

## Kuvaterner Yaşlı Alüvyal Zeminlerin Kuvvetli Yer Hareketine Etkisi: 2011 Van Depremleri

*The Effect of Quaternary Alluvium on Strong Ground Motion: 2011 Van Earthquakes*

Levent SELÇUK<sup>1</sup>, Harun AYDIN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, VAN

<sup>2</sup>Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, VAN

Geliş (received) : 02 Temmuz (July) 2012

Düzeltilme (revised) : 07 Ağustos (August) 2012

Kabul (accepted) : 12 Eylül (September) 2012

### ÖZ

23 Ekim ( $M_w$ : 7.2) ve 9 Kasım 2011 ( $M_w$ : 5.6) Van depremleri sırasında meydana gelen hasar dağılımına bakıldığında, alüvyal zeminler üzerinde bulunan yerleşim alanlarında, yapısal hasarın yüksek olduğu görülmektedir. 9 Kasım 2011 depreminde kaydedilen yer ivmesi değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığı zaman, söz konusu zeminlerin yer hareketi ve yapısal hasarlar üzerindeki etkisi anlaşılmaktadır. Edremit merkezli depremde travertenler üzerinde kaydedilen yatay yer ivmesi değeri 0.10 g iken, yaklaşık 15 km uzaklıkta alüvyal zemin üzerinde kaydedilen yatay yer ivmesi değeri ise 0.25 g dir. Zeminin yer ivmesi üzerindeki etkisi 2.5 kattır. Bu çalışmada, derinlikleri 10-25 m arasında değişen toplam 81 adet jeoteknik sondaj verisi ile mahalle bazında zeminlerin yanal ve düşey yöndeki dağılımları elde edilmiştir. Alüvyal zeminler üzerinde kayma dalgası hızına bağlı olarak hesaplanan zemin büyütme değerlerinin gözlenen yer hareketleri ile uyumlu oldukları belirlenmiştir. Özellikle, hasarın yüksek olduğu mahallelerde, zemin kohezyonsuz, göreceli olarak daha gevşek ve su seviyesi yüzeye daha yakındır. Van ili merkez mahallelerinde gözlenen hasarın büyük bir kısmı ise düşük kalitede malzeme kullanımı ve yönetmeliklere uymayan yapılaşma ile ilişkilidir. Van ili yerleşim alanındaki zemin koşulları dikkate alındığında, gerek depremin tekrarlı yüklerinden gerekse zeminden kaynaklanan deformasyonların (zemin büyütmesi, sıvılaşma vb.) Van ili yerleşim alanında can ve mal kayıplarının artmasına neden olacağı açıktır. Bu nedenle, olası bir depremde zararların en aza indirgenebilmesi için, Van yerleşim yerindeki söz konusu zemin koşullarının dikkate alınması gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Deprem, Hasar dağılımı, Maksimum yer ivmesi, Van, Zemin büyütmesi.

L.Selçuk

E-Posta: lselcuk@yyu.edu.tr

**ABSTRACT**

*The distribution of damaged buildings observed from October 23 and November 9, 2011 Van earthquakes shows that a major portion of damage occurred at settlement areas underlain by alluvial soils. The effect of alluvial soil on strong ground motion and structural damage can be seen by comparing two strong ground motion records of the Van province, earthquake of 09 November 2011 ( $M_w$ : 5.6). One record at Edremit on travertine bedrock had a peak horizontal acceleration of 0.10 g. The other one, at the city center of Van province, at a distance of 15 km from the epicenter in Quaternary alluvium, had the acceleration value of 0.25 g. The effect of soil on the ground motion is about 2.5. In this study, the lateral and vertical distribution of the soil were obtained using a total of 81 geotechnical borehole data with depths ranging from 10-25 m. Soil amplification values computed at the alluvial site based on measured shear wave velocity show reasonably good agreement with the observed motions. The earthquake damage was determined to be high at local areas of relatively poor soil conditions such as cohesionless and loose soil, high groundwater. In addition to the soil conditions, there is no doubt that the use of low quality materials and low construction technologies have caused higher damage at central districts of Van province. Considering the soil conditions, both ground deformation (soil amplification, liquefaction) and cycling loading will increase the loss of lives and property in the central districts of Van province. Therefore, in order to minimize the possible damage of a potential earthquake, ground conditions should be considered at the Van settlement area.*

