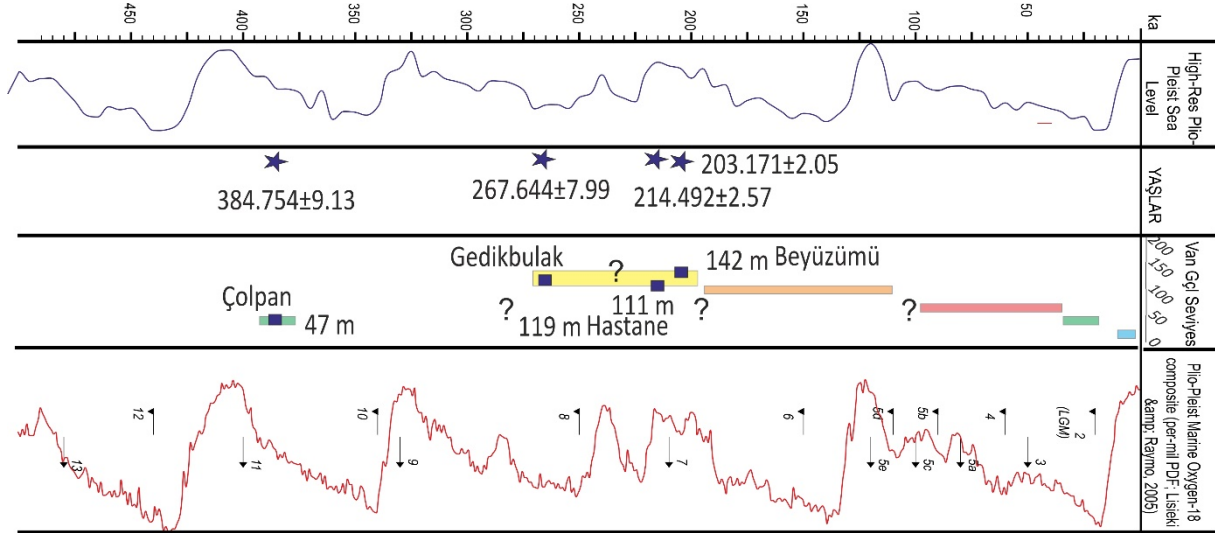
## 6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu proje çalışması ile elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

(1) Bu proje, Van Gölü havzasını kapsayan Pliyosen'den günümüze kadar etkin gerilme rejiminin zaman içerisindeki değişimini gözlemlemek amacıyla yapılmış bir projedir. Bu havza içerisinde yapılan arazi çalışmalarına bağlı olarak, Beyüzümü, Van, Yeniköşk, Çolpan ve Erciş fayları Holosen aktiviteleri ortaya konulmuştur. Çolpan fayı ilk defa bu proje ile tanımlanmıştır. Van ili için en riskli aktif faylardan birinin de Beyüzümü fayı olduğu belirlenmiştir.

(2) Eski akarsu çökelleri bölgedeki yoğun deformasyondan etkilenmiştir. Van gölü havzasının doğu, kuzeydoğu ve kuzeyinden bu birime ait yapılan tabaka ölçümleri Stereonett programına girilmiş, tabakaların kıvrımlandığı ve kıvrım eksenlerinin KD-GB yönünde uzandığı görülmektedir. Ermişler Köyü çevresinden elde edilen K/Ar yaşları, Van Gölü 'nün doğu kesiminde yaygın olarak yüzlek veren, aşırı deformasyona uğramış, kırıntılı bir birimi eski karasal çökelleri sınırlandıran bazalt akıntılarında derlenmiştir. Karasal çökeller 70° ile güneye eğimlenmişken, Arapkale bazaltı ise 30° güneye eğimlenmiştir. Oluşumunda yatay olan bu akıntılara ait tabakalar, alttaki birimi de etkileyen tektonik tiltenmeye maruz kaldığı açıktır. Bu dokümanından alınan W15-27 kodlu örneğin yaşı (7.1±0.2 My) temel olarak alındığı takdirde Van Gölü için Pliyosen ve Kuvaterner olmak üzere 2 farklı zamansal tektonik faz tanımlamamızı önermektedir.

