



Pekişmemiş sedimanlarda depremlerle oluşan deformasyon yapıları (sismitler): Van Gölü Havzası, Doğu Anadolu

*Earthquake induced soft sediment deformation structures (seismites):
Van Gölü Basin, Eastern Anatolia*

Serkan ÜNER¹, Çetin YEŞİLOVA², Türker YAKUPOĞLU², Tijen ÜNER¹

¹Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06800 Beytepe, ANKARA

²Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Zeve Kampüsü, VAN

Geliş (received) : 26 Mayıs (May) 2009

Kabul (accepted) : 16 Şubat (February) 2010

ÖZ

Doğu Anadolu Platosu'nda yer alan havzalardan biri olan Van Gölü Havzası, sınırları içerisinde dünyanın en büyük soda gölü olan Van Gölü'nü bulundurmaktadır. Bu havza, Geç Pliyosen'de oluşmuş ve Kuvaterner'de etkili olan volkanizma ile son şeklini almıştır. Van Gölü Havzası'nda Kuvaterner yaşlı kumlu-siltli gölsel çökellerde çeşitli deformasyon yapıları bulunmaktadır. Pekişmemiş sedimanlarda sıvılaşma ya da akışkanlaşma sonucu oluşan bu deformasyon yapıları; bükümlü yapılar (basit-karma bükümlü yapılar ve top-yastık yapıları), su kaçış yapıları (tabak ve sütun yapıları) ve yük yapıları (alev yapısı) olmak üzere üç gruba ayrılır. Deformasyon yapıları üst basınç, fırtına kökenli dalgalar, yeraltısuyu seviyesindeki ani değişimler ve sismik sarsıntılarla oluşabilmektedir. Arazi gözlemleri, bölgesel tektonik ve sedimentolojik veriler ile konuyla ilgili önceki çalışmalar değerlendirildiğinde, bu deformasyon yapılarının sismik sarsıntılarla oluştuğu ve sismit olarak adlandırılabilceği sonucuna varılmıştır. Van Gölü Havzası'nda gölsel çökellerde farklı seviyelerde sismitlerin yaygın olarak gözleniyor olması, bölgenin Kuvaterner'de aktif bir tektonizmaya sahip olduğunu göstermesinin yanı sıra, bölgede 5 ve üzeri büyüklüklerde depremlerin sıklıkla meydana geldiğinin bir göstergesidir.

Anahtar Kelimeler: Aktif tektonizma, Doğu Anadolu, Kuvaterner, sismit, Van Gölü Havzası.

ABSTRACT

The Van Gölü Basin is one of the basins located on the Eastern Anatolia Plateau and it includes Van Gölü, which is the largest sodic lake in the world, within its boundaries. The basin was formed in the Late Pliocene and attained its final shape with Quaternary volcanic activity. Deformation structures are found in Quaternary aged sandy and silty lacustrine sediments in the Van Gölü Basin. These soft sediment deformation structures formed by liquefaction or fluidization of the unconsolidated sediments are classified in three groups, being those of contorted structures (simple and complex convolute bedding and ball-pillow structures), water escape structures (dish and pillar structures), and load structures (flame structures). Deformation structures may occur by overpressure, waves that originated in storms, sudden changes in groundwater movements and seismic shaking. Based on the field observations, regional tectonic and sedimentological data and previous studies, it is concluded that these deformation structures have been developed and may be called seismites. The existence of seismites in different levels of lacustrine sediments in the Van Gölü Basin is an indicator of a Quaternary tectonic activity in the region as well as an indicator of frequent occurrences of earthquakes with magnitudes of 5 or greater.

Key words: Active tectonism, Eastern Anatolia, Quaternary, seismite, Van Gölü Basin.

S. Üner

E-posta: suner@hacettepe.edu.tr

GİRİŞ

Deformasyon yapıları, suya doygun ve pekişmemiş kohezyonsuz sedimanlarda depolanma sırasında ya da sonrasında (Owen, 1996) sıvılaşma veya akışkanlaşma ile oluşmaktadır (Lowe, 1975). Bu yapılar genellikle, ince çakıllı, kumlu ve siltli sedimanlarda, üst basınç, fırtına kökenli dalgaların etkisi, ani yeraltı su seviyesi değişimleri, yoğunluk akıntıları ya da deprem kökenli sarsıntılarla oluşabilmektedir (Allen, 1982; Owen, 1987, 1996; Molina vd., 1998).

Deprem kaynaklı sarsıntılarla oluşan her türlü yapı sismik olarak tanımlanmaktadır (Seilacher, 1969). Birçok çökme ortamında olduğu gibi, sismiklere görsel çökelerde de sıklıkla rastlanmaktadır (Sims, 1975; Hempton vd., 1983; Seilacher, 1984; Davenport ve Ringrose, 1987; Ringrose, 1989; Mohindra ve Bagati, 1996; Alfaro vd., 1997; Calvo vd., 1998; Rodriguez Pascua vd., 2000; Bowman vd., 2004; Neuwerth vd., 2006; Moretti ve Sabato, 2007). $M \geq 5$ büyüklüğündeki sismik sarsıntılarla oluşabilen sismikler (Fukuoka, 1971; Kuribayashi ve Tatsuoka, 1975; Atkinson, 1984; Ambraseys, 1988), bir bölgedeki sismik aktivitenin yerinin ve sıklığının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Sims, 1975; Weaver, 1976; Hempton vd., 1983; Talwani ve Cox, 1985; Scott ve Price, 1988; Ringrose, 1989).

Bu çalışmada; Van Gölü Havzası'ndaki görsel çökelerde gözlenen ve boyutları birkaç santimetreden birkaç metreye kadar değişebilen deformasyon yapılarının tanımlanması, oluşum mekanizmalarının yorumlanması ve bu yapıların bölgesel tektonikteki öneminin tartışılması amaçlanmıştır.

YÖNTEM

Van Gölü'ne ait görsel çökelerdeki deformasyon yapılarının bulunduğu lokasyonlar belirlenmiş, yapıların bulunduğu birimlerin yaşlarının denetlenmesi amacıyla mevcut jeoloji haritaları incelenmiştir. Yapıların gözlemlendiği istiflerden ölçümlü sedimantolojik kesitler hazırlanmış, doku, tane boyu, tane şekli, fosil içeriği, sedimanter yapılar ve tabaka kalınlıklarının belirlendiği fa-siyes analizleri yapılmış, yapıların bulunduğu

