

23 Ekim 2011 Tabanlı-Van Depreminin Sismik Jeomorfolojisi ve Doğu Anadolu'daki Aktif Tektonik Yapılarla Olan İlişkisi

Seismic Geomorphology of October 23, 2011 Tabanlı-Van Earthquake and Its Relation to Active Tectonics of East Anatolia

Çağlar ÖZKAYMAK¹, Hasan SÖZBİLİR¹, Erdin BOZKURT², Kadir DİRİK³, Tamer TOPAL², Hüseyin ALAN⁴, Dündar ÇAĞLAN⁴

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Buca, İZMİR

²Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, ANKARA

³Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Beytepe, ANKARA

⁴TMMOB, Jeoloji Mühendisleri Odası, Kocatepe, ANKARA

Geliş (received) : 30 Aralık (December) 2011

Düzeltilme (revised) : 11 Ocak (January) 2012

Kabul (accepted) : 12 Ocak (January) 2012

ÖZ

Bu çalışma, 23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen Tabanlı-Van ($M = 7.2$) depreminin bölgenin aktif tektoniği içerisindeki konumunu açıklamayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda Tabanlı-Van depreminden sonra arazi çalışmaları yapılmış, depremle ilişkili deformasyon yapıları incelenmiş ve arazi gözlemlerinden elde edilen veriler ile Van ili ve çevresiyle ilgili olarak daha önce yapılmış aktif tektonik çalışmaları karşılaştırılarak değerlendirilmeye gidilmiştir. Deprem sırasında veya hemen sonrasında yeryüzünde/yeryüzüne yakın kesimlerde meydana gelen deformasyonlar (sismik jeomorfolojik belirteçler) iki ana sınıfta toplanmıştır: (1) tektonik gerilmelere bağlı sismotektonik yüzey deformasyonları ve (2) sismik sarsılma ve yerçekimiyle ilgili sismogravitasyonel yüzey deformasyonları. Sismotektonik yüzey deformasyonları, Van Gölü ile Erçek Gölü arasında 10 km genişliğindeki kuşak boyunca gözlenir. Bu yapılar, genel uzanımları $K50-70^{\circ}D$ olan senklinal ve antiklinal geometrili çöküntü ve sırtlar şeklindedir ve genellikle Bardakçı ile Topaktaş köyleri arasındaki asfalt yollarda gelişmiştir. Sismogravitasyonel yüzey deformasyonları yanal yayılma, oturma ve kütle hareketleri şeklinde gelişmiştir. Bu yapılar, Van Gölü doğu kenarı boyunca yüzlek veren eski Van Gölü çökelleri ve güncel alüvyonlarda yaygın olarak gelişmiştir. Tabanlı-Van depremi nedeniyle gelişen sismotektonik yüzey deformasyonlarının yanısıra, deformasyon kuşağı içerisinde ters faylanmalar da gözlenmiştir. Bu lokasyonlarda Üst Pliyosen-Pleyistosen birimleri $K50-70^{\circ}D$ doğrultulu ve $45-50^{\circ}$ kuzeybatıya eğimli sol yanal bileşenli ters faylarla kesilip ötelenmektedir. Benzer aktif fay hatları önceki çalışmalarda (Özkaymak, 2003), Van il merkezinin kuzeyinde yer alan Beyüzümü köyü kuzeyinde, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Zeve Kampüsü girişinde ve Aşit köyü güneyinde haritalanmıştır. Birbirinden bağımsız olarak haritalanan bu fay segmentleri birlikte

değerlendirildiğinde, Çitören ile Beyüzümü köyleri arasında, yaklaşık 10 km genişliğinde, ortalama K50-70°D doğrultulu ve 47° kuzeybatıya eğimli, birbirine paralel en az beş fay segmenti içeren aktif bir bindirme zonunun varlığı ortaya çıkar. Söz konusu fayların kinematik verileri 23 Ekim 2011 Tabanlı-Van depremini oluşturan ters fayın odak mekanizma çözümüyle uyumludur. Dolayısıyla, Pleyistosen-Holosen birimlerini kesen fay zonunun, 23 ekim Tabanlı-Van depreminde yeniden aktif hale geçerek yeni fay kolları oluşturduğu anlaşılmaktadır. Deprem sırasında oluşan fay koluna ait sıkışma kökenli yüzey deformasyonlarının belirgin bir yüzey kırığı oluşturacak şekilde gelişmemiş olması, yeni oluşan fayın geometrisi nedeniyle henüz yüzeye ulaşmadığı ve dolayısıyla gömülü fay niteliği taşıdığını göstermektedir. Jeolojik haritalama ve kinematik analiz verilerine göre, KKB-GGD eksenli sıkışma kuvvetleri etkisinde şekil değiştiren bölge; Tabanlı-Van depremini oluşturan DKD-BGB doğrultulu bindirme fay zonunun yanı sıra, KD-GB uzanımlı sol yönlü doğrultu atımlı faylar, KB-GD uzanımlı sağ yönlü doğrultu atımlı faylar ve yaklaşık K-G doğrultulu normal faylarla simgelenen aktif tektonik bir yapıya sahiptir. Van ilinin deprenselliği söz konusu aktif fay mekanizması içinde değerlendirilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Aktif tektonik, Doğu Anadolu, Gömülü bindirme, Sismik jeomorfoloji, Tabanlı-Van depremi.

ABSTRACT

This study aims to explore the origin and location of the October 23, 2011 Tabanlı-Van earthquake within active tectonic framework of Van city and its surroundings. Field-based studies have been done just after the Tabanlı-Van earthquake, and then geometry and type of observed deformational structures were evaluated and integrated with the results of previous active tectonic studies in the region. The observed structures can, based on seismic geomorphological indicators, be grouped into two main categories: (1) seismotectonic landforms related to tectonic stress, and (2) seismogravitational landforms related to seismic shaking and earth's gravity. Seismotectonic landforms are common within a 10-km-long deformation zone located between Van Lake and Erçek Lake. These occurs as N50–70°E trending synclines and anticlines, most commonly in the area between Bardakçı and Topaktaş villages. Seismogravitational landforms are common in water-saturated sediments of Lake Van, particularly along its eastern margin; they are mostly liquefaction-induced features and are expressed in the form of lateral spreading, ground subsidence, and mass movement. Reverse fault planes deforming and displacing Upper Pliocene-Pleistocene sediments form the other group of common structures in the region. They trend in N50–70°E direction and dip at 45-50° to the north; they are oblique structures with sinistral strike-slip components. Similar active faults were mapped by Özkaymak (2003) at three locations to the north of Van city center: north of Beyüzümü village, near the main gate of the Yüzüncü Yıl University Zeve Campus and southern part of the Aşit village. Evaluation of previously mapped fault segments and recent observations in the deformation zone are consistent with an approximately 10 km wide active thrust fault zone that comprises, at least, five N50–70°E striking and north-dipping (ca. 47°) fault segments. Kinematics of these faults is consistent with fault plane solutions of 23 October, 2011 Tabanlı-Van earthquake. We suggest that newly formed and/or reactivated fault segments in this fault zone were the source of the 23 October, 2011 Tabanlı-Van earthquake. The absence of surface rupture(s) is attributed to the geometry of a blind thrust. According to geological mapping and kinematic analyses, the active tectonics of the region

is the manifestation of, in addition to ENE-WSW-striking thrust faulting, NNW-SSE-directed compression as expressed by NE-SW-trending sinistral strike-slip faulting, NW-SE-trending dextral strike-slip faulting and N-S-trending normal faulting.

Key Words: *Active tectonics, East Anatolia, Blind thrust, Seismic geomorphology, Tabanlı-Van earthquake.*

GİRİŞ

23 Ekim 2011 günü saat 13.41’de dış merkezi Van il merkezi ile Van Gölü’nün doğu kıyısı arasında olan (Tabanlı Köyü) 7.2 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Bu depremin artçı sarsıntıları sürerken 09 Kasım 2011 saat 21.23’te dış merkezi Edremit ilçesi olan 5.6 büyüklüğünde bir deprem daha meydana gelmiştir. Her iki deprem sonucunda 644 kişi hayatını kaybetmiş, 17.005 bina yıkılmış-ağır hasar görmüştür (AFAD, 2011). Ulusal-uluslararası sismoloji istasyonlarına göre Tabanlı-Van depremi, 70 km uzunluğundaki K70D/35° KB konumlu ters-bindirme fayı üzerinde yaklaşık 16 km derinlikte 2 metrelik bir yerdeğiştirme nedeniyle oluşan kırılma sonucu gelişmiştir. Bu çalışmada, 2011 Tabanlı-Van depreminden sonra yapılan arazi çalışmaları ışığında, depremde oluşan deformasyon yapıları tanımlanarak sınıflandırılacak ve bu yapıların bölgenin aktif tektoniği içindeki konumu tartışılacaktır.

VAN GÖLÜ VE ÇEVRESİNİN JEOLJİSİ

Van Gölü Havzası’nda Paleozoyik-Güncel zaman aralığında oluşmuş kaya toplulukları ve alüvyonlar yüzlek vermektedir. Genel olarak havzanın güneyinde Bitlis Masifi’ne ait metamorfik kayalar, batısı ve kuzeyinde genç Nemrut ve Süphan volkanlarının ürünleri olan volkanik ve volkanoklastik kayalar, havzanın doğusunda ise Yüksekova Karmaşığı’na ait

volkanik kayalar ve ofiyolit bileşenleri, Tersiyer yaşlı denizel ve karasal kırıntılar ile genç-güncel akarsu ve gölsel kırıntılar ile karbonatlar yüzulemektedir (Şekil 1a). Van Gölü’nü güneyden sınırlayan Bitlis Masifi (Ketin, 1947; Ternek, 1953; Göncüoğlu ve Turhan, 1984; Helvacı ve Griffin, 1984; Yılmaz vd., 1981, 1993, 1998; Ustaömer vd., 2009; Oberhänsli vd., 2010) yaklaşık D-B doğrultulu ana bindirme fayı boyunca gölün doğusunda çok geniş bir alanda yüzeylenen Üst Kretase-Paleosen Yüksekova Karmaşığı’na ait ofiyolitik melanj (Aksoy, 1988; Acarlar vd., 1991; Yılmaz vd., 1993; Parlak vd., 2000, 2001) birimleri tarafından üstlenir. Bölgede yüzeyleyen Paleosen-Orta Miyosen yaşlı denizel kaya birimleri Neotetis okyanusu güney kolunun son ürünlerini oluşturur. Bu kaya toplulukları Geç Miyosen-Holosen yaşlı karasal birimler tarafından açısız diskordansla örtülmektedir.