(3) Bu çalışma kapsamında elde edilen tarihler ile daha önceki çalışmalarda radyokarbon yöntemi ile tarihlendirilememiş (Kuzucuoğlu vd., 2010; Görür vd., 2015) eski taraçaların yaşları üzerine yeni veriler elde edilmiştir. Bu yaşlarla birlikte faylanmış Van Gölü taraçalarının yaşı üzerine temel bir sınıflandırma yapılması mümkün olmuştur. Buna ek olarak, benzer yaş veren ancak birbirinden 30 m kot farkı bulunan Beyüzümü ve Hastane lokaliteleri dikkat çekmektedir. Bu durumun önceki çalışmalarda da ifade edilen Beyüzümü fayı boyunca yerel tektonik yükselme ile ilişkilendirmek mümkündür. Beyüzümü fayı boyunca, faya yakın kesimlerde taraça tabakaları güneye 75° eğimlenmiş durumdadır. Çolpan lokalitesinde de tarihlenen göl taraçaları güneye 45° eğimlenmiş durumdadır. Bu durum birimin depolanma sonrası deformasyonuna ve yükselmesine işaret etmektedir (Şekil 71).



**Şekil 71.** Elde edilen U/Th yaşları ve önceki çalışmalardan derlenen yaşlar ile Van Gölü'nün Orta-Geç Pleyistosen içerisinde seviyesini gösteren taraçaların korelasyonu.

(4) Tek başına değerlendirilmiş olan eski akarsu çökellerinde (Pliyosen) elde edilen kinematik verilere göre en büyük asal gerilme ekseninin ( $\sigma_1$ ) ve en küçük asal gerilme ekseninin ( $\sigma_3$ ) yataya yakın konumda, ortaç gerilme eksenini ise ( $\sigma_2$ ) düşey konumda olduğu doğrultu atımlı faylanmayla karşımıza çıkan bir tektonik rejimdir. Elde edilen veriler sonucunda, Pliyosen dönemdeki sıkışma doğrultusu K70-40°B'dir. Buna karşın açılma doğrultusu K20-50°D doğrultusundadır. Aynı zamanda, Van Gölü havzasının da Pliyosen döneminde tektonik dönemin KB-GD doğrultulu sıkışma rejimi altında gelişen ters bileşenli sağ yanal doğrultu atımlı faylanma (transpresyonel) olduğunu göstermektedir.

(5) Orta Pleyistosen dönemine ait akarsu-göl çökellerinden (384±9.1) elde edilen kinematik veriler (33-34-35) değerlendirildiğinde en büyük asal gerilme ekseninin ( $\sigma_1$ ) durumu  $\sigma_1=345\pm 10^\circ$ , en küçük asal gerilme ekseninin ( $\sigma_3$ ) durumu  $\sigma_3=255\pm 5^\circ$  olarak hesaplanmıştır. Bu dönem içerisinde bölgede sadece sıkışmalı bir tektonik rejimin olduğu ve sıkışmanın doğrultusu ise K-G ile K40°B'dir. Geç Pleyistosen döneminde (267±8) yer alan kinematik veriler değerlendirildiğinde sıkışma rejiminden çok açılma rejiminin hâkim olduğu görülmektedir.

(6) Günümüzdeki tektonik rejimin KKB-GGD doğrultulu sıkışma ve DKD-BGB doğrultulu açılma rejimi altında gelişen (ters bileşenli doğrultu atımlı rejim) doğrultu atımlı faylanma rejimi olduğu görülmektedir. Van Gölü havzasında tektonik rejimin transpresiyonel karakterde başlayıp, lokal olarak transtansiyonel bir rejim görülsede baskın olarak transpresiyonel rejimin günümüzde etkin olduğu görülmektedir. Van Gölü havzasında gelişen faylanmaların bu tektonik rejimle uyumlu olarak ve bu sistem içerisinde geliştiği düşünülmektedir.