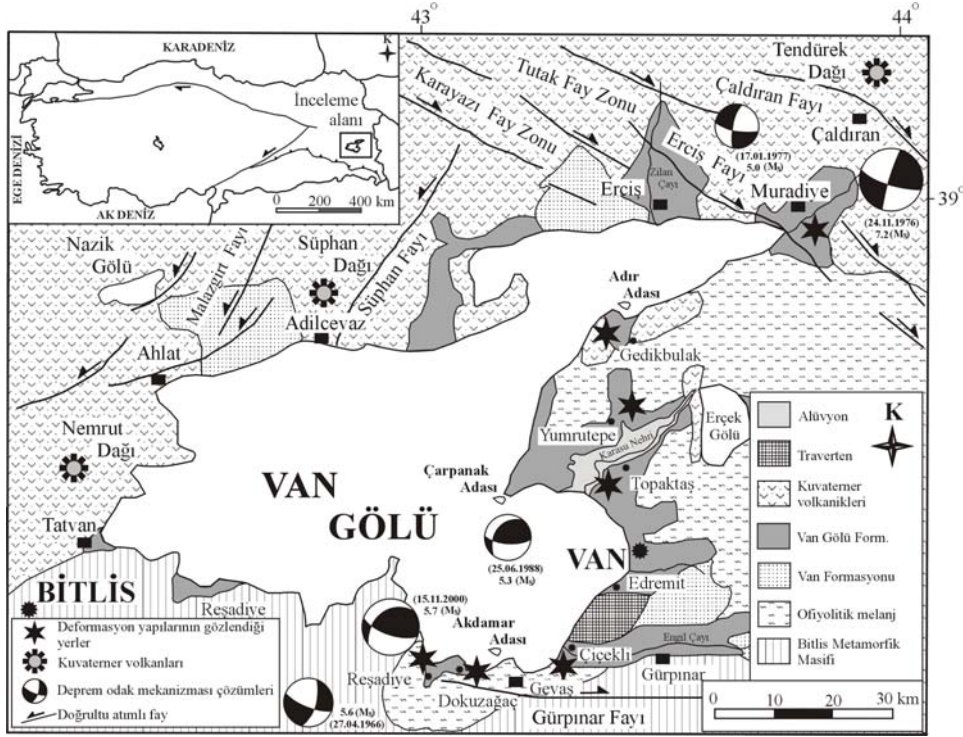
seviyelerin çökme alt ortamları belirlenmiştir. Sonraki aşamada, deformasyon yapılarının boyutları ve geometrileri (şekil, simetri, derinlik) ölçülmüş, yapıların bulunduğu katmanların yanal devamlılıkları takip edilmiştir. Bu katmanlardan alınan örneklerden elek analizi yapılmış ve bu birimlerin sıvılaşma potansiyeli belirlenmiştir. Son olarak, Van Gölü Havzası ve yakın çevresinde bulunan aktif tektonik hatlar araştırılmış, bölgedeki $M \geq 5$ büyüklüğündeki depremlere ait tarihsel ve aletsel dönem kayıtları incelenmiştir. Elde edilen tüm veriler konu ile ilgili yapılan çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

VAN GÖLÜ HAVZASI

Van Gölü Havzası, Avrasya ve Arap plakaları arasında Geç Miyosen'de gerçekleşen çarpışmanın ürünü olan Doğu Anadolu Platosu'nda bulunmaktadır (Şengör ve Kidd, 1979; Şengör ve Yılmaz, 1981; Keskin vd., 1998). Geç Pliyosen'de oluşan havza (Şaroğlu ve Yılmaz, 1986), Bitlis Metamorfikleri, Üst Kretase ofiyolitleri ve Tersiyer yaşlı derin denizel çökellerden (Van Formasyonu) oluşan bir temel üzerinde bulunmaktadır (Şekil 1). Havzada temel kayalar üzerine, havza batısında ve kuzeyinde yer alan Nemrut ve Süphan volkanlarına ait Kuvaterner yaşlı volkanikler ve bunlarla eş yaşlı görsel çökeller (Van Gölü Formasyonu) uyumsuz olarak gelmektedir. Havza çökme dolgusu Geç Kuvaterner yaşlı travertenler ve pekişmemiş güncel akarsu sedimanlarıyla sona ermektedir (Şekil 2).

Van Gölü, 607 km³lük hacmi ve en fazla 451 m derinliği ile dünyanın en büyük soda gölüdür (Kempe vd., 1978). Van Gölü'nün oluşumu ve yaşı ile ilgili yapılan ilk çalışmalarda, gölün günümüzden 100.000 yıl kadar önce Nemrut Volkanı'ndan çıkan lavların akarsu sisteminin önünü tıkamasıyla oluştuğu (Blumenthal vd., 1964; Wong ve Finckh, 1978) ve Nemrut Volkanı'nın mağma odasındaki çökmeye bağlı olarak derinleştiği vurgulanmaktadır (Degens vd., 1984). Bölgede yapılan güncel bir çalışmada ise (Litt vd., 2009), gölün günümüzden en az 500.000 yıl önce oluştuğu görüşü savunulmaktadır.

Doğu Anadolu Platosu ve Van Gölü Havzası'nda yeni tektonik periyot Pliyo-Kuvaterner yaşlıdır



Şekil 1. Çalışma alanındaki aktif fayları, deprem odak mekanizması çözümlerini ve deformasyon yapılarının gözlemlendiği yerleri gösterir yalınlaştırılmış jeoloji haritası (Kurtman vd., 1978; Bozkurt, 2001; Koçyiğit vd., 2001; Utkucu, 2006'dan değiştirilmiştir).

Figure 1. Simplified geological map showing the active faults, earthquake focal mechanisms and locations of deformation structures observed in the study area (Modified from Kurtman et al., 1978; Bozkurt, 2001; Koçyiğit et al., 2001; Utkucu, 2006).

Devir	Devre	Formasyon	Litoloji	Açıklama
Kuvaterner	Holosen	Alüvyon		Güncel akarsu çökelleri
		Traverten		Göl ortamında oluşmuş travertenler
	Pleystosen	Volkanitler + Van Gölü Formasyonu		A- Nemrut ve Süphan volkanlarına alt bazaltik, dasitik ve andezitik kayalar B- Tüf arakatıklı, zayıf pekişmiş kum-silt-kil ardalannası (sismitlerin gözlemlendiği çökeller) C- Zayıf pekişmiş çakıltı ve kumtaşından oluşan akarsu çökelleri ile marn-kumtaş ardalannasından oluşan gösel çökeller
Tersiyer	Pliyosen			
	Eosen-Miyosen	Van Formasyonu		Kumtaş-çamurtaş ardalannası ve yer yer çakılı seviyelerden oluşan türbidit çökelleri
Kretase				
		Ofiyolitik melanj		Serpantin, radyolarit, gablo ve kireçtaşı blokları
		Bitlis Metamorfik Masifi		Mikaşist - mermer Ötekizir

Şekil 2. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti (Aksoy, 1988; Acarlar vd., 1991'den).

Figure 2. Generalized stratigraphic columnar section of the study area (from Aksoy, 1988; Acarlar et al., 1991).

(Koçyiğit vd., 2001). Kuzey-güney doğrultulu sıkışmaya bağlı olarak oluşan bu rejim; KB-GD doğrultulu sağ yönlü ve KD-GB doğrultulu sol yönlü doğrultu atımlı faylarla temsil edilir (Şaroğlu ve Yılmaz, 1986; Bozkurt, 2001; Koçyiğit vd., 2001) (bkz. Şekil 1). Aktif bir tektonizmaya sahip olan bu bölgede tarihsel ve aletsel dönemde büyüklüğü 5'ten fazla olan birçok deprem kaydedilmiştir (Çizelge 1). Bunların en iyi bilineni 1976'da Çaldıran'da meydana gelen 7.2 (M_s) büyüklüğündeki depremdir.

Yaygın olarak Van Gölü'nün doğusunda, sınırlı olarak da güneyinde ve kuzeyinde yer alan ve günümüzden 18.000 yıl önce Van Gölü'ndeki su seviyesinin bugünkü seviyesinden 72 m daha yüksek olduğu dönemde (Şekil 3) oluşan gösel çökellerde (Degens vd., 1978; Valetton, 1978) gözlenen deformasyon yapıları aşağıdaki bölümde tanımlanmıştır.

Çizelge 1. Çalışma alanında meydana gelmiş 5 ve üzeri büyüklüklerdeki depremlere ait kayıtlar (Utkucu, 2006; KOERI, 2009).

Table 1. Earthquake records with magnitude 5 and higher occurred in the study area (Utkucu, 2006; KOERI, 2009).