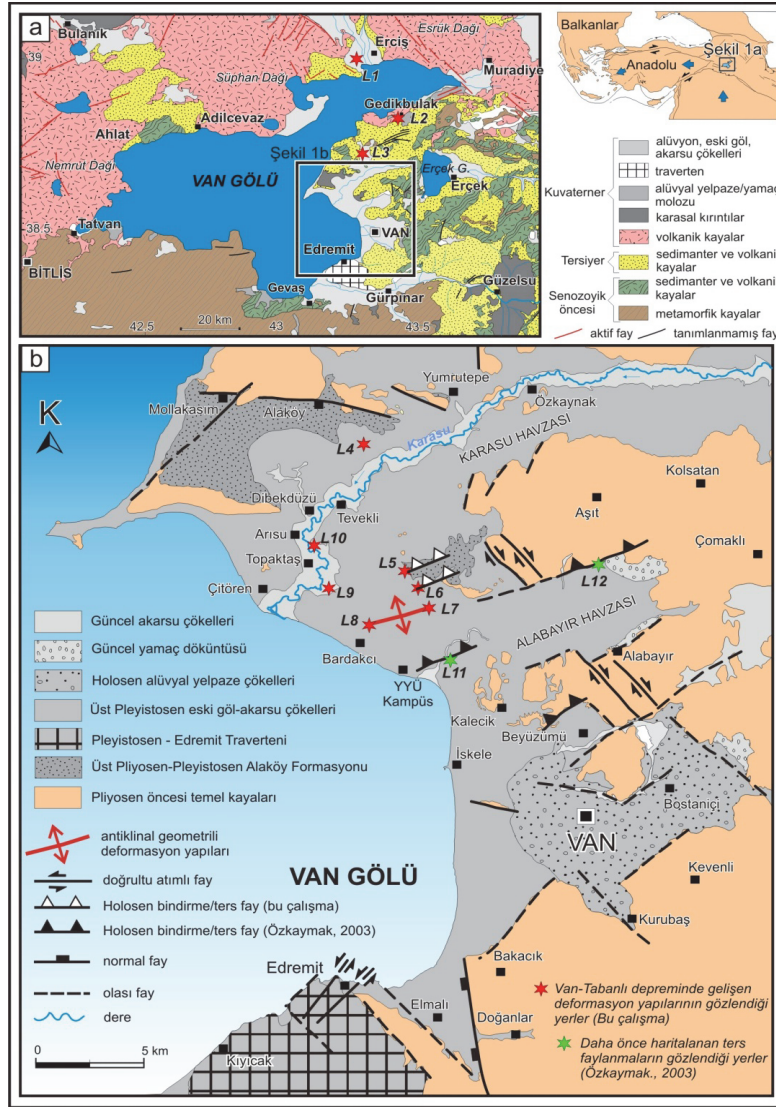
Doğu Anadolu’da kıta-kıta çarpışmasına ilişkin sıkışma tektoniğine bağlı olarak gelişen volkanik aktivite Geç Miyosen döneminde başlamış ve tarihsel süreç içerisinde neredeyse hiç kesilmeden günümüze kadar sürmüştür (Güner, 1984; Yılmaz, 1990; Aydar vd., 2003; Karaoğlu vd., 2005; Ersoy vd., 2006; Özdemir vd., 2006, 2011). Tatvan’dan başlayarak KD’ya doğru Ahlat, Adilcevaz, Erciş ve Muradiye hattı boyunca yer alan Nemrut, Süphan, Tendürek ve Ağrı Dağları gerek kendi içinde gerekse mekansal olarak ardalanan farklı volkanik ve volkanoklastik ürünler vermişlerdir.

Van Gölü'ndeki su seviyesinin son buzul dönemi sonrası (Geç Pleyistosen) yükselimi ve çekilmesi süreci ile bu sürenin hemen öncesinde ve sonrasında oluşan çökeller, Üst Pleyistosen oluşukları kapsamında değerlendirilir. Bunlar eski göl-akarsu çökelleri ve eski yelpaze çökelleridir. Üst Pleyistosen oluşukları daha yaşlı birimleri uyumsuz olarak örter (Özkaymak, 2003). Pomza arakatlı göl çökelleri, marn, kumtaşı ve kiltası ardalanmasından, akarsu çökelleri ise pekişmemiş kumlu-çakıllı ve killi-siltli düzeylerden oluşur. Kumlu-çakıllı düzeyler ve taşkın ovası çökelleri Alabayır (Everek, Bizinok) düzlüğünde ve Van-Edremit arasındaki bölgede gözlenir (Şekil 1b). Bunlar eski kıyı ve eski göl tabanı çökelleri ile bunlara karışan akarsu çökellerini içerir. Van Gölü'ndeki su seviyesi yükseldiğinde gölsel birimler çökelmiş; su seviyesinin düşmesiyle açığa çıkan alanlarda ise akarsu çökelleri göl çökellerinin üzerine birikmişlerdir. Göl seviyesindeki yükselme ve düşmenin tekrarlanmasına bağlı olarak göl ve akarsu çökelleri iç içe gelişmişlerdir (Özkaymak, 2003).

Holosen çökelleri, yamaç döküntüsü, yelpaze çökelleri, göl ve akarsu çökellerini kapsar. Göl-akarsu çökelleri Van Gölü çevresinde düşük eğimli veya yataya yakın konumlu, az pekişmiş veya pekişmemiş çakıl, kum, kil, volkanik tuf ve pomza arakatlı gölsel çökellerdir. Bu çökeller delta, fan delta ve çoğunlukla göl kıyı ortamını temsil eden tortul oluşuklarını kapsar. Bu birimler göl kenarından karaya doğru akarsu ortamı çökelleriyle geçişlidir (Özkaymak, 2003).

BÖLGENİN SİSMOTEKTONİK YAPISI

Doğu Anadolu'da, neotektonik rejim başlangıcının günümüzden yaklaşık 10-14 milyon yıl önceki zaman aralığını kapsayan, Serravaliyen (Miyosen) katının son dönemlerinde olduğu ileri sürülmektedir (Şengör ve Kidd, 1979; Şengör ve Yılmaz, 1983; Dewey vd., 1986; Şaroğlu ve Yılmaz, 1986; Yılmaz vd., 1987; Koçyiğit vd., 2001). Bu araştırmalarda, Doğu Anadolu'daki neotektonik rejimin, yaklaşık 12 milyon yıl önce Avrasya ile Arap plakalarının çarpışması sonucu Neotetis okyanus tabanının tamamen yok olması ile geliştiği anlatılmaktadır. Bilindiği gibi, kıta-kıta çarpışmasının olduğu bu bölgede, jeolojik bir yapı olarak Bitlis Kenet Kuşağı yer alır. Bu kuşak daha doğuda İran sınırlarına kadar uzanır. Bazı araştırmalarda, Geç Miyosen sonu ile Erken Pliyosen sonu arasındaki dönemde, sıkışma-kısalma ile temsil edilen tektonik rejimin, ancak Bitlis Kenet Kuşağı boyunca etkin olabileceğinden söz edilmektedir (Koçyiğit vd., 2001). Erken Pliyosen'in sonlarında sağ yönlü Kuzey Anadolu Fayı, sol yönlü Doğu Anadolu Fayı ve ikisi arasında daha sonra Afrika okyanusal litosferine doğru kaçmaya başlayan Anadolu Plakacığı olmak üzere başlıca üç ana yapının meydana geldiği bilinmektedir (Hempton, 1987; Koçyiğit ve Beyhan, 1998). Koçyiğit vd. (2001) daha yeni olan bu görüş doğrultusunda, sıkışmalı-daralmalı tektonik rejimin yerini, geç Pliyosen'de sıkıştırımlı-genişlemeli türdeki neotektonik rejime bıraktığını belirtmektedir. Çarpışmayı takiben gelişen yeni bir tektonik rejim ile eşzamanlı olarak magmatik aktivite de başlatmıştır. Doğu Anadolu'da neotektonik dönem boyunca, bölgesel bir yayılım gösteren Batı-Doğu doğrultulu kıvrımlar, bindirmeler ve eşlenik doğrultu-atımlı faylar etkin olmaya başlamışlar. Ayrıca, volkanların çıkışlarını denetleyen K-G yönlü açılma çatlakları da bölgede gelişmiştir.



Şekil 1. (a) Van Gölü Havzası ve çevresinin basitleştirilmiş jeoloji haritası (MTA, 2002'den değiştirilmiştir), (b) Van Gölü Havzası doğu kenarının genç tektonik haritası (Özkaymak, 2003; Özkaymak vd. 2004a, b'den sadeleştirilmiştir). Bardakçı köyü çevresindeki Pliyo-Kuvaterner-Holosen sedimanter istiflerinde gözlenen ters faylar ve 23 Ekim 2011 Tabanlı-Van depremi sırasında asfalt yollarda gelişmiş olan antikalinal geometri ile sıkışma yapılarının Van ve Erçek Gölleri arasında yer alan DKD-BGB uzanımlı bir zon boyunca gelişmiş olduğuna dikkat ediniz.

Figure 1. (a) Simplified geological map of the Van Gölü Basin and surrounding area (modified from MTA, 2002), (b) Active tectonic map of the eastern margin of the Van Gölü Basin (simplified from Özkaymak, 2003; Özkaymak et al., 2004a, b). Note that the reverse faults observed in Plio-Quaternary-Holocene sedimentary sequences around Bardakçı Village and compressional anticline structures formed in asphalt roads during the October 23, 2011 Tabanlı-Van earthquake are observed in a ENE-WSW trending zone between Lake Van and Erçek.

Özkaymak, Sözbilir, Bozkurt, Dirik, Topal, Alan ve Çağlan

Çarpışma sonrası kıta-kıta birleşmesini takip eden bu dönemdeki etkin deformasyon, kabuk kısılması ve kalınlaşması dolayısıyla da bölgenin yükselmesine neden olmuştur (Şaroğlu ve Yılmaz, 1986; Yılmaz vd., 1987). Bu nedenle, Doğu Anadolu-İran Platosu günümüzde 2000 metreye kadar yükselmiştir (Koçyiğit vd., 2001). Çarpışmaya bağlı olarak bölgede etkin olan K-G yönlü kısılma ile kalınlaşan kabuk, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu transform faylarının oluşmasına, sonrasında da D-B açılmaları sıkışma tektoniğine uyum sağlamıştır (Yılmaz vd., 1987).

Arap Plakası'nın Avrasya Plakası ile çarpışarak kenet oluşturduğu, Bitlis Bindirme Kuşağı'nın hemen kuzeyinde bulunan Van Gölü Havzası, aynı zamanda Kuzey Anadolu Fayı'nın Doğu Anadolu Fayı ile kesiştiği Karlıova üçlü Eklemleri ve Zagros Fay Zonu arasında yer almaktadır. Karlıova üçlü Eklemleri ile Zagros Fay Zonu arasındaki bu ara bölgenin, davranış şekli açısından Kuzey Anadolu Fayı'nın devamı niteliğindeki Çaldıran Fayı gibi yine sağ yönlü doğrultu atımlı faylardan oluşan (Ketin, 1977) bir geçiş fay zonu içerisinde bulunması, bölgenin jeodinamiğine ayrı bir önem kazandırmaktadır (Köse ve Özkaymak, 2002). Tamamı aktif olan bu yapıların Van Gölü Havzası'nda içinde olduğu bölgede tarihsel dönemden günümüze değin önemli bir sismik hareketliliğe kaynaklık ettiği (Ergin vd., 1967; Soysal vd., 1981; Ambraseys, 1988; Guidoboni vd., 1994; Ambraseys ve Finkel 1995; Tan vd., 2008), alel ve tarihsel dönem deprem kataloglarında ve bazı tarihsel kayıtlarda, bölgedeki şehirlerin büyük depremlerden etkilendikleri ve büyük yıkımların gerçekleştiğine dair bilgiler vardır.

Bölgenin Depremselliği

Tarihsel dönem

Van Gölü Havzası ve yakın yöresinde tarihsel dönemde meydana gelen depremler, Ergin vd. (1967), Soysal vd. (1981), Ambraseys ve Finkel (1995) ve Tan vd. (2008) tarafından hazırlanan tarihsel deprem katalogları taranarak elde edilmiş ve Çizelge 1'de sunulmuştur. Şekil 2 ise, bölgede meydana gelen tarihsel dönem depremlerin kataloglarda verilen dış merkez (episantr) noktalarını göstermektedir. Bu kataloglara göre Van Bölgesi 1101 ile 1900 yılları arasında V-X şiddet aralığında çok sayıda 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 4-5 yıl sürdüğü bildirilen VII-VIII şiddetlerindeki depremlerin dış merkezi Van şehir merkezi olarak verilmektedir (Çizelge 1; Şekil 2, Lokasyon d1). Bu depremler hakkında ayrıntılı bilgiye ulaşmak mümkün olmamıştır. Bununla beraber, Ahlat, Adilcevaz, Tatvan ve Nemrut bölgelerinde meydana gelen depremlerin Van bölgesinde de etkili olduğu kaynaklarda belirtilmektedir (Çizelge 1; Şekil 2, Lokasyon d2, d3, d4, d5). Bu depremlerden 1439 ve 1441 yıllarında meydana gelenler Van Gölü güneybatısında yer alan Nemrut Krateri'nin volkanik aktiviteleriyle ilişkilendirilmektedir. Bu tarihlerde de Nemrut Krateri'nden lav akışının gerçekleştiği bilinmektedir (Oswalt, 1912; Karaoğlu vd., 2005). 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 (Çizelge 1; Şekil 2, Lokasyon d6, d8, d10). 1648 (bazı yayımlarda 1646 olarak verilir; Ambraseys ve Finkel, 1995) yılında

meydana gelen depremin Van'dan Gevaş, Hoşap ve Albag'a kadar uzanan büyük bir alanda köyleri yıktığı söylenmektedir (Ambraseys ve Finkel, 1995). Artçı sarsıntılar üç ay kadar sürdüğü belirtilen bu depremin toprak kaymalarını da