## 7. KAYNAKLAR

- Acarlar, M., Bilgin, A., Elibol, E., Erkal, T., Gedik, İ., Güner, E., Hakyemez, Y., Şen, A., Oğuz, M., Umut, M. 1991. Van gölü doğu ve kuzeyinin jeolojisi, MTA Rapor No: 9469, Ankara, 94s (yayınlanmamış).
- Akyüz, S., Zabcı, C., Sancar, T., 2011. 23 Ekim 2011 Van Depremi hakkında ön Rapor. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Altıner, Y., Söhne, W., Güney, C., Perlt, J., Wang, R. and Muzli M. 2013. "A geodetic study of the 23 October 2011 Van, Turkey earthquake". *Tectonophysics*, 588, 118-134.
- Ambraseys, N., 2009. *Earthquakes in the Mediterranean and Middle East* (8. basım). New York: Cambridge University of Press.
- Ambraseys, N.N. 2001. "Reassessment of earthquakes 1900-1999 in the Eastern Mediterranean and the Middle East", *Geophysical Journal International*, 145 (2), 471-487.
- Ambraseys, N.N., Jackson, J.A. 1998. "Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region", *Geophysical Journal International*, 133(2), 390-406.
- Ambraseys, N.N. Finkel, C., 1995. *The seismicity of Turkey and adjacent areas: A historical review, 1500-1800*. M.S. (1. Basım). İstanbul: Eren Yayıncılık.
- Ambraseys, N.N., Finkel, C.F., 2006, *Türkiye’de ve Komşu Bölgelerde Sismik Etkinlikler Bir Tarihsel İnceleme (1500-1800)*, TUBİTAK Akademik Dizi, 252s.
- Angelier, J. 1984. "Tectonic analysis of fault slip data sets", *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978–2012), 89(B7), 5835-5848.
- Angelier, J. 1990. "Inversion of field data in fault tectonics to obtain the regional stress—III. A new rapid direct inversion method by analytical means", *Geophysical Journal International*, 103(2), 363-376.
- Angelier, J. 1994. *Fault slip analysis and paleostress reconstruction*. In: Hancock, P.L. (Ed.), *Continental Deformation*. Oxford: Pergamon Press.
- Angelier, J., Tarantola, A., Valette, B., Manoussis, S., 1982. "Inversion of field data in fault tectonics to obtain the regional stress-I. Single phase fault populations: a new method of computing the stress tensor", *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 69(3), 607-621.
- Arpat, E., Şaroğlu, F., İz, H. 1977. "1976 Çaldıran depremi", *Yeryuvarı ve İnsan*, 2, 29-41.