Tarih	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Büyüklük	Tarih	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Büyüklük
851	40.00	44.60	-	5.2	1941	39.45	43.32	20	5.9
856	40.00	44.60	-	5.3	1945	38.41	43.76	60	5.2
858	40.00	44.60	-	5.2	1945	38.00	43.00	30	5.2
1840	39.70	44.40	-	6.8	1945	38.63	43.33	10	5.4
1857	38.40	42.10	-	6.7	1966	38.14	42.52	28	5.2
1869	38.40	42.10	-	5.0	1966	38.10	42.50	50	5.0
1871	38.50	43.40	-	5.5	1968	38.15	42.85	53	5.0
1881	38.50	43.30	-	5.0	1972	38.23	43.86	46	5.0
1884	38.40	42.10	-	6.1	1976	38.61	43.20	56	5.2
1891	39.15	42.50	-	5.5	1976	39.17	43.95	33	7.2
1894	38.50	43.30	-	5.0	1976	39.09	43.71	49	5.2
1900	38.50	43.30	-	5.0	1976	39.18	43.71	46	5.2
1902	39.00	43.30	-	5.0	1976	39.31	43.66	53	5.2
1903	39.10	42.50	30	6.2	1977	39.35	43.48	24	5.0
1907	39.10	42.50	30	5.2	1977	39.29	43.62	46	5.2
1907	39.10	42.50	30	5.4	1977	39.27	43.70	39	5.3
1908	38.00	44.00	30	6.0	1977	39.13	43.90	34	5.0
1913	38.38	42.23	10	5.5	1977	39.31	43.53	38	5.2
1915	38.80	42.50	30	5.7	1979	39.12	43.91	44	5.2
1924	38.00	43.00	30	5.2	1988	38.50	43.07	49	5.6
1929	38.00	42.00	30	5.2	2000	38.41	42.95	48	5.5



Şekil 3. Van Gölü'nün 18000 yıl önceki kıyı çizgisini gösteren kabartı haritası (Üner, 2003).

Figure 3. Relief map showing the shore line of the Lake Van before 18000 years (Üner, 2003).

DEFORMASYON YAPILARI (SİSMİTLER)

Van Gölü'nün doğusunda ve güneyinde yayılım gösteren ve 2 cm ile 1.5 m arasında değişen tabaka kalınlıklarına sahip, yatay konumlu, ince çakıl, kum, silt ve kil tane boyutundaki, pekişmemiş sedimanlardan oluşan gösel çökellerde çeşitli deformasyon yapıları bulunmaktadır. Bu yapılar; genel olarak çapraz katmanların, dalga ripillerinin ve ince çakıl merceklerinin yer aldığı sıgı su koşullarında depolanmış gösel sedimanlar içerisinde farklı seviyelerde gözlenmektedir (Şekil 4).

Pekişmemiş sedimanlarda gözlenen deformasyon yapıları, yapının morfolojisine ya da oluşum süreçlerine bağlı olarak çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir (Rossetti, 1999; Dramis ve Blumetti, 2005; Neuwerth vd., 2006; Taşgın ve Türkmen, 2009). Bu çalışmada, Van Gölü Havzası'nda, gösel çökellerde gözlenen deformasyon yapıları; büklümlü yapılar, su kaçış yapıları ve yük yapıları olarak üç gruba ayrılmıştır (Çizelge 2).

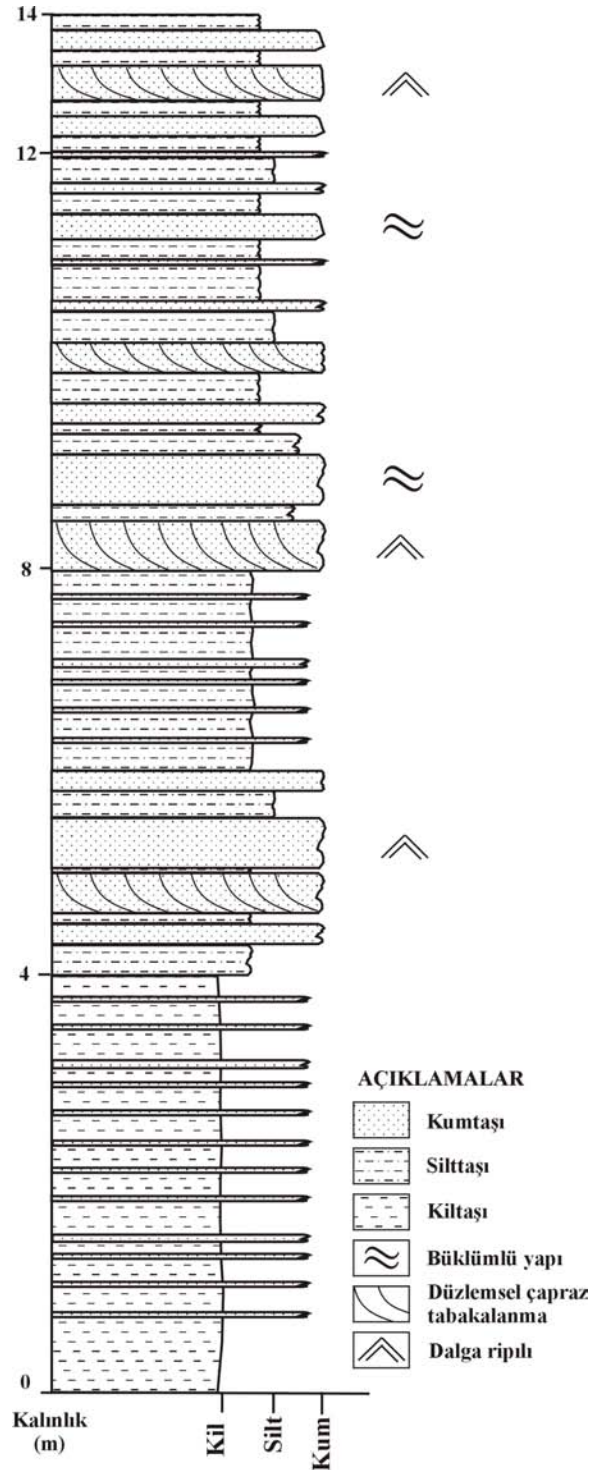
Büklümlü Yapılar

Havzada gösel çökeller içerisinde iki tür büklümlü yapı bulunmaktadır. Bunlar basit ve karma büklümlü yapılar ile top ve yastık yapılarıdır.

Basit ve karma büklümlü yapılar

Van Gölü gösel çökellerinde (Çiçekli köyü ve Muradiye ilçesi güneyi) iri kum (1 - 0.5 mm), ince kum (0.25 - 0.125 mm) ve silt tane boyuna (0.06 - 0.004 mm) sahip malzemeden oluşan birimlerde birbirine girik halde küçük antiklinaller ya da senklinaller şeklinde gözlenen büklümlü yapılar, ortalama 10-30 cm yüksekliğe sahiptirler. Basit ve karma olmak üzere iki tür büklümlü tabakalanmanın da gözlenebildiği Van Gölü güneydoğusunda yer alan Çiçekli köyü civarında (bkz. Şekil 2), genişliği 40 cm'ye ve yüksekliği 15 cm'ye ulaşan basit büklümlü yapılar ile (Şekil 5a), genişliği 130 cm'ye ve yüksekliği 70 cm'ye ulaşan karma büklümlü yapılarla (Şekil 5b) sıkça rastlanmaktadır.