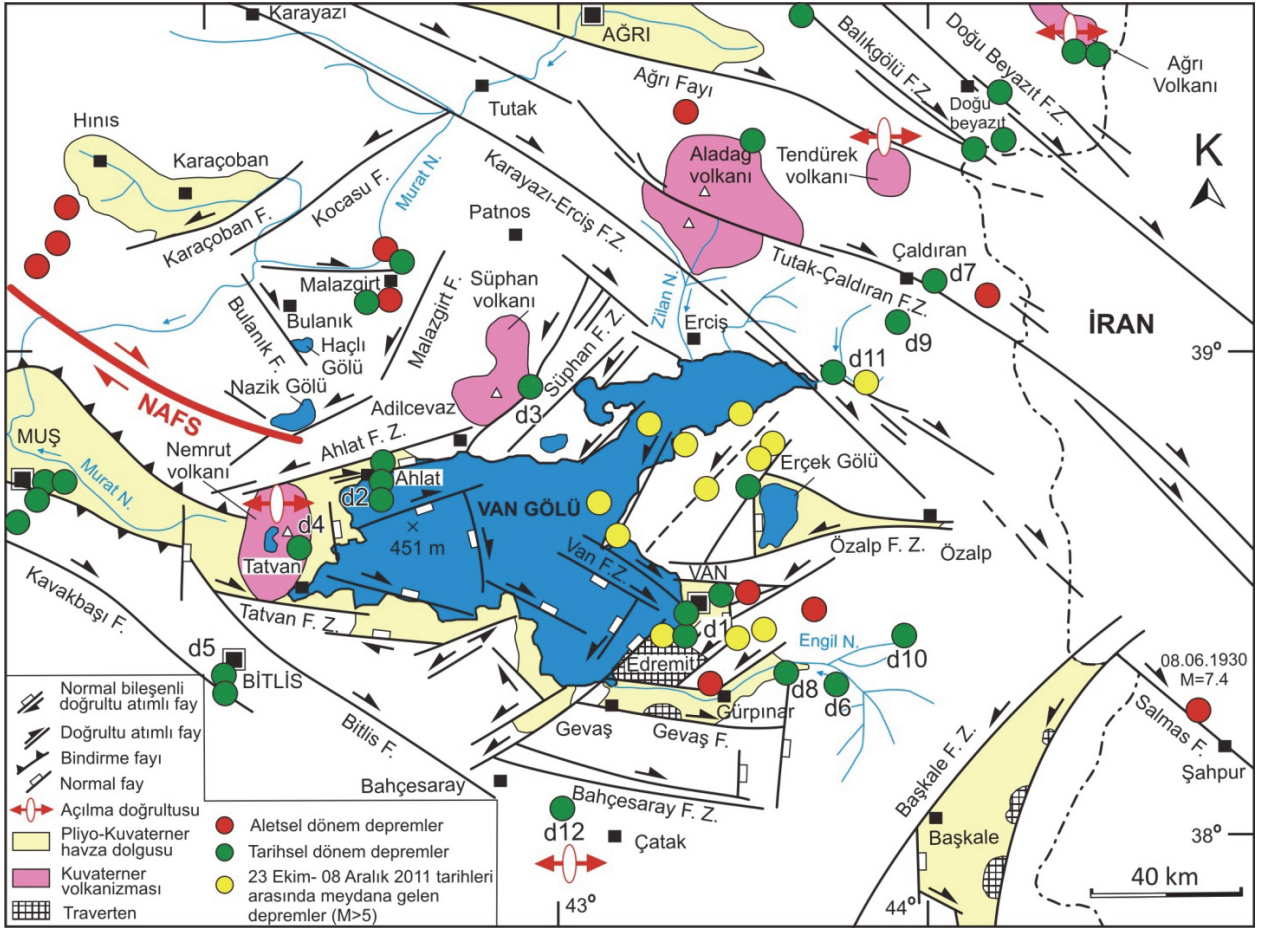
tetiklediği vurgulanmıştır. Van Gölü'nün kuzeydoğusunda ise 1647 ve 1696 yıllarında meydana gelen yıkıcı depremlerin şiddetleri IX olarak verilmektedir (Çizelge 1; Şekil 2, Lokasyon d7 ve d9).

Çizelge1. Van Gölü Havzası'nda kayıt edilen tarihsel dönem deprem listesi. Açıklama bölümünde parantez içerisinde verilen rakamlar aşağıda listelenen kaynakları göstermektedir: (1)– Ergin vd., 1967; (2)– Soysal vd., 1981; (3)– Ambraseys ve Finkel, 1995; (4)– Tan vd., 2008. Kısaltmalar, L– Lokasyon, I– Şiddet, M– Büyüklük, (Tarihsel dönem depremlerin lokasyonları için Şekil 2'ye bakınız).

Table 1. List of recorded historical earthquakes on the Van Gölü Basin. The numbers given in brackets in explanation section refer to references listed below: (1)–Ergin et al., 1967; (2)–Soysal et al., 1981; (3)–Ambraseys and Finkel, 1995; (4)– Tan et al., 2008. Abbreviations, L– Location, I– Intensity M– Magnitude, (See Figure 2 for locations of the historical earthquakes).

L	Tarih	Enlem	Boylam	M	I	Açıklama – Etkilenen Bölgeler (ve Kaynakça)
d1	1101	38.47	43.3		VI	Van (1)
d1	1111	38.5	43.4	6.6	IX	Van (1, 2, 4)
d2	1208	38.7	42.5	6.5	–	Ahlat, Van, Bitlis, Muş (4)
d2	1245	38.74	42.5	5	VII	Ahlat, Van, Bitlis, Muş (1, 2, 4)
d2	1275	38.8	42.5	6.8	–	Ahlat, Van (4)
d3	1276	38.9	42.9	5	VIII	Ahlat, Erciş, Van (1, 2, 4)
d3	1282	38.9	42.9	5	–	Ahlat, Erciş (2, 4)
d4	1439	38.6	42.3	?	VI	Van, Bitlis, Muş, Nemrut Bölgesi (1, 2, 4)
d5	1441	38.35	42.1	5	VIII	Van, Bitlis, Muş, Nemrut Bölgesi (1, 2, 4)
d6	1646	38.3	43.7	5	VI	Van (3, 4)
d7	1647	39.15	44	?	IX	Van, Tebriz, Muş, Bitlis (2, 4)
d8	1648	38.3	43.5	6.8	VIII	Hoşap, Van (2, 3, 4)
–	1685	?	?	?	VI	Van (2)
–	1692	?	?	?	?	Van, Aras Çukuru (2)
d9	1696	39.1	43.9	7.1	IX	Van (4)
d1	1701	38.5	43.4	5	VIII	Van (1, 2, 3)
d1	1701	38.5	43.4	5	VII	Van (2, 3, 4)
d1	1704	38.5	43.4	5	VII	Van (1, 2, 3, 4)
d10	1715	38.4	43.9	6.7	VIII	Van, Erciş (1, 2, 3, 4)
d11	1791	39	43.7	?	VI	Van, Tebriz ve Erzurum (1)
d12	1871	38	43	6.9	VII	Van (1, 2, 4)
d1	1881	38.5	43.3	7.3	X	Van, Bitlis, Muş Nemrut bölgesi (2,4)
d1	1894	38.47	43.3	–	V	Van (2)
d1	1900	38.47	43.3	5.2	VI	Van (2)

Özkaymak, Sözbilir, Bozkurt, Dirik, Topal, Alan ve Çağlan



Şekil 2. Van Gölü Havzası ve yakın çevresinin sismotektonik haritası bölgede meydana gelen aletsel ve tarihsel dönem depremlerin dışmerkezleri göstermektedir (Koçyiğit vd., 2001 ve Koçyiğit, 2002'den değiştirilmiştir). NAFS– Kuzey Anadolu Fay Sistemi. (Bölgede etkili olan ve özellikle Van şehrinde hasar yapan tarihsel dönem depremlerin dışmerkezleri harita üzerinde yeşil dolgunlu daireler ile gösterilmiş ve d1-d11 arasında numaralandırılmıştır. Depremlerin etki alanı ve şiddet değerleri için Çizelge 1'e bakınız). (Ergin vd., 1967; Soysal vd., 1981; Ambraseys ve Finkel, 1995; Tan vd., 2008).

Figure 2. Seismotectonic map of the Van Gölü Basin and surrounding area showing the epicentres of both instrumental and historical earthquakes (modified from Koçyiğit et al., 2001 and Koçyiğit, 2002). Abbreviation, NAFS– North Anatolian Fault System. (Epicentres of historical earthquakes that affected the region and specifically damaged the city of Van are shown by the green-filled circles and numbered between d1-d11. See Table 1 for the locality affected and Intensity values of the earthquakes). (Ergin et al., 1967; Soysal et al., 1981; Ambraseys and Finkel, 1995; Tan et al., 2008).

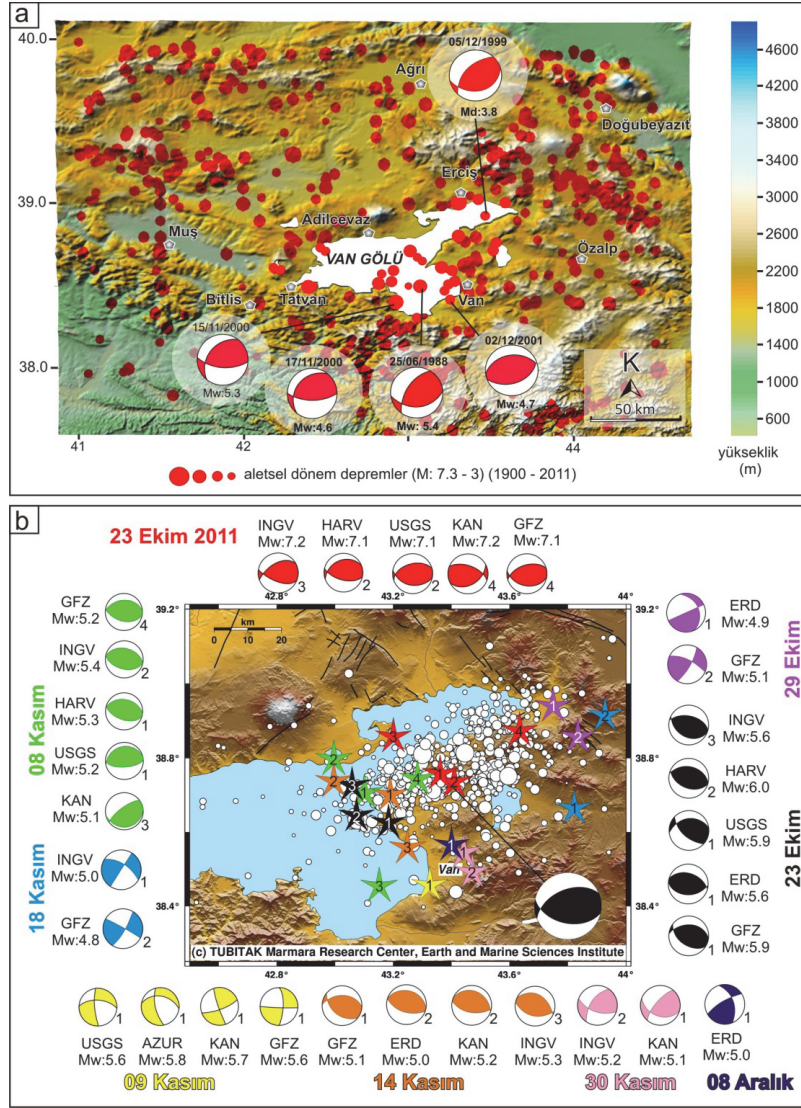
Aletsel dönem

Aletsel dönem kayıtlarına göre Van Gölü Havzası ve yakın civarında büyüklüğü 3 ile 7.3 arasında değişen çok sayıda deprem meydana gelmiştir (Şekil 3). Van Gölü'nün kuzeydoğusunda sağ yönlü doğrultu atımlı Çaldıran Fayı 1976'da $M_s:7.5$ (KANDİLLİ, 2004) büyüklüğünde bir deprem üreterek 55 km uzunluğunda bir yüzey kırığı oluşturmuştur. Deprem, bölgede aletsel dönemde meydana gelen en büyük sismik aktiviteyi temsil eder. Van şehir merkezi ve yakın çevresinde ise 1988, 1999, 2000, 2001 ve 2003 yıllarında meydana gelen depremlerin odak mekanizma çözümleri genellikle eğim atımlı ters faylanmaya işaret etmektedir (REDPUMA, 2003; KANDİLLİ, 2011; EMSC, 2011; USGS, 2011; TÜBİTAK, 2011). 25 Haziran 1988 yılında Van şehir merkezinin batısında Van Gölü içerisinde meydana gelen 5.4 büyüklüğündeki depreme ait odak mekanizması çözümlenmesi, sol yanal bileşenli ters faylanmaya işaret etmektedir (KANDİLLİ, 2011). 5 Aralık 1999 tarihinde Erciş güneyinde ve yine Van Gölü içerisinde meydana gelen küçük ölçekli bir depremin ($M_d: 3.8$) odak mekanizması çözümlenmesi, 1988 yılında meydana gelen depreme benzer şekilde, KD uzanımlı ve sol yanal bileşene sahip ters faylanmaya işaret etmektedir (TÜBİTAK, 2011). 2000 yılı Kasım ayında, Gevaş ve yakın yöresinde yoğunlaşan depremler belirli bir hat boyunca meydana gelmiştir. Edremit ilçesi yakınlarında 02.12.2001 tarihinde meydana gelen depremin büyüklüğü REDPUMA (2003) tarafından $M_w:4.7$ olarak belirlenirken, KANDİLLİ (2011) verilerine göre, 4.5 olarak açıklanmıştır. Bu depremin odak mekanizması çözümlenmesine bakıldığında hareketin tümüyle bindirme bileşenli olduğu anlaşılır (Şekil 3a). Edremit yakınlarında meydana gelen bu depremi oluşturan bindirme bileşenli düzlemin