**Key Words:** Earthquake, Distribution of damage, Peak ground acceleration, Van, Soil amplification.

**GİRİŞ**

23 Ekim 2011 tarihinde saat 13:41'de, Van ilinin kuzeyinde, merkez üssü Tabanlı köyünde, moment büyüklüğü ( $M_w$ ) 7.2 olan ve yaklaşık 25 saniye süren yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir (KOERI, 2011). Van ve çevresinde yer alan yerleşim alanlarında şiddetli bir şekilde hissedilen deprem, Bingöl-Duhok (Kuzey Irak) ile Diyarbakır-Erzurum arasında kalan geniş bir coğrafyada da hissedilmiştir. 1976 Çaldıran ( $M$ : 7.3) depreminden sonra bölgeyi etkileyen en büyük deprem olan 23 Ekim 2011 depremi, Van ve Erciş başta olmak üzere bölgede bulunan yerleşim yerlerinde toplam 604 kişinin hayatını kaybetmesine, çok sayıda yapının yıkılmasına ve hasar görmesine neden olmuştur. Bu deprem

ülkemizde 1999 İzmit depreminden sonra meydana gelen en etkili depremdir. Depremden sonra büyüklüğü 4.0 ile 5.7 arasında değişen 111 adet artçı sarsıntı kaydedilmiştir (KOERI 2011). 23 Ekim tarihinde meydana gelen depremden yaklaşık 18 gün sonra, 9 Kasım 2011 tarihinde saat 21:23'te Van ili, Edremit ilçesi yakınlarında, büyüklüğü  $M_w$ : 5.6 olan bir deprem daha meydana gelmiştir. Van ilinde şiddetli hissedilen deprem il genelinde önemli yapısal hasara neden olmuştur. Her iki depremde toplam 644 kişi hayatını kaybetmiştir.

Deprem sonrası meydana gelen hasarın nedenlerini araştırmak için bölgede birçok çalışma gerçekleştirilmiştir (Atsori vd., 2011; Panagiotis, 2011; CEDIM, 2011; METU, 2011a;

METU, 2011b; YTU, 2011; Koçyiğit vd., 2011, Emre vd., 2011, Özkaymak vd., 2011, Ulusay vd., 2012). Bu çalışmalarda,  $M_w$  7.2 büyüklüğündeki depremin özellikleri, meydana getirdiği hasarın nedenleri, yerel zemin şartları ve mühendislik yapılarının karakteristik özellikleri araştırılmıştır.

Van ili yerleşim alanında meydana gelen hasarın büyük bir kısmı 9 Kasım 2011'de Van'ın yaklaşık 12 km güney batısında meydana gelen  $M_w$ :5.6 büyüklüğündeki depreme bağlı olarak gelişmiştir. 23 Ekim 2011  $M_w$ :7.2 büyüklüğündeki depremde hasar gören binaların bir kısmı ikinci depremde yıkılırken, hasar görmemiş binaların bir kısmı kullanılamaz hale gelmiş, büyük bir kısmı ise hafif ve orta derecede hasar görmüştür. Bu çalışmada, jeoteknik sondaj verileri ve hasar dağılımına yönelik yapılan tespit ve saha gözlemleri birlikte değerlendirilerek; Van ili merkez mahallelerin yerel zemin koşullarının belirlenmesi ve söz konusu zemin koşullarının yer hareketine ve dolayısıyla yapısal hasara olan etkilerinin anlaşılmasına çalışılmıştır.