Dış geometrisinden bağımsız, karmaşık bir iç laminelemeye sahip olan karma büklümlü yapı-



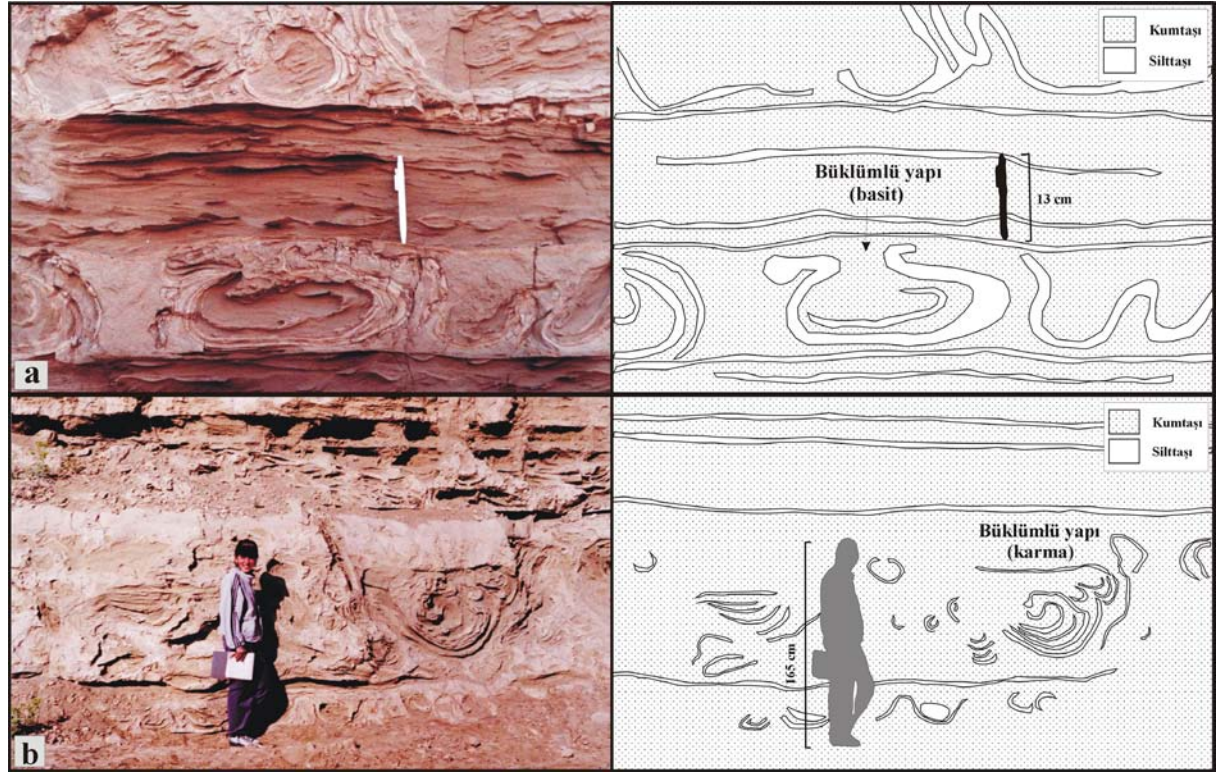
Şekil 4. Topaktaş köyü batısında ölçülen 14 metre kalınlığındaki gösel istifte gözlenen deformasyon yapılarının bulunduğu seviyeler (Kesit yeri için Şekil 1'e bakınız).

Figure 4. Levels of deformation structures observed in 14 meters thick lacustrine deposits measured at the west of Topaktaş village (See Figure 1 for location of cross-section).

Çizelge 2. Van Gölü Havzası gösel çökellerinde gözlenen deformasyon yapıları.

Table 2. Deformation structures observed in lacustrine deposits of the Van Gölü Basin.

Deformasyon yapıları		
Büklümlü yapılar:	Su kaçış yapıları:	Yük yapıları:
* Basit ve karma büklümlü yapılar	* Tabak ve sütun yapıları	* Alev yapısı
* Top ve yastık yapıları		



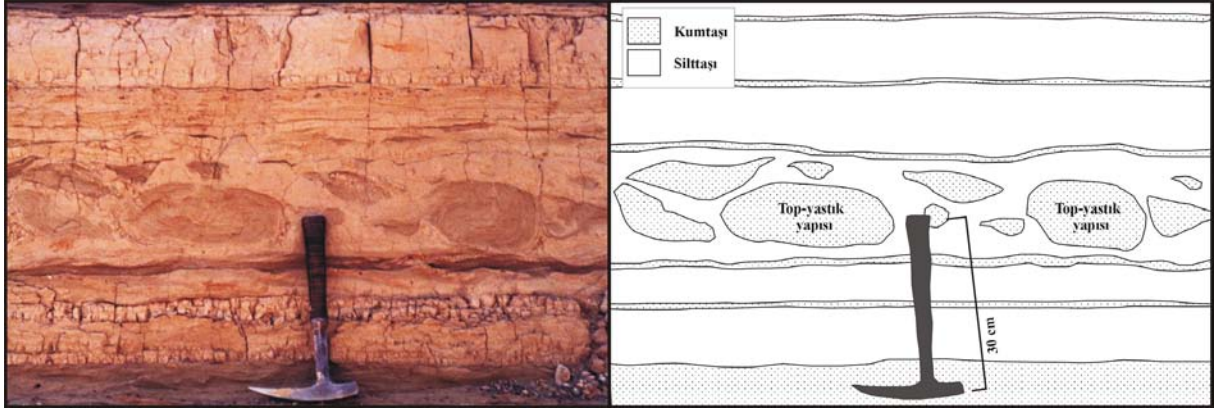
Şekil 5. Çiçekli köyü doğusunda gözlenen (a) 40 cm genişliğe ve 15 cm yüksekliğe sahip basit büklümlü tabakalanma, (b) 130 cm genişliğe ve 70 cm yüksekliğe sahip karma büklümlü tabakalanma (UTM: 0341⁷⁷⁰ D / 4243⁹⁹² K).

Figure 5. (a) Simple convolute bedding with 40 cm width and 15 cm height, (b) complex convolute bedding with 130 cm width and 70 cm height observed at the east of Çiçekli village (UTM: 0341⁷⁷⁰ E / 4243⁹⁹² N).

larda; en dışta yer alan büyük tekne ile içte gözlenen dairesel ya da yarı daire şekilli yapılar, sıvılaşmaya bağlı plastik deformasyonla oluşmaktadır. Üst basınç, sismik şoklar ya da fırtına kökenli dalgalarla oluşabilen büklümlü yapıların üzerinde ve altında deforme olmamış tabakaların bulunması, bu yapıların oluşumunda sismik köken düşüncesini desteklemektedir (Cogan ve Thiry, 1992; Bhattacharya ve Bandyopadhyay, 1998). Ayrıca büklümlü yapıların orta kısmında birden fazla kıvrım bulunması, bu katmanın birkaç kez deprem etkisi altında kaldığının göstergesidir (Bhattacharya ve Bandyopadhyay, 1998).

Top ve yastık yapıları

Van Gölü'nün doğusundaki, Topaktaş köyü civarında (bkz. Şekil 2) gözlenen bu yapılar; silt tane boyutundaki (0.06 - 0.004 mm) malzeme içerisindeki ince kum (0.25 - 0.125 mm) tane boyuna sahip küresel ya da yarı küre şekilli kütlelerden oluşmaktadır (Şekil 6). İçsel laminalanma gösteren bu yapılar 26 cm genişliğe ve 12 cm yüksekliğe kadar ulaşabilmektedir. Bazı top yapıları, üzerinde buldukları tabakayla veya birbirleriyle bağlantılı, bazıları ise izole şekildedir. Yapıların çevresi 0.5-1 cm kalınlıkta silt tane boyutunda malzemeden oluşan bir zarfla



Şekil 6. Topaktaş köyü batısında siltli-kumlu gösel çökellerde gözlenen top ve yastık yapıları (UTM: 0347⁴⁰⁴ D / 4274¹⁴⁰ K).

Figure 6. Ball and pillow structures observed in silty and sandy lacustrine deposits at the west of Topaktaş village (UTM: 0347⁴⁰⁴ E / 4274¹⁴⁰ N).

kaplıdır. Havzada gözlenen top ve yastık yapılarına benzer yapılara önceki çalışmalarda sıklıkla rastlanmaktadır (Hempton vd., 1983; Allen, 1986; Rossetti, 1999). Top ve yastık yapıları, sismik sarsıntılar nedeniyle kısmi sıvılaşma sonucunda pekişmemiş kum tane boyutunda sedimanların kaynaşmasıyla oluşabilmektedir (Montenat vd., 1987; Ringrose, 1989; Cojan ve Thiry, 1992; Rodriguez-Pascua vd., 2000).