doğrultusunun, bölgede sıkça rastlanan bindirme faylarının doğrultusuna yakın olduğu görülmektedir (Özkaymak vd., 2004a). 18 km derinlikte meydana gelen deprem (REDPUMA, 2003) bölgede can ve mal kaybına neden olmamış, fakat gevşek zemin üzerine kurulu bazı binalarda orta şiddette hasarlar meydana getirmiştir. Gevaş ilçesi yakınlarında 15.11.2000 tarihinde meydana gelen depremin büyüklüğü REDPUMA (2003) tarafından $M_w:5.3$ olarak belirlenirken, KANDİLLİ (2011) tarafından 5.7 olarak açıklanmıştır. Bu depremin odak mekanizması çözümlenmesine bakıldığında, bölgedeki hareketin bindirme bileşeni baskın, doğrultu atımlı olduğu görülmektedir (Şekil 3a). 27 km derinlikte meydana gelen deprem (REDPUMA, 2003) bölgede can ve mal kaybına neden olmamış, fakat gevşek zemin üzerine kurulu bazı binalarda çatlak şeklinde hasarlar meydana gelmiştir. 17.11.2000 tarihinde Gevaş ilçesi yakınlarında meydana gelen ve 15.11.2000 tarihli depremin artçısı olduğu düşünülen $M_w: 4.6$ (REDPUMA, 2003; KANDİLLİ, 2011) büyüklüğündeki deprem ana depremin yaklaşık 8 km güneyinde meydana gelmiştir (Özkaymak vd., 2004a). 18 km derinlikte meydana gelen bu depremin hareket mekanizmasının da ana depreme yaklaşık aynı olduğu görülmektedir (Şekil 3a).

23.10.2011 tarihinde meydana gelen $M_w: 7.2$ büyüklüğündeki depremden sonra, odak merkezi farklı olan 29 Ekim, 8, 9, 14, 18 ve 30 Kasım ve 8 Aralık 2011 tarihlerinde büyüklükleri 4.8 ile 5.9 arasında değişen çok sayıda deprem olmuştur (Şekil 3b). Odak mekanizma çözümleri Ekim-Kasım 2011 depremlerinin baskın olarak bindirme faylarından kaynaklandığını göstermektedir (Şekil 3b). Deprem dış merkezi (episantr) dağılımlarına bakıldığında depremlerin genel olarak Van Gölü doğu kıyısı boyunca yoğunlaştığı görülmektedir.

Özkaymak, Sözbilir, Bozkurt, Dirik, Topal, Alan ve Çağlan



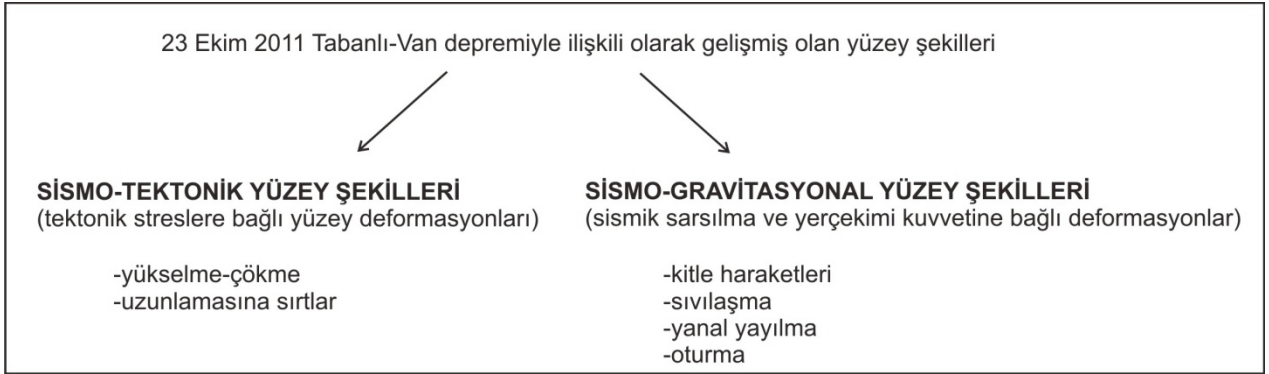
Şekil 3. (a) Van Gölü Havzası ve yakın çevresinde kayıt edilen aletsel dönem depremleri ve son yıllarda meydana gelen bazı depremlerin odak mekanizma çözümlerini gösteren sayısal yükseklik haritası (REDPUMA, 2003; KANDİLLİ, 2011; USGS, 2011; TÜBİTAK, 2011; EMSC, 2011), (b) 23 Ekim 2011 Tabanlı-Van (anaşok) ve sonrasında meydana gelen artçı depremlerin dağılımı (TÜBİTAK, 2011). 23 Ekim 2011 ve sonrasında meydana gelen orta şiddetli depremlerin (Mw>5) farklı rasathane kaynaklarına göre odak mekanizma çözümleri ve dışmerkez dağılımları (EMSC, 2011).

Figure 3. (a) Digital elevation map showing the instrumental earthquakes and focal mechanism solutions of some recent earthquakes recorded in the Van Gölü Basin and surrounding area. (REDPUMA, 2003; KANDİLLİ, 2011; USGS, 2011; TÜBİTAK, 2011; EMSC, 2011), (b) Epicentre distributions of the October 23, 2011 Tabanlı-Van earthquake (main shock) and following aftershocks (TÜBİTAK, 2011). Epicentre distributions and focal mechanism solutions of the October 23, 2011 Tabanlı-Van earthquake and following moderate earthquakes (Mw>5) according to the different sources of observatories (EMSC, 2011).

23.10.2011 TABANLI -VAN DEPREMİ SONRASINDA GELİŞEN YÜZEY DEFORMASYONLARI

Yapılan arazi çalışmalarında, Erciş ile Van arasında kalan bölgede Tabanlı-Van depremi sırasında gelişmiş olan yüzey deformasyonları incelenmiştir. Bu deformasyonların lokasyonları Şekil 1b'de gösterilmiştir. Meydana gelen deformasyonların büyük bir bölümü deprem sırasında gelişen sismik sarsılma ve yerçekimi kuvvetiyle ilişkilidir. Bunların yanında bölgedeki gerilme dağılımına bağlı olarak gelişen sıkışma kökenli yüzey deformasyonları da gözlenmiştir. Gözlenen yüzey deformasyonları Tabanlı-Van depreminin sismik jeomorfolojik göstergeleri olarak değerlendirilebilir. Sismik jeomorfoloji deprem sırasında veya hemen sonrasında yeryüzünde/yeryüzüne yakın kesimlerde

meydana gelen değişimleri/deformasyonları ve bu deformasyonların nedenlerini inceler (bkz. Dramis ve Blumetti, 2005). Bu tür oluşumların sismik şok sırasında geliştiği kabul edilmektedir (Audemard ve De Santis, 1991). Van depremiyle ilişkili olarak gelişen yüzey şekilleri sismotektonik ve sismo-gravitasyonal olmak üzere iki ana sınıf altında incelenmiştir (Şekil 4). Sismotektonik yüzey şekilleri tektonik gerilmelere bağlı olarak gelişen yüzey kırığı ve çatlağı, yükselme-çökme ve uzunlamasına sırtlar şeklindeki yüzey deformasyonlarıdır. Sismo-gravitasyonal yüzey şekilleri ise kütle hareketleri, yanal yayılma ve sıvılaşma şeklindeki deformasyonlardır. Bu yapıların tanınması ve haritalanması bir bölgenin sismik risk analizinin ortaya çıkarılmasında çok önemlidir (Dramis ve Blumetti, 2005).



Şekil 4. 23 Ekim 2011 Tabanlı-Van depremi sırasında gelişen yüzey deformasyonlarının sınıflaması.

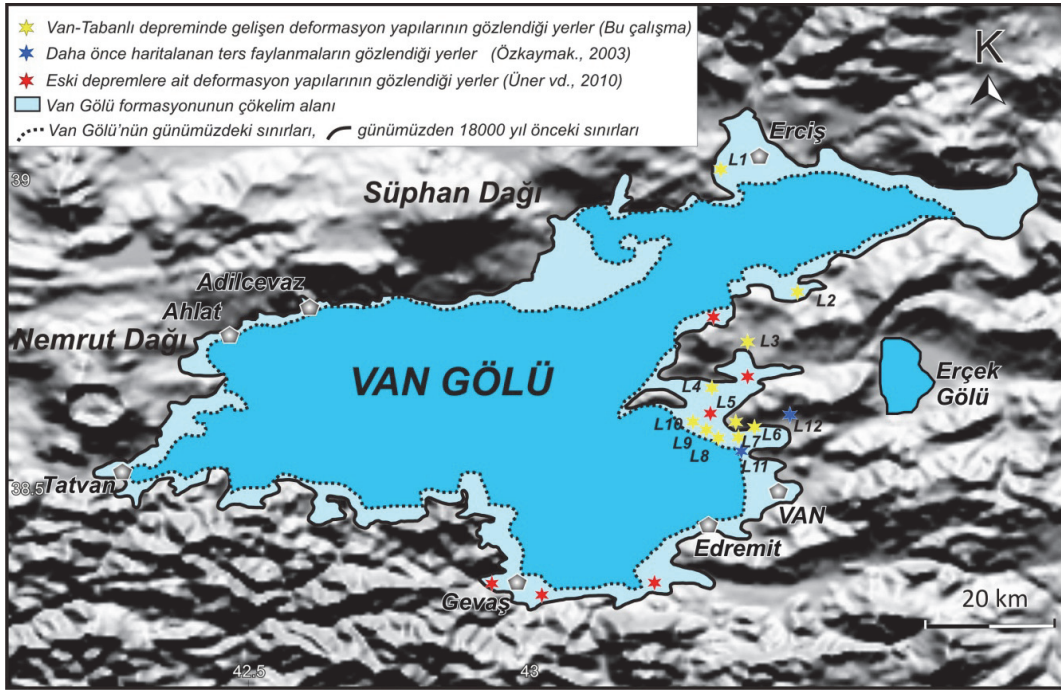
Figure 4. Classification of surface deformations formed during the October 23, 2011 Tabanlı-Van earthquake.