## YÖNTEM

Van ili yerleşim alanında yer alan litolojik birimlerin üç boyutlu dağılımı, bölgede yapılan önceki çalışmalar, arazi gözlemleri ve önceki dönemlerde açılmış jeoteknik sondaj verileri dikkate alınarak belirlenmiştir. Bölgede 1990 yılından günümüze kadar farklı amaçlarla açılmış çoksayı sondaj verisi mevcuttur. Bu çalışmaların büyük bir kısmı, zemin etüt raporlarından, küçük bir kısmı ise, 2011 Van depremleri sonrasında bina performansı/güçlendirmesi amaçları ile yapılmış çalışmalardan elde edilmiştir. Bu çalışmada mevcut olan yaklaşık 200 adet sondaj verisinden, Van merkez mahallelerini kapsayan,

yelpaze çökelleri üzerinde açılan toplam 81 adet jeoteknik sondaj verisi dikkate alınmıştır. Herbir sondaj verisi hazır paket programlar kullanılarak birbirleri ile karşılaştırılmış ve Van ili yerleşim alanı merkez kısmında zemin birimlerin dağılımı elde edilmiştir. Litolojik birimlerin mühendislik parametreleri dikkate alınarak, literatürde tanımlı ampirik ilişkiler ile kayma hızı ve zemin büyütme değerleri gibi depremin etkisini artırıcı yönde rol oynayan parametreler belirlenmiştir. Bununla birlikte söz konusu jeoteknik sondaj loglarından elde edilen yeraltı seviye değerleri kullanılarak Van ili merkez mahalleleri için yeraltı seviye haritası oluşturulmuştur. Ayrıca Van ovası zemininin hidrojeolojik özellikleri belirlenmiştir. 2011 Van depremlerinde hasar dağılımının belirlenebilmesi için, Van Valiliği kesin hasar tespit listeleri ayrıntılı bir şekilde düzenlenerek, Van ili merkez mahallelerine ait hasar dağılım haritası oluşturulmuştur. Elde edilen bilgilerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda, bölgede meydana gelen depremlere bağlı mahalle bazında görülen yapısal hasar ile Van ili yerleşim alanındaki zemin koşulları arasındaki ilişki/ilişkiler araştırılmıştır.

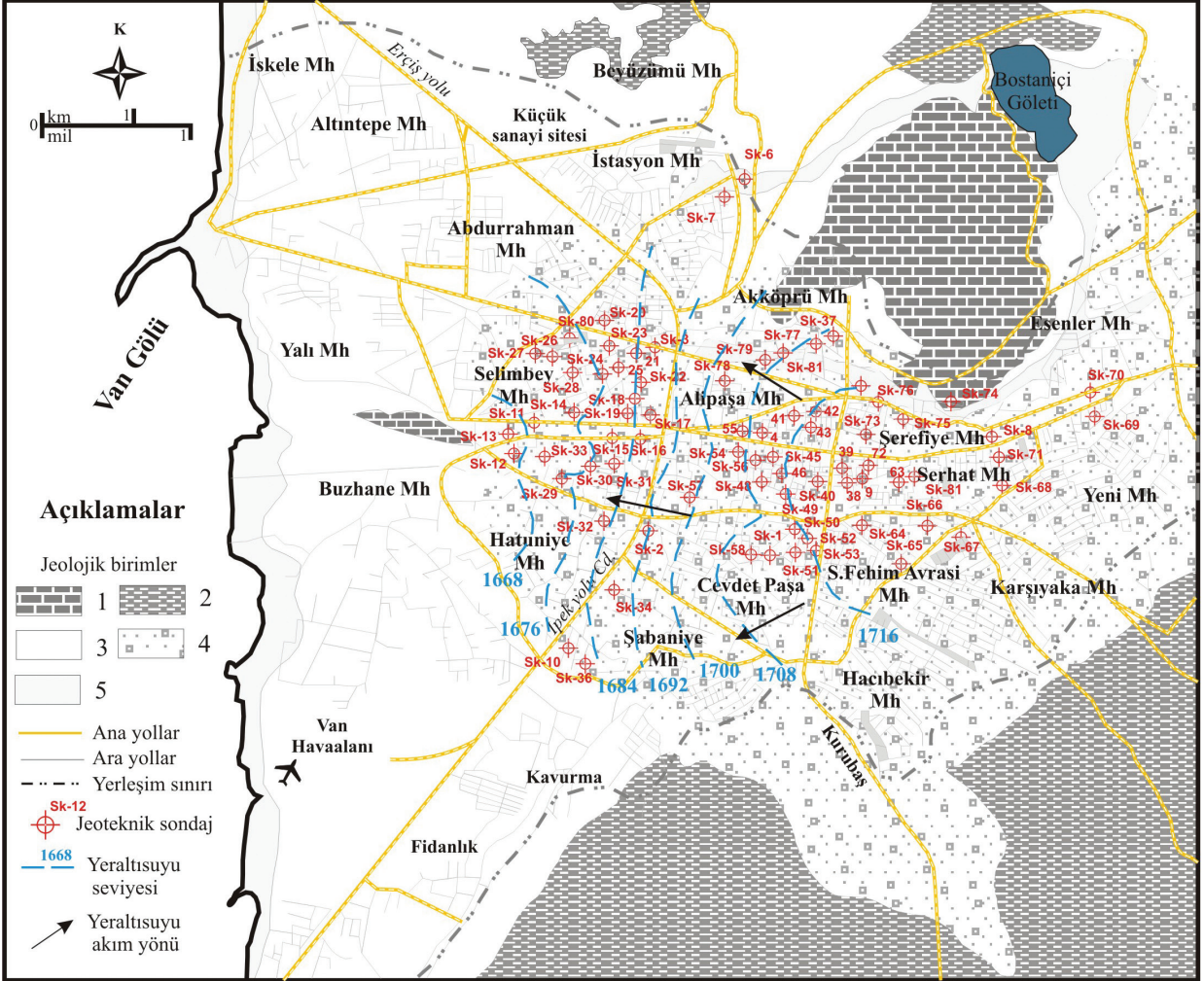
## ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİK, JEOMORFOLOJİK VE HİDROJEOLJİK ÖZELLİKLERİ