Su Kaçış Yapıları

Bunlar pekişmemiş sedimanların boşluklarında bulunan suyun yukarı hareketine bağlı olarak gelişen yapılardır. Havzada bu şekilde oluşan tabak ve sütun yapılarına rastlanmaktadır.

Tabak ve sütun yapıları

Van Gölü çevresindeki gösel çökellerde (Çiçekli, Amik ve Reşadiye köyleri), genel olarak iri kum (1 - 0.5 mm), ince kum (0.25 - 0.125 mm), ender olarak da silt tane boyutuna (0.06 - 0.004 mm) sahip birimlerde tabak ve sütun yapıları sıkça gözlenmektedir. Pekişmemiş sedimanlar arasındaki suyun, sediman yükü sebebiyle üst basınç ya da sismik sarsıntı kökenli şok dalgaları etkisiyle yukarıya doğru hareketi sırasında kıvrılma ile oluşan tabak şekilli yapılar ve bunları birbirinden ayıran sütunlardan oluşmaktadır (Şekil 7a). Çeşitli boyutlarda gözlenebilen bu yapılar; Van Gölü güneydoğusundaki, Çiçekli köyü civarında (bkz. Şekil 2) 1 m genişliğe ve 0.5 m yüksekliğe kadar ulaşmaktadır (Şekil 7b). Suyun

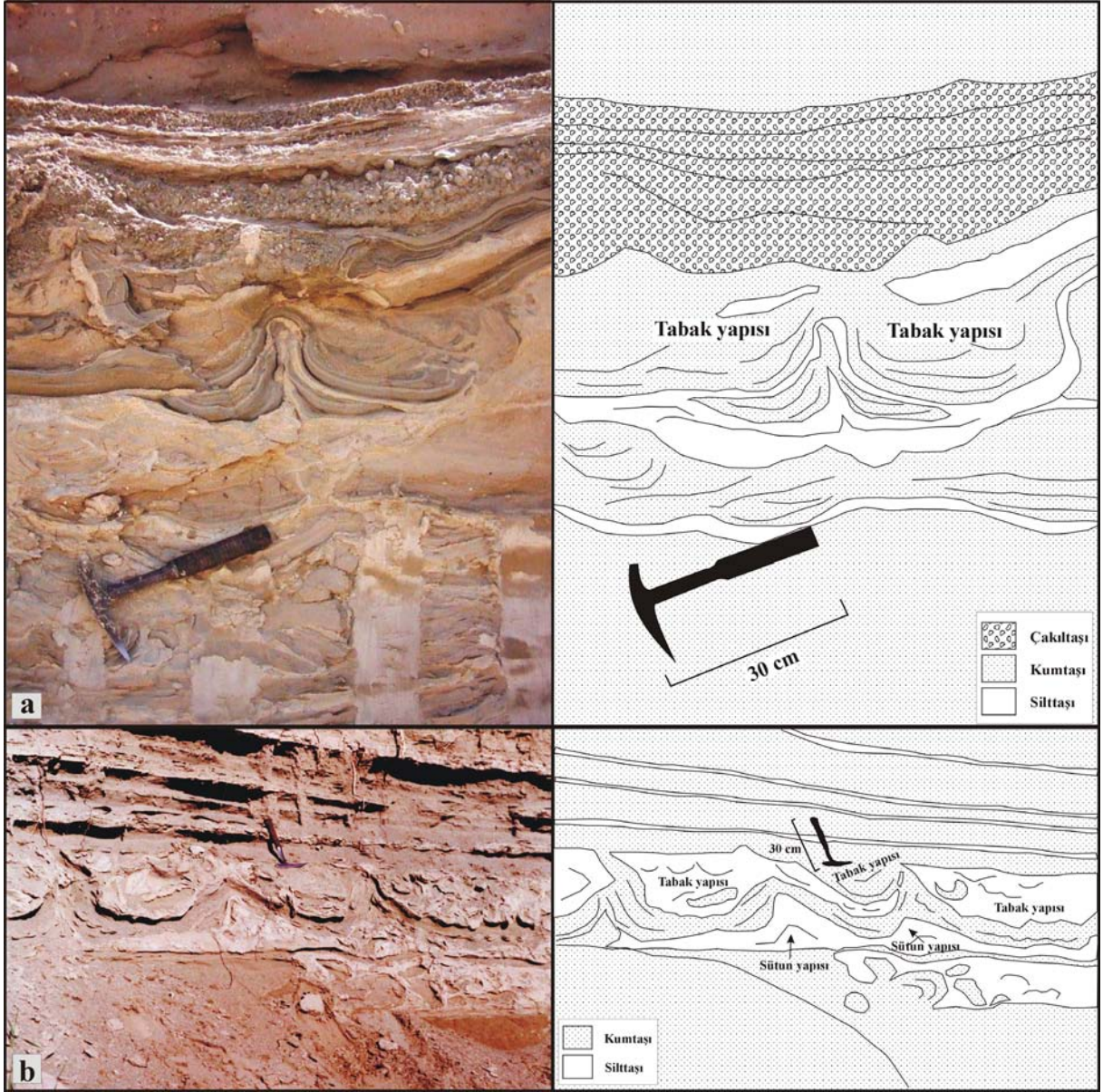
hareket hızına, başka bir deyişle suyu hareket geçiren basınç etkisine ve pekişme derecesine bağlı olarak, tabak yapılarının şekli değişebilmektedir. Havzada gözlenen tabak ve sütun yapıları önceki çalışmalarda (Lowe ve LePiccolo 1974; Lowe 1975; Neuwerth vd., 2006) tanımlanan yapılarla benzerlik göstermektedir. Bazı araştırmacılar (Plaziat ve Ahmamous, 1998; Moretti vd., 1999), bu yapıların sismik sarsıntılarla oluşabildiğini öne sürmektedir.

Yük Yapıları

Pekişmemiş sedimanlar üzerine etkiyen yük dengesinin heyelan, kaya düşmesi ya da depremler sonucunda artmasına bağlı olarak oluşan yapılardır. Gösel çökeller içerisinde yük izleri, yalancı yumrular ve alev biçimli yapılar şeklinde görülebilen bu deformasyon yapılarından havzada yalnız alev yapılarına rastlanmıştır.

Alev yapısı

Van Gölü'nün güneyinde ve doğusunda, Dokuzağaç ve Yumrutepe köylerinde (bkz. Şekil 2) gözlenen alev yapıları, ince kum (0.25 - 0.125 mm) ve silt tane boyutuna (0.06 - 0.004 mm) sahip birimlerde gözlenmektedir. Alt kısımdaki silt tane boyutundaki sedimanların ince kum boyutu sedimanlar içerisinde yukarıya doğru hareketi ile oluşan alev yapılarına ait santimetre-desimetre boyutlarında örnekler havzada bulunmaktadır (Şekil 8). Genel olarak üst basınç etkisi ile oluşan alev yapıları, deprem kökenli



Şekil 7. (a) Sedimanlar arasındaki boşluk suyunun hareketi ile oluşan tabak ve sütun yapıları (Amik köyü doğusu, UTM: 0361⁴¹⁶ D / 4297²¹³ K), (b) Çiçekli köyü doğusunda gözlenen 1 m genişliğe ve 0.5 m yüksekliğe sahip tabak ve sütun yapıları (UTM: 0341⁷⁶¹ D / 4244³⁹¹ K).