Günümüzde 1646 metrede olan Van Gölü'nün su seviyesinin son buzul döneminde (yaklaşık 18 bin yıl önce, Geç Pleistosen) yaklaşık 72 m daha yukarıda, 1718 m kotlarına kadar ulaştığı bilinmektedir (Şekil 5, Özkaymak, 2003; Üner, 2003). Göl seviyesindeki yükselme

ve çekilme süreci içinde oluşan çökeller, Üst Pleistosen oluşukları kapsamında toplanmıştır. Van Gölü formasyonu olarak tanımlanan bu tortullar eski göl, göl-akarsu ve yelpaze çökellerinden oluşur. Üner vd. (2010) tarafından 23 Ekim 2011 Van depreminden önce yapılan

çalışmalarda, Van Gölü doğu kıyısı boyunca Van Gölü formasyonu içerisinde eski depremlere ait deformasyon yapıları tanımlanmıştır (Şekil 5). Burada dikkat çeken önemli bir konu 23 Ekim 2011 Van depremi sırasında oluşan deformasyon yapılarının lokasyonları ile Üner vd. (2010)'nin eski depremlere ait olduğunu düşündükleri deformasyon yapılarını gözlemledikleri alanların önemli oranda çakıştığıdır. Bu verilere göre, hem eski depremlere ve hem de son depreme ait deformasyon yapıları Van Gölü'nün

eski çökellerinde gelişmiştir. Eski deformasyon yapılarıyla son depremde oluşan deformasyon yapıları arasındaki fark, eski deformasyon yapılarının Van ilinin hem kuzeyinde ve hem de güneyinde gelişmesi, yeni deformasyon yapılarının ise sadece Van ilinin kuzeyinde gözlenmesidir. Bu durum, Van Gölü kıyısı boyunca gözlenen son deformasyonların önemli bir bölümünün muhtemelen henüz suyunu kaybetmemiş genç tortullarda geliştiğini göstermektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Van Gölü doğu kıyısı boyunca Van Gölü formasyonundaki eski depremlere işaret eden deformasyon yapıları (sismitler) ile Tabanlı–Van depremi sırasında gelişmiş olan deformasyon yapılarının gözlemlendiği lokasyonları gösteren kabartı haritası (eski depremlere ait deformasyon yapılarının yerleri Üner vd., 2010'dan alınmıştır). Tüm deformasyon yapılarının Van Gölü'nün günümüzden 18000 yıl önceki çökelleri içinde geliştiğine dikkat ediniz.

Figure 5. Relief map showing the locations of the soft sediment deformation structures (seismites) observed in the Van Gölü formation indicating historical earthquakes along the eastern coast of the Lake Van and deformation structures formed during the October 23, 2011 Tabanlı-Van earthquake (Location of deformation structures indicating historical earthquakes are based on the outcomes given in Üner et al., 2010). Note that all the deformation structures developed in sediments of the Van Gölü formation which was deposited 18000 years ago.

Sismo-Gravitasyonel Yüzey Şekilleri

Tabanlı-Van depremi sırasında gelişmiş olan sismo-gravitasyonel yüzey şekilleri, özellikle Erciş ile Van arasında birbirinden bağımsız lokasyonlarda geliştikleri saptanmıştır (Şekil 1). Erçiş batısında İnönü Mahallesi-Çelebibağ çevresinde saptanan yüzey deformasyonları 250 m uzunluğunda ve 50 m genişliğindeki zon boyunca gözlenir (Şekil 6). Yol boyunca gelişen yüzey deformasyonları (UTM-0353057/4319076 koordinatları) bu alanda D-B uzanımlı gelişmiştir. Burada gözlenen çatlaklar, güneye eğimlidir ve normal fay geometrisine uygun olacak şekilde güney blokları 50 cm düşmüştür. Yaklaşık 50 m uzunluğundaki bu zon, batıya doğru kavis yapacak şekilde güneybatıya doğru döner ve 200–250 m uzunluğundaki $K40^{\circ}$ – 50° D doğrultulu bir deformasyon zonuyla birleşir. Zon içinde güneybatıya doğru eğimli, normal fay geometrilili ve birbiriyle bağlantılı çok sayıda yüzey deformasyonu bulunur. Deformasyon zonu içinde kalan bloklar kuzeybatıya doğru eğimlidir ve kuzeybatıdan güneydoğuya doğru blok eğimlerinde artış (geriye doğru çarpılma; ‘*back tilting*’) gözlenir (Şekil 7a, b). Deformasyon zonu güneye doğru önce K–G doğrultusuna, daha sonra D–B doğrultusuna dönüş gösterir. Bu özellikleriyle deformasyon zonu, bir bütün olarak güneydoğuya doğru eğimli ve geniş kavisli, yanal yayılma yapıları da içeren listrik bir geometri sunar. Bu alanda yeraltısuyunun da yüksek olması nedeniyle, yüzey deformasyonunun yanal yayılma ve oturma şeklinde gerçekleştiği söylenebilir.

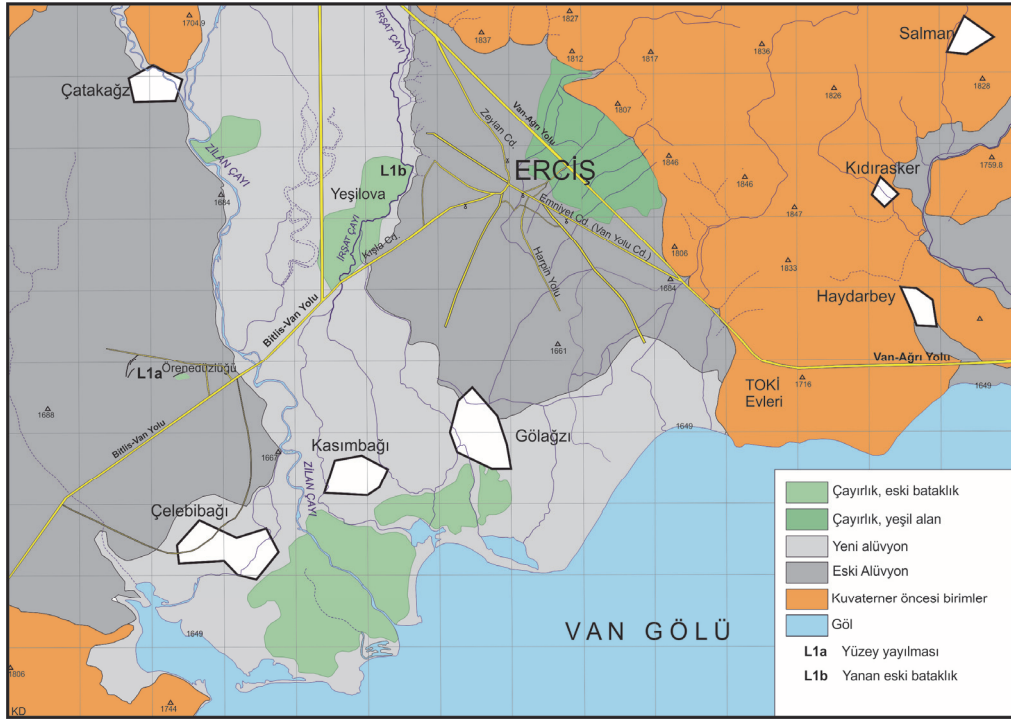
Benzer heyelan yapıları Gedikbudak ve Göllü çevresinde de saptanmıştır. Gedikbudak heyelanı $K70^{\circ}$ D uzanımlıdır ve Van-Erciş karayolunda deformasyona neden olmuştur (Şekil 7c). Göllü çevresindeki heyelan ise $K50^{\circ}$ B

uzanımlı ve KD’ye eğimli listrik bir geometriye sahiptir. Alaköy çevresinde 50 metre çaplı sıvılaşmaya bağlı dairesel bir çöküntü alanı gözlenir (Şekil 7d). Burada sıçramalı bir yapıya sahip olan kavisli çatlaklar boyunca normal fay geometrilili açılmaların yanı sıra, ters fay geometrilili sıkışma yapıları da gelişmiştir (Şekil 7e). Açılmalı yapılar boyunca yer yer kum fişkirmaları olan değişik boyutlu sıvılaşmalar gözlenir.

Benzer heyelanlar ve sıvılaşma yapıları Topaktaş-Arisu-Dibekdüzü köylerinin de içinde olduğu Karasu Çayı taşkın ovası boyunca geniş düzlük alanda yaygın olarak gelişmiştir (UTM-0347348/427349 koordinatları). Yanal yayılma yapıları özellikle menderesli derelerin uç çubuğu ve taşkın düzlüğü bölümlerinde gelişmiştir. Birbirine paralel çatlaklar şeklindeki yanal yayılmaların genel uzanımları K–G ve $K20^{\circ}$ – 60° B arasında değişmektedir (Şekil 7f).

Karasu Çayı’nın Karasu ve Topaktaş mevki bölgesi (bakınız Şekil 1b) karakteristik sıvılaşma yapıları için tip alan niteliğindedir (Şekil 8a,b). Suya doymun zeminde sıvılaşma yapıları K–G ve $K20$ – 60° B doğrultulu zonlar boyunca dizilmiştir. Sıvılaşan malzeme koyu gri renkli orta-kaba kum boyutundadır (Şekil 8c, d). Şekil 8b’de görülen kum volkanı üzerindeki koyu gri renkli kaba kum seviyesi, alttaki açık gri renkli orta boy taneli kumların üzerinde yer almaktadır. Bu durum, alandaki ivme değerleri ile ilişkili olarak birbirini takip eden birden fazla sıvılaşmanın meydana geldiğini göstermektedir. Sıvılaşan malzeme, belirli kum konisi oluşturacak şekilde geliştiği gibi, çok sayıda kum konisinden oluşan birleşik bir kum volkanı veya belirli uzanımdaki bir çatlak boyunca çıkan kum yükseltisi veya kum yelpazesi şeklinde de görülmektedir (Şekil 8d-f).

Özkaymak, Sözbilir, Bozkurt, Dirik, Topal, Alan ve Çağlan



Şekil 6. Erciş yerleşim alanını ve Çelebibağ Mevki'inde gözlenen heyelan/yanal yayılımın yerini gösteren jeolojik harita.

Figure 6. The geological map showing the locations of the landslide/lateral spreading observed in Çelebibağ Site and the city of Erciş.

Bu yapılar sismik olayın belirli bir büyüklüğün üstüne çıktığı durumlarda gelişir (bkz. Moretti vd., 1999). Örneğin, sıvılaşma ve kum volkanları ile dayklarının oluşması en az 5.0 büyüklüğündeki bir depremi işaret eder (bkz. Atkinson, 1984; Rodriguez-Pascua vd., 2000). Kum volkanlarının bir hat boyunca uzanması, tabanda bir kum tabakasının olduğunu ve bu tabakadan belirli bir doğrultuda kum daykı şeklinde bir oluşumun geliştiğini göstermektedir. Bu gözlem, yapıların geliştiği alanın taşkın ovası olma özelliğiyle oldukça uyumludur.

Oturma yapıları Erciş ilçesindeki hasar görmüş binaların temelleri etrafında gözlenmiştir. Deprem odak noktasının Tabanlı merkezli olduğu düşünüldüğünde, yüzeydeki

graviteye bağlı deformasyonlar Bardakçı-Gedikbulak arasındaki K30°–40°D doğrultulu bir zon boyunca gözlenmektedir. Bunun yanında depreme neden olan fayın tavan bloğu üzerinde K50°–60°D uzanımlı genç çöküntü alanları (*crestal graben*) da bulunmaktadır. Bunlardan en büyüğü Karasu Havzası'dır. Karasu Havzası Erçek ve Van Gölleri arasında uzanan 2–4 km genişliğinde ve 30 km uzunluğunda Pleyistosen-Holosen yaşlı dar bir çöküntüdür (bkz. Şekil 1b). Van depreminde Karasu havzasının güneybatı ucundaki Çitören, Topaktaş, Arısu, Dibekdüzü ve Tevekli köylerinde heyelan, yanal yayılma ve sıvılaşma gibi zemin deformasyon yapılarıyla birlikte önemli ölçüde yıkım olmuş ve çok sayıda insan hayatını kaybetmiştir.