Van ili yerleşim alanı, Pliyo-Kuvaterner yaşlı eski göl-akarsu çökelleri, eski yelpaze çökelleri ve Kuvaterner yaşlı akarsu çökelleri üzerine kurulmuştur (Acarlar vd., 1991). Şehrin kuzey kısımlarında çamurtaşı-marn-mikritik kireçtaşı ardalannasından oluşan Eosen yaşlı temel birimler yer almaktadır (Şekil 1). Bu ardalanna içersinde, seyrek olarak, türbiditik kumtaşı, ince taneli çakıltaşı, çört-radyolarit,

Selçuk ve Aydın

şeyl ara seviyeleri bulunmaktadır. Şehrin güney kesiminde ise Miyosen yaşlı Van formasyonu'na ait kumtaşı, çakıltaşı ve ince katmanlı kilttaşları bulunmaktadır (Şekil 1).

alanının batı sınırını oluşturan Van Gölü kıyısında %1 olan eğim değeri, doğu kesimlerde %25 değerlerine ulaşmaktadır. Bu açıdan, Van ili yerleşim alanı tatlı eğimli sırtlar ve geniş



Şekil 1. Van ili merkez mahallelerine ait jeoloji haritası, 1) Paleosen-Eosen yaşlı kireçtaşı 2) Miyosen yaşlı kilttaş, kumtaşı, çakıltaşı ardalanması 3) Üst Pleyistosen akarsu-göl çökelleri 4) Üst Pleyistosen yelpaze çökelleri 5) Holosen yaşlı akarsu çökelleri

Figure 1. Geological map of the central districts of Van province 1) Paleocene-Eocene limestone 2) Miocene claystone, sandstone and conglomerate 3) Upper Pleistocene fluvial and lacustrine sediments 4) Upper Pleistocene fan deposits and 5) Holocene fluvial sediments.