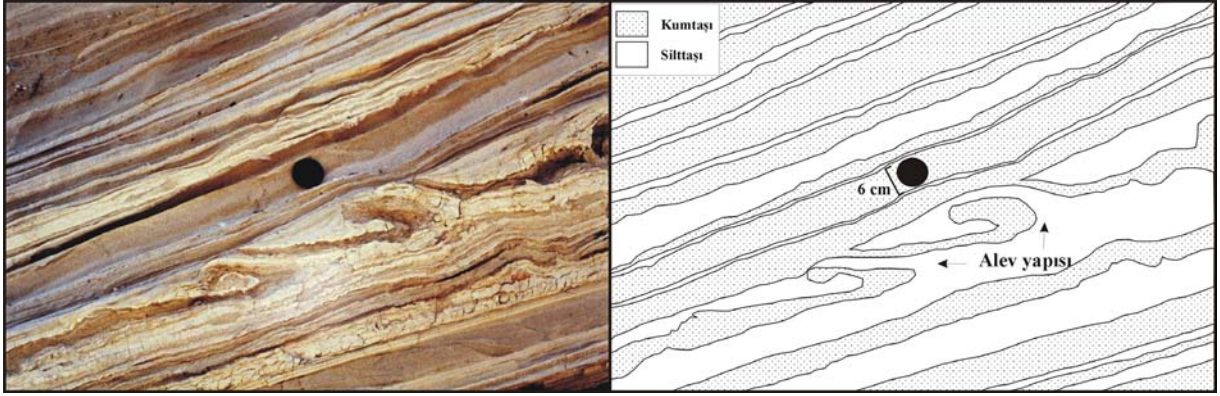
Şekil 7. (a) Dish and pillar structures occurred by the movement of pore water in sediments (east of Amik village, UTM: 0361⁴¹⁶ E / 4297²¹³ N), (b) Dish and pillar structures with 1 m width and 0.5 m height observed at the east of Çiçekli village (UTM: 0341⁷⁶¹ E / 4244³⁹¹ N).

sarsıntılarla da oluşabilmektedir (Visser ve Cunningham, 1981; Dasgupta, 1998).

TETİKLEME MEKANİZMASI

Pekişmemiş sedimanlardaki deformasyon yapılarının en bilinen oluşum şekilleri; üst basınç yaratan sediman yükü (Lowe ve LoPiccolo, 1974; Lowe, 1975), fırtına etkisi (Molina vd., 1998; Al-

faro vd., 2002) ve sismik sarsıntılardır (Seilacher, 1969; Lowe, 1975; Sims, 1975; Rossetti, 1999; Vanneste vd., 1999; Jones ve Omoto, 2000; Rodriguez-Pascua vd., 2000; Bowman vd., 2004). Van Gölü'ne ait gölsel çökellerde gözlenen deformasyon yapıları yukarıda belirtilen tetikleme mekanizmaları açısından değerlendirilmiştir. Üst basınç yaratan sediman yükü ya da fırtına kökenli dalgaların etkisini gösteren



Şekil 8. Yumrutepe köyü doğusunda gözlenen alev yapıları (UTM: 0352⁹³⁹ D / 4282⁰⁸⁹ K).

Figure 8. Flame structures observed at the east of Yumrutepe village (UTM: 0352⁹³⁹ E / 4282⁰⁸⁹ N).

herhangi bir veriye rastlanmamıştır. Bir diğer teklileme mekanizması olan sismik sarsıntıların bu yapıları oluşturma olasılığı ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

Sismik şok dalgaları sebebiyle sedimanlar arasındaki boşluk suyu basıncında meydana gelen değişimler, istif içerisinde geçirimsiz katmanların yer alması ya da tane boyu düzensizliği gibi faktörler pekişmemiş sedimanlarda deformasyon yapılarının oluşumunda önemli rol oynar. Van Gölü Havzası'nda görsel çökellerde gözlenen deformasyon yapıları tane boyu açısından değerlendirildiğinde, birimler sıvılaşma alt ve üst sınırları (Port and Harbour Research Institute of Japan, 1997) içerisinde kalmaktadır (Şekil 9). Deforme olmamış birbirine paralel katmanlar arasında gözlenen bu yapılara farklı seviyelerde yaygın olarak rastlanmaktadır (Şekil 10). Van Gölü Havzası'nda bulunan yapıların üzerinde yer alan tabakalarda herhangi bir deformasyon gözlenmemektedir. Bu durum yapıları oluşturan sismik etki sırasında, yapının bulunduğu katmanın istifte en üstte bulunan (en son depolanan) katman olabileceği şeklinde yorumlanabilir. Bu deformasyon yapıları şekli, boyutları, geometrisi, sedimantolojik ve jeoteknik özellikleri bakımından literatürde sismik olarak tanımlanan yapılarla büyük benzerlik göstermektedir (Sims, 1975; Rossetti, 1999; Vanneste vd., 1999; Jones ve Omoto, 2000; Bowman vd., 2004).

Van Gölü Havzası görsel çökellerindeki deformasyon yapılarının, sismik olarak değerlendirilebilmesi için gereken ölçütlerin (Sims, 1975; Obermeier, 1998; Rossetti, 1999) tamamının

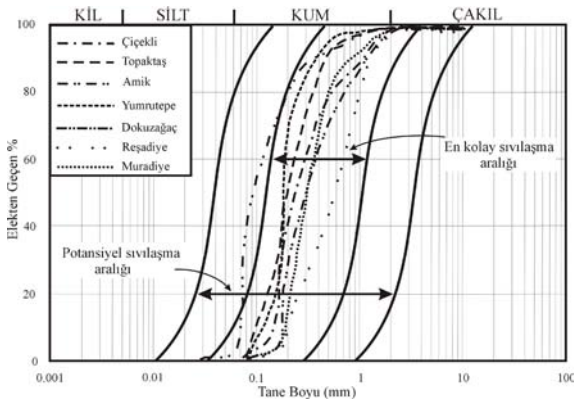
sağlanması, bölgenin aktif bir depremselliğe sahip olması ve arazi çalışmaları sırasında deformasyon yapılarının oluşumuna sebep olabilecek diğer mekanizmalara ait herhangi bir veriye rastlanmaması, bu yapıların sismik sarsıntılarla oluştuğu düşüncesini beraberinde getirmektedir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada; Van Gölü Havzası'nda yüzeyleyen Kuvaterner yaşlı görsel çökellerdeki deformasyon yapılarının şekilleri, boyutları, konumları, içerisinde yer aldıkları birimlerin fasiyes özellikleri ve çökeltme ortamı karakteristikleri incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda deformasyon yapıları; büklümlü yapılar, su kaçış yapıları ve yük yapıları olmak üzere üç bölüme ayrılmıştır.

Van Gölü Havzası'na ait tarihsel ve aletsel dönem deprem kayıtları, bölgede büyüklüğü $M \geq 5$ olan depremlerin sıklıkla meydana geldiğini göstermektedir (bkz. Çizelge 1). Bu durum, bölgede yüzeyleyen görsel çökellerin oluşumu sırasında da (Geç Kuvaterner) benzer büyüklüklerde depremlerin etkili olduğu şeklinde yorumlanabilir. Deprem kayıtlarına ek olarak, incelenen deformasyon yapılarının arazi verileri ve bölgesel jeolojik ölçütler, yapıların oluşumunda sismik sarsıntılarının önemli rol oynadığını göstermektedir.

Van Gölü Havzası içerisinde Nemrut ve Süphan volkanlarının bulunması, deformasyon yapılarını oluşturan sarsıntılarının volkanik kökenli olup



Şekil 9. Van Gölü Havzası'ndaki sıvılaşmış gölsel çökeltilerden alınan örneklerin tane boyu dağılım eğrileri.