- Ateş, Ş., Mutlu, G., Özerk, O.Ç., Çiçek, İ., Karakaya Gülmez, F., Bulut Üstün, A., Karabıyıkoglu, M., Osmañelebiođlu, R., Özata, A. ve Aksoy, A. 2007. Van İlinin Yerbilim Verileri, MTA, Jeoloji Etüdüleri Dairesi, Rapor no: 10961. 152s (yayınlanmamış).
- Bayraktar, A., Altunişik, A.C ve Pehlivan M. 2013. "Performance and damages of reinforced concrete buildings during the October 23 and November 9, 2011 Van, Turkey, earthquakes", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 53, 49-72.
- Blumenthal, M.M., Van der Kaaden, G., Vlodavetz, V.I. 1964. "Catalogue of the active volcanoes of the World including solfatara fields. Part XVII Turkey and the Caucasus", *International Association of Volcanology*, 17, 1-23.
- Bott, M.H.P. 1959. "The mechanics of oblique slip faulting", *Geological Magazine*, 96(02), 109-117.
- Bozkurt, E. 2001. "Neotectonics of Turkey-a synthesis", *Geodinamica Acta*, 14(1-3), 3-30.
- Carey-Gailhardis, E. 1979. "Recherche des directions principales de contraintes associées au jeu d'une population de failles", *Revue de Géologie dynamique et de Géographie physique*, 21, 57-66.
- Cisternas, A., Philip, H., Bousquet, J.C., Cara, M., Deschamps, A., Dorbath, L., Dorbath, C., Haessler, H., Jimenez, E., Nercessian, A., Rivera, L., Romanowicz, B., Gvishiani, A., Shebalin, N.V., Aptekman, I., Arefiev, S., Borisov, B.A., Gorshkov, A., Graizer, V., Lander, A., Pletnev, K., Rogozhin, A.I., Tatevossian, R., 1989. "The Spitak (Armenia) earthquake of 7 December 1988: Field observations, seismology and tectonics", *Nature*, 339(6227), 675-679.
- Copley, A., Jackson, J. 2006. "Active tectonics of the Turkish-Iranian Plateau", *Tectonics*, 25, 1-19.
- Çukur, D., Krastel, S., Schmincke, H., Sumita, M., Çağatay, N., Meydan, A.F., Damcı, E., Stockhecke, M. 2014. "Seismic stratigraphy of Lake Van, eastern Turkey", *Quaternary Science Reviews*, 104, 63-84.
- Degens, E., Wong, H., Kempe, S., Kurtman, F. 1984. "A geological study of Lake Van, Eastern Turkey", *Geologische Rundschau*, 73(2), 701-734.
- Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Saroglu, F., Şengor, A.M.C. 1986. "Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia - a young collision zone (Turkey)", *Geological Society, London*, 19, 1-36.
- Dhont, D., Chorowicz, J. 2006. "Review of the neotectonics of the Eastern Turkish-Armenian Plateau by geomorphic analysis of digital elevation model imagery", *International Journal of Earth Sciences*, 95(1), 34-49.

- 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 and Planetary Science Letters*, 307, 27-34.
- Doğan. B., Karakaş A. 2013. "Geometry of co-seismic surface ruptures and tectonic meaning of the 23 October 2011 M w 7.1 Van earthquake (East Anatolian Region, Turkey)", *Journal of Structural Geology*, 46, 99-114.
- Dresen, G. 1991. "Stress distribution and the orientation of Riedel shears", *Tectonophysics*, 188(3), 239-247.
- Elliott, J.R., Copley, C., Holley, R., Scharer, K., Parsons, B. 2013. "The 2011 Mw 7.1 Van (Eastern Turkey) earthquake. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*", 118, 1619-1637.
- Emre, O., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., 2011. 23 Ekim 2011 Van Depremi Saha Gözlemleri ve Kaynak Faya İlişkin Ön Değerlendirmeler, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Olgun, Ş., Elmacı, H., 2013a. Türkiye Diri fay haritası serisi, Van (NJ 38-5) paftası, Seri no:52, MTA, Ankara.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F., 2013b. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara.
- EMSC, 2011. Avrupa Ortadoğu Sismoloji merkezi.  
<http://www.emsc-csem.org/#2>
- Son erişim tarihi: 01.04.2013
- Ergin, K., Güçlü, U., Uz, Z. 1967. Türkiye ve civarının deprem kataloğu (MS. 11-1964). İstanbul, İTÜ, Maden Fakültesi, Arz Fiziği Enstitüsü yayınları.
- Erturaç, M.K. 2009. Amasya ve Çevresinin Morfotektonik Evrimi, Doktora Tezi, İTÜ, Avrasya Enstitüsü, İstanbul (yayınlanmamış).
- Eyidoğan, H., Güçlü, U., Utku, Z., Değirmenci, E. 1991. Türkiye büyük depremleri makro-sismik rehberi (1900-1988). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 199 s.
- Görgün, E. 2013. "The 2011 October 23 M-W 7.2 Van-Ercis, Turkey, Earthquake and Its Aftershocks", *Geophysical Journal International*, 1052-1067.
- Görür, N., Çağatay, N.M., Zabcı, C., Sakiç, M., Akkök, R., Şile, H., Örcen, S. 2015. "The Late Quaternary Tectono-Stratigraphic Evolution of The Lake Van, Turkey", *Bulletin Of The Mineral Research and Exploration*, 151, 1-46.