Van ili yerleşim alanı yaklaşık 1650.0 m ile 1770.0 m kotları arasında yer almaktadır. Ortalama yükseklik farkı 120 m'dir. Yerleşim

düzlüklerden oluşmuş bir topografyaya sahiptir. Van ili yerleşim alanının üzerinde bulunduğu yelpaze çökellerinde yapılan 81 adet jeoteknik



amaçlı sondaj verisi ve arazi gözlemleri doğrultusunda Van ili merkez mahallelerinin genel olarak zemin profili oluşturulmuştur. Buna göre, genel olarak üst kotlarda siltli birimler yüzeyde gözlenmekte ve daha alt kesimlerde ise kumlu birimlerle araldanmalı olarak bulunmaktadır. Siltli birimlerin kalınlıkları genel olarak 3 ile 5 m arasında değişmektedir. Merkez mahallelerin orta kesiminde ise söz konusu siltli birimlerin kaybolarak yerini kumlu birimlere bıraktığı gözlenmiştir. Önceki çalışmalarda tutturulmamış tanelerden oluşan akifer niteliğindeki kumlu birimlerin Van ili yerleşim alanının merkez kesiminde 45 m kalınlıklar sergilediği belirtilmiştir (Özvan vd., 2005). Van Gölü'ne doğru gidildikçe siltli ve killi birimler yüzeyde gözlenmekte ve kumlu birimlerle araldanmalı olarak bulunmaktadır. Van ili eski yerleşim alanı (Van Kalesi) ve Van Gölü'ne sınır mahalleler (İskele, Altıntepe, Yalı ve Buzhane) ise eski göl ve akarsu çökelleri üzerindedir. Söz konusu alanda yapılan jeoteknik sondaj çalışmalarına göre hâkim birimler gri-yeşil renkli killi birimlerdir (Grafit, 2012).

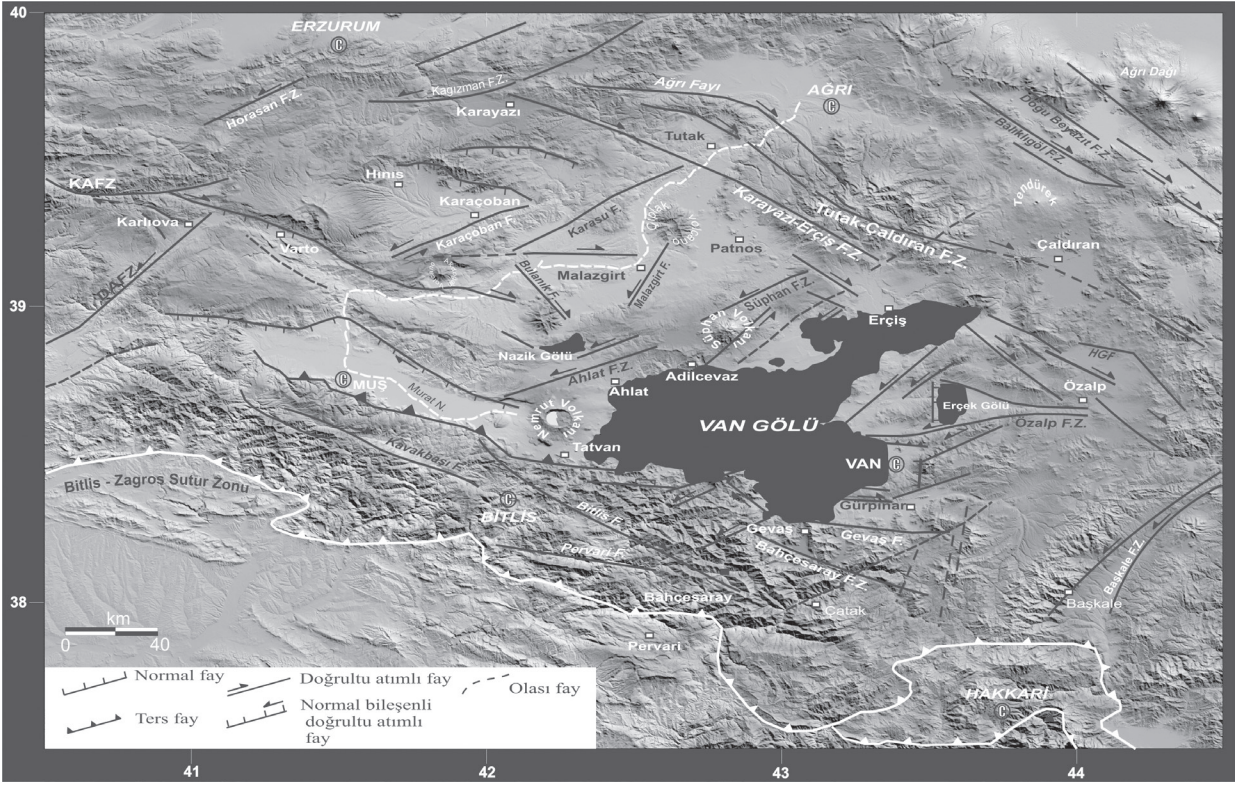
Van ili yerleşim alanında yüzeyleyen Pliyo-Kuvaterner yaşlı gölsel çökeller ile Kuvaterner yaşlı akarsu çökelleri, Akdemir (1996) ve Özler (2004) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda hidrojeolojik açıdan geçirimli birim olarak tanımlanmaktadır. Tabanda basınçlı akifer ile karakterize edilen Van ili yerleşim alanının hidrojeolojik yapısı bu akifer üzerinde kalınlığı 2 m ile 8 m arasında değişen kil seviyesi ve bu seviye üzerinde kalınlığı 5 m ile 50 m arasında değişen serbest akifer ile temsil edilmektedir (Özler, 2004). Adı geçen çalışmalarda serbest akiferi oluşturan Pliyo-Kuvaterner yaşlı göl çökellerinin hidrolik iletkenlik değeri  $3.2 \cdot 10^{-4}$