Şekil 7. (a, b) Çelebibağ Mevkii kuzeyinde gelişen heyelan/yanal yayılmayı gösteren arazi fotoğrafları. Çatlaklar arasında kalan blokların çatlak yüzeylerine ters yönde eğimlendiğine (geriye doğru çarpılma) dikkat ediniz, (c) Gedikbulak Köyü çevresinde gelişen yanal yayılmayı gösteren arazi fotoğrafı, (d) Göllü ve Alaköy çevresinde gelişen yanal yayılma yapılarına ait arazi fotoğrafları. Fotoğrafta gelişen dairesel çatlaklar yüzeye çıkamayan sıvılaştırma yapısının varlığına işaret eder, (e) Yanal yönde devamsız ters fay geometrisi sunan yüzey deformasyonları, (f) Topaktaş Köyü civarında gözlenen yanal yayılma yapıları

Figure 7. (a, b) Field views of the landslide/lateral spreading observed on the North of the Çelebibağ Site. Note that the blocks in between the cracks are tilted towards the reverse direction to the crack surface (backward tilting), (c) Field view of the lateral spreading observed around Gedikbulak Village, (d) Field view showing the lateral spreading structures observed around Göllü and Alaköy. Radial cracks in the picture indicates the presence of the subsurface liquefaction processes, (e) The surface deformations that exhibits laterally discontinuous reverse fault geometry, (f) Lateral spreading observed in the vicinity of Topaktaş Village.



Şekil 8. Topaktaş, Arısu, Dibekdüzü ve Alaköy çevresinde gelişen sıvılaşma yapılarına ait arazi fotoğrafları. (a) Çizgisel çıkış merkezli kum konilerinin onlarca metre belli doğrultularda uzanım sunduğunu göstermektedir, (b) Çizgisel çıkış merkezli bir kum konisi, orta ve kaba kum boyutunda malzemeden oluşmaktadır. Kum volkanı üzerindeki koyu gri renkli seviyeler kaba kumlardan oluşmaktadır. Altındaki açık gri renkli seviyeler ise orta kum boyutundadır, (c) Alaköy civarında gözlenen sıvılaşmış kaba kum boyutundaki malzemeyi göstermektedir, (d) Alaköy güneydoğusunda meydana gelen heyelan sonucu açılan yarıktan yükselerek sıvılaşan malzemenin yüzeyde oluşturduğu bir yelpazesi, (e) Çizgisel çıkış merkezli tipik bir kum konisi, (f) Kırık zonundan çıkan sıvılaşmış malzemenin oluşturduğu kum yelpazesi. Bölgede gözlenen normal fay geometrili deformasyon ve sıvılaşma yapıları bölgede gelişen yanıl yayılma ve sıvılaşmanın değişik doğrultulu oturma yapılarıyla sonuçlandığını göstermektedir.

Figure 8. Photographs of the liquefaction features around Topaktaş, Arısu, Dibekdüzü and Alaköy. (a) Linear sand boils following the cracks in similar direction for tens of metres. (b) A sand boil with a linear discharge center consists of medium to coarse sand. Dark gray levels on the sand volcano are comprised of coarse sand, whereas the underlying layer is medium sand, (c) Liquefied coarse sand around Alaköy, (d) A fan consists of liquefied sand rising from the landslide crack on the southeastern part of Alaköy, (e) A typically linear sand boil, (f) A sandy fan comprised of liquefied particles rising from the fissure zone. Deformation types of a normal fault geometry and liquefaction features observed in the region indicate that lateral spreading and liquefaction in the region processed as a result of discrete settlement in different direction.

Sismo-Tektonik Yüzey Şekilleri

Tabanlı-Van depreminde tektonik gerilmelere bağlı olarak bazı yapıların yükselmesi ve çökmelerine bağlı olarak uzunlamasına sırtlar şeklinde gelişmişlerdir. Yükselme-çökme yapılarının özellikleri bazı asfalt yollarda, yol kenarındaki kaldırım taşlarında ve beton temeller üzerinde gözlenmiştir (Şekil 9). Bu yapılara yakın yerlerde yoldaki asfaltta $K30^{\circ}$ - 50° D uzanımlı antiklinal geometrilili sırtlar gelişmiştir. Önemli bir bölümü asimetrik olan yapılar, güneye doğru tektonik taşınmayı yansıtacak bir geometriye sahiptir.

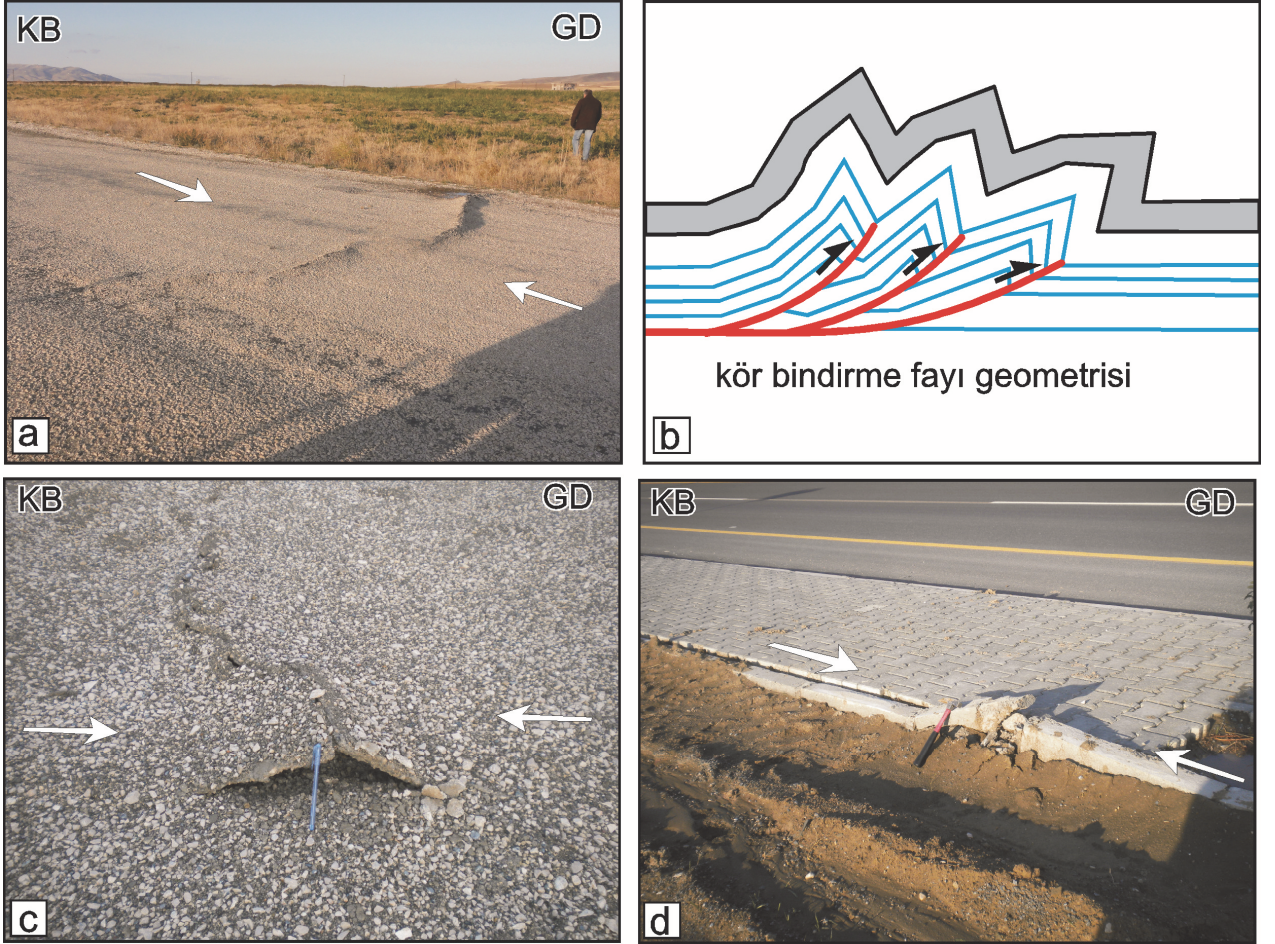
Deprem sırasında oluşan fay koluna ait sıkışma kökenli yüzey deformasyonları belirgin bir yüzey kırığı oluşturacak şekilde gelişmemiştir (Şekil 9). Bu tür yapılar özellikle Van-Erciş yolu üzerinde saptanmıştır. Bu kesimlerde yolun kenarındaki kaldırım taşlarında KKB-GGD doğrultulu sıkışma kuvvetleri nedeniyle DKD-BGB eksenli ve asimetrik kanatlı antiklinal geometrilili deformasyonlar gelişmiştir. Bu tür deformasyonlar, muhtemelen henüz yüzeye ulaşmamış bindirme fayına ait kolların varlığını göstermektedir.

Ayrıca, aynı zon içinde Pliyo-Kuvaterner ve Üst Pleyistosen-Holosen birimlerini kesen ters/bindirme fay hatları da saptanmıştır. Benzer aktif fay hatları Özkaymak (2003) tarafından yapılan çalışmada, Van il merkezi kuzeyinde

yer alan Beyüzümü Köyü kuzeyinde, 100.Yıl Üniversitesi Kampüs girişinde ve Alabayır Havzası kuzeyinde haritalanmıştır (Şekil 1b).

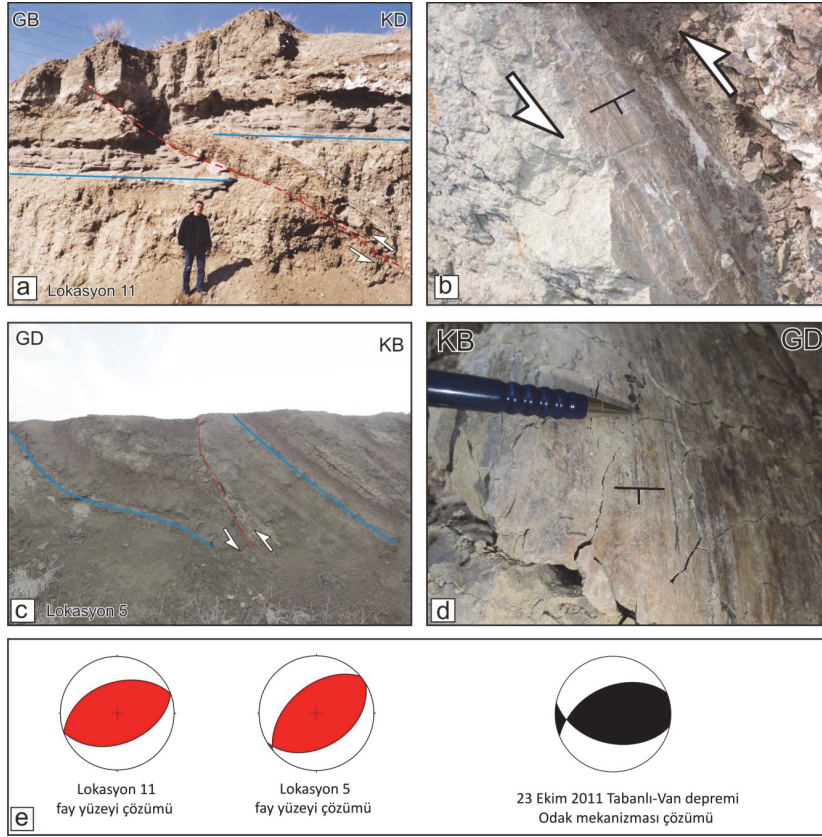
Söz konusu aktif fay segmentleri Pleyistosen-Holosen birimlerinin yeterli yüzlekler vermemesinden dolayı, arazide ancak 1 ile 3 km uzunluğundaki segmentler şeklinde izlenebilmektedir. Bu ters faylardan bir tanesi 100. Yıl Üniversitesi kampüs girişinde yüzelenir (Şekil 10a, b). Benzin istasyonu nedeniyle tahrip edilen bu yüzlekte Üst Pleyistosen birimler ile Holosen birimleri arasındaki açılal uyumsuzluk net olarak gözlenmekte ve birimler $K70^{\circ}$ D doğrultulu ve 45° kuzeybatıya eğimli ters bir fay tarafından kesilip ötelenmektedir (Özkaymak ve Köse, 2002; Köse ve Özkaymak, 2002; Özkaymak, 2003; Özkaymak vd., 2004a, b).

Benzer ters faylanmaya ait arazi yüzlekleri Eski Hastane temelinin atıldığı alanda da yer alır (Şekil 10c, d). Bu lokasyonda (UTM-0351391/4274413 koordinatları) Üst Pliyosen-Pleyistosen birimleri $K50^{\circ}$ D doğrultulu ve 51° kuzeybatıya eğimli sol yanal bileşenli ters bir fayla kesilmektedir. Her iki fay düzlemi üzerinde yapılan fay yüzeyi ölçümlerine göre, faylar üzerinde meydana gelen hareketler ters faylanmaya işaret etmektedir (Şekil 10e). Bu sonuç 23 Ekim 2011'de meydana gelen ana şokun odak mekanizması çözümü ile benzerlik göstermektedir (Şekil 3b).