- Horasan, G., Boztepe-Güney, A. 2007. "Observation and analysis of low frequency crustal earthquakes in Lake Van and its vicinity, eastern Turkey", *Journal of Seismology*, 11, 1-13.
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Radicati di Brozolo, F., 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(2), 103-112.
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Serri, G., Villari, L. 1980. "Geology of the volcanic area north of Lake Van (Turkey)", *Geologische Rundschau*, 69(1), 292-323.
- Karakhonian, 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.
- Kempe, S., Landmann, G., Müller, G. 2002. "A floating varve chronology from the last glacial maximum terrace of Lake Van/Turkey", *Research in deserts and mountains of Africa and Central Asia*, 126, 97–114.
- Koçyiğit, A., Ozturk, A., Inan, S., Gursoy, H. 1985. "Karasu Havzasının (Erzurum) tektonomorfolojisi ve mekanik yorumu", *Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yerbilimleri Dergisi, Seri A (2)*, 3–15.
- Koçyiğit, A. 1985a. "Karayazi Fayı", *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 28, 67-72.
- Koçyiğit, A. 1985b. "Muratbağı-Balabantaş (Horasan) arasında Çobandede Fay kusaginin jeotektonik özellikleri ve Horasan-Narman depremi yüzey kırıkları", *Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yerbilimleri Dergisi Seri A (2)*: 17-33.
- Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S., Kuloshvili, S. 2001. "Neotectonic of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: Implication for transition from thrusting to strike-slip faulting", *Geodinamica Acta*, 14(1-3), 177-195.
- 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.
- KOERI, 2011-2012. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü. "Son depremler".  
<http://www.koeri.boun.edu.tr/scripts//lst5.asp>  
Son erişim tarihi: 25.03.2014

- Kuzucuoğlu, C., Christol, A., Mouralis, D., Doğu, A.F., Akköprü, E., Fort, M., Brunstein, D., Zorer, H., Fontugne, M., Karabıyıköğlu, M. 2010. "Formation of the upper pleistocene terraces of Lake Van (Turkey)", *Journal of Quaternary Science*, 25(7), 1124-1137.
- Lahn, E. 1946. "Van Mintikası yer sarsıntıları hakkında not (Temmuz-Aralık 1945)", *MTA Mecmuası*, 1/35, 126-132.
- Lebedev, V., Sharkov, E., Keskin, M., Oyan, V. 2010. "Geochronology of Late Cenozoic volcanism in the area of Van Lake, Turkey: an example of development dynamics for magmatic processes", *Doklady Earth Sciences*, 1031-1037.
- Litt T, Krastel S, Sturm M, Kipfer R, Örcen S, Heumann G, Franz SO, Ülgen UB, Niessen F (2009) 'PALEOVAN', international continental scientific drilling program (ICDP): site survey results and perspectives. *Quat Sci Rev* 28:1555–1567.
- Mackenzie, D., Elliott, J.R., Altunel, E., Walker, R.T., Kurban, Y.C., Schwenninger J.-L., Parsins, B., 2016. "Seismotectonics and rupture process of the MW 7.1 2011 Van reverse-faulting earthquake, Eastern Turkey, and implications for hazard in regions of distributed shortening", *Geophysical Journal International Advance Access*, 1-56.
- Okay, A.I., Zattin, M., Cavazza, W. 2010. "Apatite fission-track data for the Miocene Arabia-Eurasia collision", *Geology*, 38, 35-38.
- Örgülü, G., Aktar, M., Turkelli, N., Sandvol, E., Barazangi, M. 2003. "Contribution to the seismotectonics of eastern Turkey from moderate and small size events", *Geophysical Research Letters*, 30, 8040.
- Özalp, S., Aydemir, B.S., Olgun, Ş., Şimşek, B., Elmacı, H., Evren, E., Emre, Ö., Aydın, M.B., Kurtuluş, O., Öcal, F., Can, A.Z., Yanmaz, M.N., Apa, R., Duman, T.Y. 2016. "Tectonic Deformations In The Quaternary Deposits Of The Lake Van (Edremit Bay), Eastern Anatolia, Turkey", *Bulletin Of The Mineral Research and Exploration*, 153.
- Özkaymak, Ç., Sözbılır, H., Bozkurt, E., Dırık, 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), 175-199.
- Pınar, N., Lahn, E., 1952. *Türkiye Depremleri İzahlı Kataloğu*. Bayındırlık Bakanlığı, Yapı ve İmar İşleri Reisliği, No. 6, Ankara.
- Rebai, S., Philip, H., Dorbath, L., Borissoff, B., Haessler, H. and Cisternas, A., 1993. "Active tectonics in the lesser Caucasus: coexistence of compressive and extensional structures", *Tectonics*, 12(5), 1089-1114.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K.,

- ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrotsa, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., Karam, G. 2006. "GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions", *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 111.
- REDPUMA, 2003. İsviçre Sismoloji Merkezi web sayfası, [http://seismo.ethz.ch/moment\\_tensor](http://seismo.ethz.ch/moment_tensor).
- Sağlam, A., 2009. Mahmutiye-Çifteler-Emirdağ (Eskişehir GD'su) Havzasının Neotektoniği, Doktora tezi, Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara (yayınlanmamış).
- Sağlam-Selçuk, A., Erturaç, M.K., Nomade S. 2016. "Geology of the Caldiran Fault, Eastern Turkey: Age, slip rate and implications on the characteristic slip behaviour", *Tectonophysics*, 680,155-173.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Koçak, D., Altınok, Y. 1981. Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu (MÖ 2100-MS 1900). TÜBİTAK Projesi (TBAG), Ankara:.
- Stockhecke, M., Kwiecien, O., Vigliotti, L., Anselmetti, F.S. Beer, J., Çağatay, M.N., Channell, J.E.T., Kipfer, R., Lachner, J., Litt, T., Pickarski, N., Sturm, M. 2014a. "Chronostratigraphy of the 600.000 year old continental record of Lake Van (Turkey)", *Quaternary Science Reviews*, 104, 8-17.
- Stockhecke, M., Sturm M., Brunner, I., Schmincke, H.U., Sumita, M., Kwiecien, O., Çukur, D., Anselmetti, F.S. 2014b. "Sedimentary evolution and environmental history of Lake Van (Turkey) over the past 600.000 years", *Sedimentology*, 61(6), 1830-1831.
- Sunal, G. and Tüysüz, O. 2002. "Palaeostress analysis of Tertiary post-collisional structures in the Western Pontides, Northern Turkey", *Geological Magazine*, 139 (3), 343-359.
- Şaroğlu, F. 1985. Doğu Anadolu'nun Neotektonik dönemde jeolojik ve yapısal evrimi, Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, (yayınlanmamış).
- Şaroğlu, F., Yılmaz, Y. 1986. "Doğu Anadolu'da neotektonik dönemdeki jeolojik evrim ve havza modelleri", *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 107, 73-94.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Boray, A. 1987. Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri, MTA raporu, Ankara.
- Şaroğlu, F., Yılmaz, G., Erdoğan, R. 1984. "Horasan–Narman depreminin jeolojik özelliği ve Doğu Anadolu'da depreme yönelik çalışmaların gerekliliği", *Kuzeydoğu Anadolu I. Ulusal Deprem Sempozyumu*. Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 349-360.

- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y. 1981. "Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach", *Tectonophysics*, 75(3-4), 181-190,193-199,203-241.
- Şengör, A.M.C., Kidd, W.S.F. 1979. "Post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian plateau and a comparison with Tibet", *Tectonophysics*, 55(3-4), 361-376.
- Şengör, A.M.C., Özeren, M.S., Keskin, M., Sakıncı, M., Özbakır, A.D., Kayan, İ. 2008. "Eastern Turkish high plateau as a small Turkic-type orogen: Implications for post-collisional crust-forming processes in Turkic-type orogens", *Earth-Science Reviews*, 90, 1-48.
- Tan, O., Tapırdamaz, M.C., Yörük, A. 2008. "The earthquake catalogues for Turkey", *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17(2), 405-418.
- Tan, O. 2004. *Kafkasya, Doğu Anadolu ve Kuzeybatı İran Depremlerinin Kaynak Mekanizması Özellikleri ve Yırtılma Süreçleri*, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (yayınlanmamış).
- Tchalenko, J. 1970. "Similarities between shear zones of different magnitudes", *Geological Society of America Bulletin*, 81(6), 1625-1640.
- Toker, M., Şengör, A. M. C. 2011. "Van Gölü havzasının temel yapısal unsurları, tektonik ve sedimanter evrimi, Doğu Türkiye", *İTÜ Dergisi*, 10 (4), 119-130.
- Toksöz, M.N., Guenette, M., Gülen, L., Keough, G., Pulli, J.J., Sav, H., Olguner, A. 1983. "Narman–Horasan depreminin kaynak mekanizması", *Yeryuvarı ve İnsan*, 8, 47-52.
- Toksöz, M.N., Nábělek, J., Arpat, E., 1978. "Source properties of the 1976 earthquake in east Turkey: A comparison of field data and teleseismic results", *Tectonophysics*, 49(3), 199-205.
- TUBITAK, 2011. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi web sayfası <http://www.mam.gov.tr/>.
- USGS, 2011. Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Dairesi web sayfası, <http://www.usgs.gov/>; USGS: United States Geological Survey.
- Wallace, R.E. 1951. "Geometry of shearing stress and relation to faulting", *The Journal of Geology*, 118-130.
- Wong, H., Finckh, P. 1978. "Shallow structures in Lake Van", in the *The Geology Lake Van* edited by E.T. Degens, F. Kurtman, MTA, 20-29.
- Yılmaz, Y., Şaroğlu, F., Güner, Y. 1987. "Initiation of the neomagmatism in East Anatolia", *Tectonophysics*, 134(1-3), 177-199.

**TÜBİTAK  
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU**

|   |   |
|---|---|
| Proje Yürütücüsü:                       | Yrd. Doç. Dr. AZAD SAĞLAM SELÇUK                              |
| Proje No:                               | 114Y274   |
| Proje Başlığı:                          | Van Gölü Havzasının Kinematik Özellikleri                     |
| Proje Türü:                             | 3001 - Başlangıç AR-GE  |
| Proje Süresi:                           | 24  |
| Araştırmacılar:                         | MEHMET KORHAN ERTURAÇ   |
| Danışmanlar:                            | GÜRSEL SUNAL,<br>ZİYADİN ÇAKIR                                |
| Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: | YÜZÜNCÜ YIL Ü. MÜHENDİSLİK MİMARLIK F. JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ B. |
| Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:  | 15/08/2014 - 15/08/2016                                       |
| Onaylanan Bütçe:                        | 81317.0   |
| Harcanan Bütçe:                         | 50214.14  |