m/s ile  $6.6 \cdot 10^{-4}$  m/s arasında değişirken alüvyon birimlerin hidrolik iletkenlik değeri  $1.8 \cdot 10^{-4}$  m/s olarak belirtilmektedir. Söz konusu bu veriler Bear (1988)'e göre birimlerin hidrolik iletkenlik değeri iyi boylanmış killi siltli kum ve killi siltli çakıl ortamlarına işaret etmektedir.

## VAN İLİNİN DOĞAL AFET POTANSİYELİ

Van Gölü ve çevresinde tektonik kökenli deprem etkinliği yüksek olup, bu durum anılan bölgede gerek tarihsel dönemlerde ve gerekse son yüzyılı kapsayan aletsel dönemde meydana gelmiş olan çok sayıdaki yıkıcı depremlerden bilinmektedir (Koçyiğit vd., 2011). Bölgesel ölçekte Doğu Anadolu Tektonik Birliği içinde, yerel ölçekte Van deprem bölgesinde, doğrultu atımlı faylanma mekanizmasına bağlı olarak bazıları Pliyo-Kuvaterner yaşlı neotektonik dönemde oluşmuş, diğerleri ise paleotektonik dönemde oluşmuş fakat neotektonik dönemde aynı mekanizmaya bağlı olarak yeniden etkinlik kazanmış, değişik nitelikte çok sayıda fay bulunmaktadır (Aksoy ve Tatar, 1990; Koçyiğit vd., 2001; Örçen vd., 2004; Üner vd., 2010; Koçyiğit vd., 2011; Özkaymak vd., 2011).

Söz konusu alan Bitlis kenet kuşağının hemen kuzey kesiminde yer almaktadır. Bölgede doğrultu atımlı ve/veya bindirme özelliğinde bulunan Gevaş, Gürpınar, Bahçesaray, Edremit, Özalp, Süphan ve Çaldıran fayları gibi önemli yapısal elemanların varlığı söz konusudur (Şekil 2). Bölgede son dönemlerde büyüklüğü 4 ve üzerinde meydana gelen depremlerin dağılımları dikkate alındığında, söz konusu fayların aktif bir özellik sergilediği anlaşılmaktadır (Selçuk vd., 2010).