Şekil 9. 23 Ekim 2011 Van depremi sırasında gelişmiş olan antiklinal geometrili sıkışma yapıları. (a) Arazi fotoğrafı asfalt yola dik gelişmiş sırt şeklindeki sıkışmayı, (b) Kör bindirme fayının geometrisini, (c) yol kenarındaki kaldırımda sıkışma nedeniyle gelişen kabarma ve kırılmayı, (d) Eski hastane temelinde gelişmiş olan yanal sıçramalı antiklinal geometrili deformasyonu göstermektedir.

Şekil 9. *Compressional anticline structures formed during the October 23, 2011 Tabanlı-Van earthquake, (a) Photograph showing the ridge-shaped compressional folds formed perpendicular to the asphalt road, (b) The geometry of a blind thrust, (c) The fold and failure due to compression in the roadside banquette, (d) The anticline deformation with lateral step-over in an ex-hospital ground.*



Şekil 10. (a) YYÜ Zeve Kampüsü girişinde Geç Pleyistosen-Holosen birimlerini deforme eden ters fayın (L11, bkz. Şekil 1b) uzak ve (b) kayma yüzeyini gösteren yakın arazi görüntüleri. Uzak fotoğrafta Üst Pleyistosen ile Holosen birimler arasındaki uyumsuzluk yüzeyi (mavi yatay çizgi) ters fay tarafından yaklaşık 90 cm ötelenmektedir. Yakın görüntüde, fay düzlemi üzerindeki fay çizikleri fayın eğim atım hareketini göstermektedir, (c) Pliyo-Kuvaterner birimlerini deforme eden ters fayın (L5, bkz. Şekil 1b) uzak ve (d) kayma yüzeyini gösteren yakın arazi görüntüleri. Uzak fotoğraf Üst Pliyosen–Pleyistosen katmanlarının ters bir fayla kesilerek ötelendiğini, yakın fotoğraf fay düzlemi üzerinde eğim atımı belgeleyen fay çiziklerini göstermektedir, (e) a ve b’de verilen fayların fay yüzeyi çözümleri ters faylanma mekanizmasına işaret etmektedir. Araziye ölçülen kinematik verilerin analizleri 23 Ekim 2011 depreminin odak mekanizma çözümleri ile benzerlik göstermektedir.

Figure 10. (a) Long shot field view of the reverse fault deforming Upper Pliocene-Pleistocene sediments near the main gate of the Yüzüncü Yıl University Zeve Campus (L11, see Figure 1b for location) and (b) Close-up view of the slickensides on the slip surfaces. In long shot, the unconformity surface between Upper Pleistocene and Holocene sediments (blue horizontal line) is offset approximately 90 cm by reverse faulting. In close-up view, the fault-striae data indicates the dip-slip faulting. (c) Long shot field view of the reverse fault deforming Plio-Quaternary sediments (L5, see Figure 1b for location) and (d) Close-up view of the slickensides on the slip surfaces. In long shot view, Upper Pliocene–Pleistocene sedimentary layers are cut and displaced by reverse faulting. Close-up view shows the fault striae set which proves the dip-slip sense of the faulting, (e) Fault plane solutions of both two faulting indicate the reverse fault mechanism. Field study kinematic analyses data are in harmony with the focal mechanisms solutions of the October 23, 2011 Tabanlı-Van earthquake.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

23 Ekim 2011 Tabanlı-Van ve 09 Kasım 2011 Edremit-Van depremleri Doğu Anadolu'da yaklaşık 10 Milyon yıldan beri devam eden K–G doğrultulu sıkışma rejimine bağlı olarak gelişen yapılar üzerinde meydana gelmiştir. Özkaymak (2003) ve Alan vd., (2011) tarafından bölgede haritalanan faylar ve son depremde meydana gelen yüzey deformasyonları birlikte ele alındığında, Çitören ile Beyüzümü köyleri arasında, yaklaşık 10 km genişliğinde, ortalama $K50^{\circ}$ – 70° D doğrultulu ve kuzeybatıya 47° eğimli, birbirine paralel en az beş fay segmenti içeren aktif bir bindirme zonunun varlığı ortaya çıkmaktadır (Şekil 1b). Bölgede önceden haritalanan ve bu çalışmada saptanan Holosen yaşlı fayların kinematik verileri 23 Ekim Van depremini oluşturan fayın odak mekanizma çözümünüyle uyumludur.

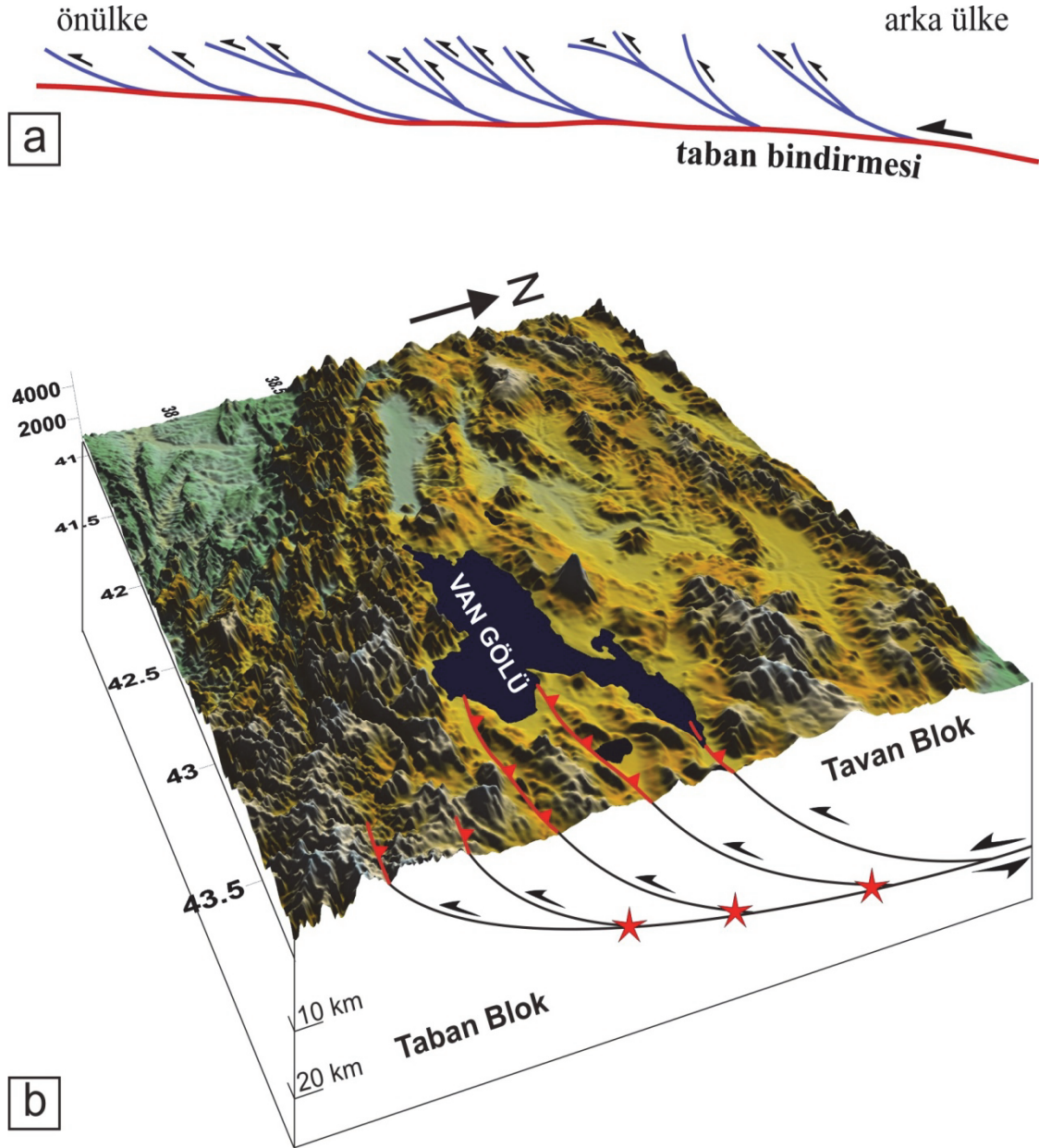
Tabanlı-Van depreminde gelişen sismotektonik yüzey şekillerinin tamamı söz konusu zon içerisinde kalmaktadır. Bu nedenle, Van depreminde Pleyistosen–Holosen birimlerini kesen fay zonunun yeniden aktif hale geçerek yeni fay kolları oluşturduğu anlaşılmaktadır. Deprem sırasında oluşan fay koluna ait sıkışma kökenli yüzey deformasyonlarının belirgin bir yüzey kırığı oluşturacak şekilde gelişmemiş olması, yeni oluşan fayın geometrisi nedeniyle henüz yüzeye ulaşmadığını ve dolayısıyla gömülü fay niteliği taşıdığını göstermektedir. Teorik olarak, en yüksek gerilme eksenine dik olacak şekilde gelişmeye başlayan bindirme fayları bir ana sıyrıma (dekolman) yüzeyi üzerinde tektonik taşınma yönünde fay kolları oluşturacak şekilde ilerler (Şekil 11a).

Sıkışmanın devam etmesi durumunda, oluşan fay kolları yeryüzünü kestikten sonra, tektonik taşınma yönünde yeni fay kolları

oluşturur ve yeryüzüne doğru ilerlemeye başlar. Bu tür gömülü fay zonları boyunca depremler meydana geldikçe, yeryüzünde kabarmalar ve çöküntüler oluşturacak şekilde yüzey deformasyonları gelişir (Şekil 11b). Fay zonu bu tür deformasyon yapılarına bakılarak haritalanabilir. Söz konusu fay kolları, ana bindirme fayı üzerinde önülke tarafına doğru ilerleyerek yeni depremlerin oluşmasına neden olabilir. Bazen bindirme fay düzlemi üzerindeki düzensizlikler de (fay düzleminin eğim yönünde farklı açılara sahip fay bloğu rampası içermesi) yeryüzünde belli doğrultuda kabarma (antiklinal) ve çöküntülere (senklinal) neden olabilir. Bu tür yapıların doğru tanımlanması, ayrıntılı Genç Tektonik, özellikle Kuvaterner jeolojisi ve jeomorfolojisi haritalarının (1/25.000, 1/5000 ölçeğinde) hazırlanmasına bağlıdır. Bu tür haritalar olmadan diri fayların geçtiği bölgelerin yapılaşmaya açılması ciddi oranda can ve mal kayıplarına yol açabilir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, doğal olayları anlamaya yönelik yerbilimsel çalışmaların üst düzeyde yürütüldüğü ülkemizde, yerleşime uygun yaşamsal alanların, bilimi yeterince dikkate almayanlar tarafından hatalı olarak seçilmesi nedeniyle kaybettiğimiz insanlarımıza adanmıştır. Yazarlar, Van depremi sonrasında yapılan arazi çalışmalarına maddi destek sağlayan TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası'na, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanlığı'na ve bu makaleyi inceleyerek bilimsel ve teknik katkılarda bulunan değerli hakemlere çok teşekkür ederler.



Şekil 11. (a) Ana bir dekolman yüzeyi üzerinde önülke tarafına doğru ilerleyen fay kolları, (b) 23 Ekim 2011 Tabanlı-Van depremine neden olan olası faylanma mekanizmasının blok diyagramı.

Figure 11. (a) Progressive fault splays towards the foreland on the primary detachment surface, (b) Block diagram showing the potential faulting mechanism caused the October 23, 2011 Tabanlı-Van earthquake.