Figure 9. Grain size distribution curves for soil samples from liquefied lacustrine deposits in the Van Gölü Basin.

olmadığının araştırılmasını gerektirir. Volkanik depremler genellikle $M=2-3$ büyüklüğünde sarsıntılar yaratmaktadır (USGS, 2009). Sarsıntılar, kaldera çökmesi gibi özel durumlarda $M>5$ büyüklüğe ulaşabilmektedir. Ancak bu sarsıntılar da volkanik kütleyle en fazla 10 km mesafede bu denli etkili olabilmektedir (McNutt, 2000). Bu durum Van Gölü Havzası'nda gözlenen deformasyon yapılarının oluşumunda volkanik sarsıntıların etkisinin olmadığını göstermektedir.

Deformasyon yapılarının Van Gölü'ne ait gölsel çökel istiflerinde değişik seviyelerde oldukça yaygın olarak görülmesi, Van Gölü Havzası ve yakın çevresinin Geç Kuvaterner'de 5 ve üzeri büyüklüklerde birçok depremin etkisinde kaldığını göstermektedir. Sismitleri oluşturan depremlerin dış merkezleri ile sıvılaşma alanı arasındaki mesafe birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Son çalışmalarda bu yapıların $M=6$ büyüklüğündeki bir depremde dış merkezden en fazla 40 km uzaklıkta, $M=8$ büyüklüğündeki bir depremde ise en fazla 100 km uzaklıkta görülebileceğini belirtilmektedir (Moretti, 2000). Havzada gözlenen deformasyon yapılarının yerleri dikkate alındığında, bu yapıların oluşumunda birden fazla fayın etkili olduğu düşünülebilir.

KATKI BELİRTME

Yazarlar değerli görüş, eleştiri ve katkılarından dolayı Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden Kadir Dirik, Attila Çiner, Re-



Şekil 10. Deformasyona uğramamış paralel katmanlar arasında farklı seviyelerde gözlenen deformasyon yapıları (Dokuzagaç köyü doğusu, UTM: 0327⁵⁶² D / 4240⁸⁵⁸ K).

Figure 10. Deformation structures observed among the undeformed parallel layers at different levels (east of Dokuzagaç village, (UTM: 0327⁵⁶² E / 4240⁸⁵⁸ N).

şat Ulusay, Erman Özsayın ve Alkor Kutluay'a; Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden Hasan Sözbilir'e; İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden Serdar Akyüz'e; Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden Nizamettin Kazancı'ya; Tokai Üniversitesi, Deniz ve Çevre Mühendisliği Bölümü'nden Ömer Aydan'a ve Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden Ali Özvan'a teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR

- Acarlar, M., Bilgin, A.Z., Elibol, E., Erkan, T., Gedik, İ., Güner, E., Hakyemez, Y., Şen, A.M., Uğuz, M.F. ve Umut, M., 1991. Van Gölü doğusu ve kuzeyinin jeolojisi, MTA Rapor No. 9469, Ankara (yayımlanmamış).
- Aksoy, E., 1988. Van ili doğu-kuzeydoğu yöresinin stratigrafisi ve tektoniği. Doktora tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ (yayımlanmamış).
- Alfaro, P., Moretti, M., and Soria, J.M., 1997. Soft-sediment deformation structures induced by earthquakes (sismities) in Pliocene lacustrine deposits (Guadix-Baza Basin, Central Betic Cordillera). *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 90, 531-540.
- Alfaro, P., Delgado, J., Estevez, A., Molina, J.M., Moretti, M., and Soria, J.M., 2002. Li-

- quefaction and fluidization structures in Messinian storm deposits (Bajo Segura Basin, Betic Cordillera, southern Spain). *International Journal Earth Science*, 91, 505–513.
- Allen, J.R.L., 1982. Sedimentary structures: their character and physical basis. *Developments in Sedimentology* 30, Elsevier, Amsterdam.
- Allen, J.R.L., 1986. Earthquake magnitude-frequency, epicentral distance and soft-sediment deformation in sedimentary basins. *Sedimentary Geology*, 46, 67–75.
- Ambraseys, N.N., 1988. Engineering seismology. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 17 (1), 1–105.
- Atkinson, G., 1984. Simple computation of liquefaction probability for seismic hazard applications. *Earthquake Spectra*, 1, 107–123.
- Bhattacharya, H.N., and Bandyopadhyay, S., 1998. Seismites in a Proterozoic tidal succession, Singbhum, Bihar, India. *Sedimentary Geology*, 119, 239–252.
- Blumenthal, M.M., Van der Kaaden, G., and Vlodavetz, V.I., 1964. Catalogue of the active volcanoes of the World including solfatar fields. Part XVII Turkey and the Caucasus. *International Association of Volcanology*, 17, 1–23.
- Bowman, D., Korjenkov, A., and Porat, N., 2004. Late-Pleistocene seismites from Lake Issyk-Kul, The Tien Shan range, Kyrghyztan. *Sedimentary Geology*, 163, 211–228.
- Bozkurt, E., 2001. Neotectonics of Turkey—a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14, 3–30.
- Calvo, J.P., Rodriguez-Pascua, M.A., Martin-Velasquez, S., Jimenez, S., and De Vicente, G., 1998. Microdeformation of lacustrine laminite sequences from Late Miocene formations of SE Spain: an interpretation of loop bedding. *Sedimentology*, 45, 279–292.
- Cojan, I., and Thiry, M., 1992. Seismically-induced deformation structures in Oligocene shallow marine and eolian coastal sands (Paris Basin). *Tectonophysics*, 206, 79–89.
- Dasgupta, P., 1998. Recumbent flame structures in the Lower Gondwana rocks of the Jharia Basin, India—a plausible origin. *Sedimentary Geology*, 119, 253–261.
- Davenport, C.A., and Ringrose, P.S., 1987. Deformation of Scottish Quaternary sediment sequences by strong earthquake motions. In: *Deformation of Sediments and Sedimentary Rocks*, M.E. Jones and R.M.F. Preston (eds.), Geological Society Special Publication, 29, Blackwell, Oxford, pp. 299–314.
- Degens, E. T., Wong, H. K., Kurtman, F., and Finckh, P., 1978. Geological Development of Lake Van: A Summary. In: *The Geology of Lake Van*, E.T. Degens and F. Kurtman (eds.), The Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA), Publication No.169, pp. 134–146.
- Degens, E. T., Wong, H. K., Kempe, S., and Kurtman, F., 1984. A geological study of Lake Van, eastern Turkey. *Geologische Rundschau*, 73-2, 701–734.
- Dramis, F., and Blumetti, A.M., 2005. Some considerations concerning seismic geomorphology and paleoseismology. *Tectonophysics*, 408, 177–191.
- Fukuoka, M., 1971. Memories of earthquake and foundations. *Bridges and Foundations*, 5, No. 10.
- Hempton, M. R., Dunne, L. A., and Dewey, J. F., 1983. Sedimentation in an active strike-slip basin, Southeastern Turkey. *Journal of Geology*, 91, 401–412.
- Jones, A.P., and Omoto, K., 2000. Towards establishing criteria for identifying trigger mechanisms for soft-sediment deformation: a case study of Late Pleistocene lacustrine sands and clays, Onikobe and Nakayamadaira Basins, northeastern Japan. *Sedimentology*, 47, 1211–1226.
- Kempe, S., Khoo, F., and Gürleyik, Y., 1978. Hydrography of Lake Van and its drainage area. In: *The Geology of Lake*