TÜBİTAK

|   |  |
|---|--|
| <p>Öz:</p>                                    | <p>Van Gölü, 15.496 km<sup>2</sup> yüz ölçüme sahip kapalı bir havza içerisinde 3573 km<sup>2</sup> alan kaplamaktadır. Tektonik açıdan oldukça aktif olan havza içerisinde tarihsel ve aletsel dönemde farklı büyüklüklerde yıkıcı birçok deprem kaydedilmiştir. Bu depremler arasında (i) 7 Nisan 1646 Hayatsdzar; (ii) 8 Mart 1715 Hoşap ve (iii) 30 Mayıs 1880 Ahlat (Ambraseys ve Finkel, 1995) ile 1976 Çaldıran (Mw 7.3) ile 23 Ekim 2011 Van-Tabanlı Depremleri (Mw 7.2) önemli can ve mal kaybına yol açmıştır.</p> <p>Bu çalışmada, Van Gölü Havzası'nın Pliyosen-Kuvaterner tektonik gelişimini, havzanın çökel ve volkanitleri içerisinde bulunan faylanma verilerinin derlenmesi, kinematik analizi ve zamansal/mekânsal olarak sınıflandırılması amaçlanmıştır. Bu amaç için arazi çalışmaları ve fay kinematik analiz çalışmaları yapılmıştır.</p> <p>Özellikle saha çalışmaları sırasında, Van Gölü Havzasında yer alan aktif faylar boyunca arazi çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda, aktif fayların deforme ettiği jeolojik birimlerden kinematik veriler (doğrultu, eğim, sapma açısı vb.) elde edilmeye çalışılmış ve etkilediği yüzey morfolojisiyle beraber Holosen aktiviteleri ortaya konmuştur. Özellikle Van Gölü Havzasının doğusunda yer alan Beyüzümü ve ilk defa bu çalışma ile tanımlanan Çolpan fayının bölge için önemli risk üretecek aktif faylar olduğu belirlenmiştir.</p> <p>Bu çalışma kapsamında elde edilen tarihler ile daha önceki çalışmalarda radyokarbon/OSL yöntemi ile tarihlendirilememiş (Kuzucuoğlu vd., 2011, Görür vd., 2016) eski taraçaların yaşları üzerine yeni veriler elde edilmiştir. Bu yaşlarla birlikte faylanmış Van Gölü taraçalarının yaşı üzerine temel bir sınıflandırma yapılması mümkün olmuştur. Buna ek olarak, benzer yaş veren ancak birbirinden 30 m kot farkı bulunan Beyüzümü ve Hastane lokaliteleri dikkat çekmektedir. Bu durumun önceki çalışmalarda da ifade edilen Beyüzümü fayı boyunca yerel tektonik yükselme ile ilişkilendirmek mümkündür.</p> <p>Van Gölü Havzasında belirlenen 51 istasyonda fay topluluklarının kinematik analizine yönelik, 200 adet fay düzlemi üzerinde ölçümler yapılmıştır. Değişik yaş ve litolojide yer alan jeolojik birimlerde elde edilen veriler sayesinde zamansal ve mekansal ayırım yapılarak, bölgede meydana gelen asal gerilmede ki değişim net olarak saptanabilmiştir. Elde edilen veriler sonucunda, Pliyosen dönemdeki sıkışma doğrultusu K70-40°B?dır. Buna karşın açılma doğrultusu K20-50°D doğrultusundadır. Aynı zamanda, Van Gölü havzasında Pliyosen döneminde tektonik dönemin KB-GD doğrultulu sıkışma rejimi altında gelişen ters bileşenli sağ yanal doğrultu atımlı faylanma (transpresyonel) olduğunu göstermektedir. Orta Pleyistosen dönemi içerisinde bölgede sadece sıkışmalı bir tektonik rejimin olduğu ve sıkışmanın doğrultusu ise K-G ile K40°B?dır. Geç Pleyistosen döneminde (267±8) yer alan kinematik veriler değerlendirildiğinde sıkışma rejiminden çok açılma rejiminin hâkim olduğu görülmektedir. Günümüzdeki tektonik rejimin BKB-DGD doğrultulu sıkışma ve KKD-GGB doğrultulu açılma rejimi altında gelişen (ters bileşenli doğrultu atımlı rejim) doğrultu atımlı faylanma rejimi olduğu görülmektedir.</p> <p>Van Gölü havzasında tektonik rejimin transpressiyonel karakterde başlayıp, lokal olarak transtansiyonel bir rejim görülsede baskın olarak transpressiyonel rejimin günümüzde etkin olduğu görülmektedir. Van Gölü havzasında gelişen faylanmaların bu tektonik rejimle uyumlu olarak ve bu sistem içerisinde geliştiği düşünülmektedir.</p> |
| <p>Anahtar Kelimeler:</p>                     | <p>Van Gölü Havzası, Kinematik Analiz, Gerilme Durumları, Doğu Anadolu.</p>  |
| <p>Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:</p> | <p>Hayır</p>   |
| <p>Projeden Yapılan Yayınlar:</p>             | <p>1- Geology of the Çaldıran Fault, Eastern Turkey: Age, slip rate and implications on the characteristic slip behaviour (Makale - İndekli Makale),<br/>2- Van Gölü Havzasının Kinematik Gelişimi (Bildiri - Ulusal Bildiri - Sözlü Sunum),</p>   |