KAYNAKLAR

- Acarlar, M., Bilgin, Z. A., Erkal, T., Güner, E., Şen, A. M., Umut, M., Elibol, E., Gedik, İ., Hakyemez, Y., Uğuz, M.F., 1991. Van Gölü Doğu ve Kuzeyinin jeolojisi. M.T.A. Raporu, No: 9469 (yayımlanmamış).
- AFAD, 2011. T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı web sitesi, http://www.afad.gov.tr/haber/haber_detay.asp?haberID=578
- Aksoy, E., 1988. Van İli Doğu-Kuzeydoğu Yöresinin Stratigrafisi ve Tektoniği (Doktora Tezi, yayınlanmamış). F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Alan, H., Bozkurt, E., Çağlan, D., Dirik, K., Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Topal, T., 2011. Van depremleri (Tabanlı-Edremit) raporu, Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No. 10.
- Ambraseys, N. N., 1988. Engineering seismology. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 17, 1–105.
- Ambraseys, N. N., Finkel, C. F., 1995. The seismicity of Turkey and adjacent Areas: A historical review, 1500–1800. İstanbul: Eren publishing and booktrade.
- Atkinson, G., 1984. Simple computation of liquefaction probability for seismic hazard applications. *Earthquake Spectra*, 1, 107–123.
- Audemard, F. A., De Santis, F., 1991. Survey of liquefaction structures induced by recent moderate earthquakes. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 44, 5-16.
- Aydar, E., Gourgaud, A., Ulusoy, İ., Digonnet, F., Labazuy, P., Şen, E., Bayhan, H., Kurttaş, Y., Tolluoğlu, Ü., 2003. Morphological analysis of active Mount Nemrut stratovolcano, eastern Turkey: evidences and possible impact areas of future eruption. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 123, 301–312.
- AZUR, 2011. Nice Üniversitesi, GeoAzur Laboratuvarı web sayfası, <https://geoazur.oca.eu/>, Geosciences Azur (University of Nice, France).
- Dewey, J. F., Hempton, M. R., Kidd, W. S. F., Şaroğlu, F., Şengör, A. M. C., 1986. Shortening of Continental Lithosphere: The Neotectonics of Eastern Anatolia-A Young Collision Zone. *Geological Society Special Publication*, 19, 3-37.
- Dramis, F., Blumetti, A. M., 2005. Some considerations concerning seismic geomorphology and paleoseismology. *Tectonophysics*, 408, 177-191.
- EMSC, 2011. Avrupa Ortadoğu Sismoloji merkezi web sayfası, <http://www.emsc-csem.org/>; EMSC: European-Mediterranean Seismological Centre.
- ERD, 2011. Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi web sayfası, <http://www.deprem.gov.tr/>
- Ergin, K., Güçlü, U., Uz, Z., 1967. Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu (MS. 11-1964). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü yayınları, No 28.
- Ersoy, O., Chinga, G., Aydar, E., Gourgaud, A., Çubukcu, H. E, Ulusoy, İ., 2006. Texture discrimination of volcanic ashes from different fragmentation mechanisms: A case study, Mount

- Nemrut stratovolcano, eastern Turkey. *Computers & Geosciences*, 32, 936-946.
- GFZ, 2011. Almanya Yerbilimleri Araştırma Merkezi web sayfası, <http://www.gfz-potsdam.de/portal/gfz/home>; German Research centre for Geoscience.
- Göncüoğlu, M. C., Turhan, N., 1984. Geology of the Bitlis metamorphic belt. In: Tekeli, O. ve Göncüoğlu, M.C. (eds), *Geology of Taurus Belt*. MTA Yayınları, 237-244.
- Guidoboni, E., Comastri, A., Triana, G., 1994. *Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean Area up to the 10th Century*. Italy: Istituto Nazionale di Geofisica.
- Güner, Y., 1984. Nemrut yanardağının jeolojisi, jeomorfolojisi ve volkanizmanın evrimi. *Jeomorfoloji Dergisi*, 12, 23–65.
- HARV, 2011. Harvard Üniversitesi CMT Kataloğu web sayfası, <http://www.seismology.harvard.edu/>; HARV: Harvard Seismology Group Harvard University.
- Helvacı, C., Griffin, W. L., 1984. Rb-Sr geochronology of the Bitlis Massif, Avnik (Bingöl) area, S.E. Turkey. In: Dixon, J.E. ve Robertson, A.H.F. (eds), *The Geological Evolution of eastern Mediterranean*. Geological Society, London, Special Publications 17, 403-413.
- Hempton M. R., 1987. Constraints on Arabian plate motion and extensional history of the Red sea. *Tectonics*, 6, 687-705.
- INGV, 2011. İtalya Ulusal deprem izleme merkezi web sayfası, <http://ring.gm.ingv.it/>; Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Italy.
- KANDİLLİ, 2004. Türkiye’de 1900 – 2004 yılları arasında can kaybı ve hasara neden olmuş önemli depremler. B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü web sayfası, <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/Depremler/tLarge2.htm>
- KANDİLLİ, 2011. B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü web sayfası, <http://www.koeri.boun.edu.tr/>.
- Karaoğlu, Ö., Özdemir, Y., Tolluoğlu, Ü., Karabıyıköğlu, Ö., Köse, O., Froger, J. L., 2005. Stratigraphy of the volcanic products Around Nemrut caldera: implications for reconstruction of the caldera formation. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 14, 123–143.
- Ketin, İ., 1947. Kurzer Bericht über die letzten Erdbeben in der Türkei. *Geol. Rdsch.*, Bd. 35
- Ketin, İ., 1977. Van Gölü ile İran Sınırı Arasındaki Bölgede Yapılan Jeoloji Gözlemlerinin Sonuçları Hakkında Kısa bir Açıklama. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 20-2, 79-85.
- Koçyiğit A., Beyhan A., 1998. A New Intracontinental Transcurrent Structure: The Central Anatolian Fault Zone, Turkey. *Tectonophysics*, 284, 317-336.
- Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S., Kuloshvili, S., 2001. Neotectonics of East Anotolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: İmplication for Transition From Thrusting to Strike-Slip Faulting. *Geodinamica Acta*, 14, 177-195.
- Koçyiğit, 2002. Doğu Anadolu’nun neotektonik özellikleri ve depremselliği. *Doğu Anadolu Jeoloji Çalıştay – 2002 (DAJEO-2002) bildirileri kitabı*, s. 2-4.

- Köse, O., Özkaymak, Ç., 2002. Van Şehri Kuzeyi Genç Göl Çökellerinde Aktif Tektonik Bulgular. ATAG-6 (Aktif Tektonik Araştırma Grubu Altıncı Toplantısı), 21-22 Kasım 2002, Bildiri Özleri Kitabı, s.64-65, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Moretti, M., Alfaro, P., Caselles, O., Canas, J.A., 1999. Modelling seismites with a digital shaking table. *Tectonophysics*, 304, 369–383
- MTA, 2002. 1:500 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, Van paftası. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Oberhänsli, R., Candan, O., Bousquet, R., Rimmelé, G., Okay, A.I., Goff, J., 2010. Alpine high pressure evolution of the eastern Bitlis complex, SE Turkey. In: *Geological Society, London, Special Publications 340*, 461-483
- Oswalt, F., 1912. *Armenian. Handbuch der regionalen Geologie. H. 10. Heidelberg.*
- Özdemir, Y., Karaoğlu, Ö., Tolluoğlu, Ü., Güleç, N. 2006. Volcanostratigraphy and petrogenesis of the Nemrut stratovolcano (East Anatolian High Plateau): the most recent postcollisional volcanism in Turkey. *Chemical Geology* 226, 189-211.
- Özdemir, Y., Blundy, J., Güleç, N. (2011) The importance of fractional crystallization and magma mixing in controlling chemical differentiation at Süphan stratovolcano, eastern Anatolia, Turkey. *Contribution of Mineral Petrology*, 162, 573–597.
- Özkaymak, Ç., Köse O., 2002. Van İli ve yakın civarı aktif tektoniğine yönelik bulgular. 55. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 11-15 Mart 2002, Bildiri Özleri Kitabı, s.226, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara.
- Özkaymak, Ç., 2003. Van Şehri ve Yakın Çevresinin Aktif Tektonik Özellikleri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi, basılmamış), 76 s.
- Özkaymak, Ç., Yürür, T., Köse., 2004a. An example of intercontinental active collisional tectonics in the Eastern Mediterranean region (Van, Eastern Turkey). *Fifth International Symposium on Eastern Mediterranean Geology (5th ISEMG)*, s153-156. 14-20 Nisan 2004, Selanik, Yunanistan.
- Özkaymak Ç., Sağlam A., Köse O., 2004b. Van Gölü Doğusu Aktif Tektonik Özellikleri (Doğu Anadolu, Türkiye). *ATAG-7 Makaleler Kitabı*, 54-60.
- Parlak, O., Delaloye, M., Kozlu, H., Höck, V., Çelik, Ö.F., 2000. Geochemistry and tectonic setting of the Yüksekova ophiolite from the South-East Anatolian Orogenic Belt. *International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region (IESCA-2000)*, 25-29 Eylül, s. 240.
- Parlak, O., Delaloye, M., Kozlu, H., Höck, V., Çelik, Ö.F., 2001. Examination of an oceanic crust generation in island arc tectonic setting: evidence from the Yüksekova ophiolite. *4th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology*, 21-25 Mayıs 2001, Isparta Turkey, s. 62.
- REDPUMA, 2003. İsviçre Sismoloji Merkezi web sayfası, http://seismo.ethz.ch/moment_tensor, Swiss Seismological Service in Zurich, Switzerland.
- Rodriguez-Pascua, M. A., Calvo, J. P., De Vicente, G., Gómez-Gras, D., 2000. Soft sediment deformation structures interpreted as seismites in

- lacustrine sediments of the Prebetic Zone, SE Spain, and their potential use as indicators of earthquake magnitudes during the Late Miocene. *Sedimentary Geology*, 135, 117-135.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D., Altınok, Y., 1981. Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu (2100 B.C.–1900 A.D.). TÜBİTAK raporu, No. TBAG-341.
- Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., 1986. Doğu Anadolu'da Neotektonik Dönemdeki Jeolojik Evrim ve Havza Modelleri. MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Şengör A. M. C., Kidd W. S. F., 1979. Post-collisional Tectonics of the Turkish Iranian Plateau and a Comparison with Tibet. *Tectonophysics*, 55, 361-376.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1983. Türkiye'de Tetis'in Evrimi: Levha Tektoniği Açısından bir Yaklaşım. Türkiye Jeoloji Kurumu Yerbilimleri Özel Dizisi, no. 1, İstanbul.
- Tan, O., Tapırdamaz, M.C., Yörük, A., 2008. The Earthquakes Catalogues for Turkey. *Turkish Journal of Earth Science*, 17, 405–418.
- Ternek, Z., 1953. Van Gölü Güneydoğu Bölgesinin Jeolojisi. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 4. (2), 1-27.
- TUBİTAK, 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.
- Ustaömer, P. A., Ustaömer, T., Collins, A.S., Robertson, A. H. F., 2009. Cadomian (Ediacaran–Cambrian) arc magmatism in the Bitlis Massif, SE Turkey: Magmatism along the developing northern margin of Gondwana. *Tectonophysics*, 473, 99-112.
- Üner, S., 2003. Van Gölü Dogusu (Beyüzümü – Göllü Dolayı), Pliyo – Kuvaterner Yaslı Karasal Çökellerin Sedimantolojisi (yüksek lisans tezi, basılmamış). Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van. 78.
- Üner, S., Yeşilova, Ç., Yakupoğlu, T., Üner, T. 2010. Pekışmemiş sedimanlarda depremlerle oluşan deformasyon yapıları (sismitler): Van Gölü Havzası, Doğu Anadolu. *Yerbilimleri*, 31, 53–66.
- Yılmaz, Y., Dilek, Y., Işık, H., 1981. Gevaş (Van) Ofiyolitinin Jeolojisi ve Sinkinematik bir Makaslama Zonu. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 24, 37-44.
- Yılmaz Y., Şaroğlu F., Güner Y., 1987. Initiation of the Neomagmatism in East Anatolia. *Tectonophysics*, 134, 177-199.
- Yılmaz, Y., 1990. Comparison of Young Volcanic Associations of Western and Eastern Anatolia Formed Under a Compressional Regime: a Review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, 69-87.
- Yılmaz, Y., Yiğitbaş, E., Genç, Ş.C., 1993. Ophiolitic and Metamorphic Assemblages of Southeast Anatolia and Their Significance in the Geological Evolution of the Orogenic Belt. *Tectonics*, 12 (5), 1280-1297.
- Yılmaz, Y., Güner, Y., Şaroğlu, F., 1998. Geology of the Quaternary Volcanic Centres of the East Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 85, 173-210.

Özkaymak, Sözbilir, Bozkurt, Dirik, Topal, Alan ve ađlan