- Van, E.T. Degens and F. Kurtman (eds.), The Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA) Publication No.169, pp. 30-44.
- Keskin M., Pearce J.A., and Mitchell J.G., 1998. Volcano-stratigraphy and geochemistry of collision-related volcanism on the Erzurum-Kars Plateau, northeastern Turkey. *Journal of Volcanology Geothermal Research*, 85, 355-404.
- Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S., and Kuloshvili, S., 2001. Neotectonic of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: implication for transition from thrusting to strike-slip faulting. *Geodinamica Acta*, 14, 177-195.
- KOERI (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Ulusal Deprem İzleme Merkezi), 2009. <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/mudim/katalog.asp>, 25 Mayıs 2009.
- Kuribayashi, E., and Tatsuoka, F., 1975. Brief review of liquefaction during earthquakes in Japan. *Soils and Foundations*, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 15, No. 4, 81-91.
- Kurtman, F., Akkuş, M.F., and Gedik, A., 1978. The geology and oil potential of the Muş-Van region. In: The Geology of Lake Van, E.T. Degens and F. Kurtman (eds.), The Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA) Publication, No.169, pp. 124-133.
- Litt, T., Krastel, S., Sturm, M., Kipfer, R., Örcen, S. ve Çağatay, M.N., 2009. Van Gölü Sondaj Projesi 'PALEOVAN', Uluslararası Bilimsel Kıta Sondaj Programı (ICDP): Yaklaşan Derin Sondaj Seferi ve Bilimsel Hedefler. 62. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, Ankara, s. 718-719.
- Lowe, D. R., 1975. Water escape structures in coarse-grained sediments. *Sedimentology*, 22, 157-204.
- Lowe, D.R., and LoPiccolo, R.D., 1974. The characteristics and origins of dish and pillar structures. *Journal of Sedimentary Petrology*, 44, 484-501.
- Mc Nutt, R.S., 2000. Volcanic Seismicity. In: *Encyclopedia of Volcanoes*, H. Sigurdsson(ed.) Academic Press, New York, pp. 1015-1033.
- Mohindra, R., and Bagati, T.N., 1996. Seismically induced soft-sediment deformation structures (seismites) around Sumdo in the lower Spiti valley (Tethys Himalaya). *Sedimentary Geology*, 101, 69-83.
- Molina, J.M., Alfaro, P., Moretti, M., and Soria, J.M., 1998. Soft-sediment deformation structures induced by cyclic stress of storm waves in tempestites (Miocene, Guadalquivir basin, Spain). *Terra Nova*, 10, 145-150.
- Montenat, C., d'Estevou, O.P., and Masse, P., 1987. Tectonic-sedimentary characteristics of the Betic Neogene basins evolving in a crustal transcurrent shear zone (SE Spain). *Bulletin des Centre de Recherches Exploration-Production of Elf-Aquitaine*, 11, 1-22.
- Moretti, M., 2000. Soft sediment deformation structures interpreted as seismites in Middle-Late Pleistocene aeolian deposits (Apulian foreland, southern Italy). *Sedimentary Geology*, 135, 167-179.
- Moretti, M., and Sabato, L., 2007. Recognition of trigger mechanisms for soft-sediment deformation in the Pleistocene lacustrine deposits of the Sant 'Arcangelo Basin (Southern Italy): seismic shock vs. overloading. *Sedimentary Geology*, 196, 31-45.
- Moretti, M., Alfaro, P., Caselles, O., and Canas, J.A., 1999. Modelling seismites with a digital shaking table. *Tectonophysics*, 304, 369-383.
- Neuwerth, R., Suter, F., Guzman, C.A., and Gorin, G.E., 2006. Soft-sediment deformation in a tectonically active area: The Plio-Pleistocene Zarzal Formation in the Cauca Valley (Western Colombia). *Sedimentary Geology*, 186, 67-88.
- Obermeier, S.F., 1998. Liquefaction evidence for strong earthquakes of Holocene and latest Pleistocene ages in the states of

- Indiana and Illinois, USA. *Engineering Geology*, 50, 227–254.
- Owen, G., 1987. Deformation processes in unconsolidated sands. In: *Deformation of Sediments and Sedimentary Rocks*, M.E., Jones and R.M.F., Preston (eds.), Geological Society Special Publication, 29, pp. 11–24.
- Owen, G., 1996. Experimental soft-sediment deformation: structures formed by the liquefaction of unconsolidated sands and some ancient examples. *Sedimentology*, 43, 279–293.
- Plaziat, J.C., and Ahmamous, M., 1998. Les differents mecanismes a l'origine de la diversite des seismites, leur identification dans le Pliocene du Saiss de Fes et de Meknes (Maroc) et leur signification tectonique. *Geodinamica Acta*, 11/4, 183–203.
- Port Harbour Research Institute of Japan (1997). *Handbook on liquefaction remediation of reclaimed land*. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Ringrose, P.S., 1989. Paleoseismic (?) liquefaction event in late Quaternary lake sediment at Glen Roy, Scotland. *Terra Nova*, 1, 57–62.
- Rodriguez-Pascua, M.A., Calvo, J.P., De Vicente, G., and 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.
- Rossetti, D.F., 1999. Soft-sediment deformational structures in late Albian to Cenomanian deposits, Sao Luis Basin, northern Brazil: evidences for paleoseismicity. *Sedimentology*, 46, 1065–1081.
- Scott, B., and Price, S., 1988. Earthquake-induced structures in young sediments. *Tectonophysics*, 147, 165–170.
- Seilacher, A., 1969. Fault-graded beds interpreted as seismites. *Sedimentology*, 13, 155–159.
- Seilacher, A., 1984. Sedimentary structures tentatively attributed to seismic events. *Marine Geology*, 55, 1–12.
- Sims, J. D., 1975. Determining earthquake recurrence intervals from deformational structures in young lacustrine sediments. *Tectonophysics*, 29, 141–152.
- Şaroğlu, F. ve Yılmaz, Y., 1986. Doğu Anadolu'da neotektonik dönemdeki jeolojik evrim ve havza modelleri. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 107, 73–94.
- Şengör A.M.C., and Kidd W.S.F., 1979. Post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian plateau and a comparison with Tibet. *Tectonophysics*, 55, 361–376.
- Şengör, A.M.C., and Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181–241.
- Talwani, P., and Cox, J., 1985. Paleoseismic evidence for recurrence of earthquakes near Charleston, South Carolina. *Science*, 229, 379–381.
- Taşgın, C.K., and Türkmen, İ., 2009. Analysis of soft-sediment deformation structures in Neogene fluvio-lacustrine deposits of Çaybağı formation, eastern Turkey. *Sedimentary Geology*, 218, 16–30.
- USGS (United States Geological Survey), 2009. <http://volcanoes.usgs.gov/activity/methods/seismic/index.php>, 03 Aralık 2009.
- Utkucu, M., 2006. Implications for the water level change triggered moderate ($M \geq 4.0$) earthquakes in Lake Van basin, eastern Turkey. *Journal of Seismology*, 10, 105–117.
- Üner, S., 2003. Van Gölü doğusu (Beyüzümü-Göllü dolay) Pliyo-Kuvaterner yaşlı karasal çökellerin sedimantolojisi. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van (yayımlanmamış).
- Valeton, I., 1978. A morphological and petrological study of the terraces around Lake Van, Turkey. In: *The Geology of Lake Van*, E.T. Degens and F. Kurtman (eds.),

The Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA) Publication No.169, pp. 64-80.

- Vanneste, K., Meghraoui, M., and Camelbeeck, T., 1999. Late Quaternary earthquake-related soft-sediment deformation along the Belgian portion of the Feldbiss Fault, Lower Rhine Graben system. *Tectonophysics*, 309. 57-79.
- Visher, G.S., and Cunningham, R.D., 1981. Convolute laminations – a theoretical analysis: example of Pennsylvanian sandstone. *Sedimentary Geology*, 28, 175–189.
- Weaver, J.D., 1976. Seismically-induced load structures in the basal coal measures, South Wales. *Geological Magazine*, 113, 535–543.
- Wong, H.K., and Finckh, P., 1978. Shallow structures in Lake Van. In: *The Geology of Lake Van*, E.T. Degens and F. Kurtman (eds.), The Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA) Publication, No.169, pp. 20-28.