Şekil 2. Van ili ve çevresine ait tektonik harita (Koçyiğit, 2002; Selçuk vd., 2010'dan değiştirilerek)

Figure 2. Tectonic map of Van and its surroundings (modified from Koçyiğit, 2002; Selçuk et al., 2010)

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı doğal afet olarak deprem olgusu, bölge için ayrı bir önem taşımaktadır. Van ili yerleşim merkezi, toprakla örtülü kil, kum ve çakıllardan oluşan heterojen bir istif özelliği taşıyan Pliyo-Kuvaterner yaşlı akarsu ve göl çökelleri, eski yelpaze çökelleri ve güncel akarsu çökelleri üzerinde bulunmaktadır. Yeraltısuyu şehrin merkez kısmında 4-10 m arasında değişmektedir. Bu durum olası büyük bir depremde zeminden kaynaklanabilecek deformasyonların ve buna bağlı yapısal hasarların yüksek olabileceğini göstermektedir. Deprem dalgalarının alüvyal zeminlerde büyüyerek yayıldığı (Keller ve Pinter 1996), zemin granülometrisinin uygun ve su seviyesinin yüksek olması durumunda da zemin

sıvılaşma olgusuna neden olduğu göz önüne alındığında (Youd ve Idriss 2001), Van kenti için yakın odaklı ve  $M_w$ :6.5 büyüklüğündeki bir depremin meydana getireceği hasarın boyutları kolayca anlaşılacaktır (Selçuk, 2003).

Bölgenin doğal deprem riski yanında, son yıllarda çevre il ve ilçelerden Van merkez ve çevresine yönelen yoğun iç göç nedeniyle oluşan yoğun nüfus artışı ile birlikte kontrolsüz ve denetimsiz yapılaşmanın getirdiği ek bir risk faktörü oluşmuştur. Yapı kalitesinin denetlenmemesi, olası büyük bir depremin doğal afet değil, bir facia olarak yaşanması kaygılarını artırmaktadır. Bu nedenle bölgenin depremselliğinin ve deprem özelliklerinin

olabildiğince doğru ve ayrıntılı olarak belirlenmesi gerekmektedir.

## DEĞERLENDİRME ÇALIŞMALARI

### 2011 Van Depremlerinin Değerlendirilmesi

23 Ekim 2011 Van depremi saat 13:41'de Van ilinin yaklaşık 20 km kuzeyinde meydana gelmiştir (KOERI 2011). Depremin moment büyüklüğü  $M_w$ : 7.2, odak derinliği 19 km ve merkez üssü Tabanlı köyü olarak tanımlanmıştır. Ana depremi takiben büyüklüğü 4.0 ve üzeri olan 111 adet artçı sarsıntı meydana gelmiştir. Bu depremin artçıları sürerken, 9 Kasım 2011 tarihinde saat 21:23'te merkez üssü Edremit-Van ve odak derinliği 5 km olan bir deprem daha meydana gelmiştir. Van deprem bölgesinde 23 Ekim 2011 tarihinden itibaren büyüklüğü 1.4 ile 5.7 arasında değişen 5527 adet deprem meydana gelmiştir (KOERI, 2012). Her iki deprem için deprem merkez üssüne en yakın konumda bulunan ivme kayıtları, ilk deprem için Van

Muradiye ve ikinci deprem için Van Merkez ve Van Edremit istasyonlarından alınmıştır (Şekil 3). 23 Ekim'de meydana gelen ilk depremin ivme kaydı Van merkez istasyonunda ölçülemedi. Ancak Van-Muradiye istasyonu ile Van-Merkez istasyonu hemen hemen aynı zemin koşulları üzerinde (istasyonların kayma dalgası hızları sırasıyla 300 m/s ve 360 m/s) ve depremin merkez üssüne yaklaşık eşit (deprem merkez üssüne olan uzaklıkları sırasıyla 40 km ve 30 km) konumdadır. Buna göre 23 Ekim'de meydana gelen  $M_w$ : 7.2 büyüklüğündeki depremin maksimum ivme değeri (Muradiye istasyonu için) K-G doğrultusunda  $178.5 \text{ cm/sn}^2$ , D-B doğrultusunda  $168.5 \text{ cm/sn}^2$  ve düşey doğrultuda  $75.5 \text{ cm/sn}^2$ 'dir. 9 Kasım'da meydana gelen  $M_w$ : 5.6 büyüklüğündeki depremin maksimum ivme değeri (Van merkez istasyonu için) ise K-G doğrultusunda  $148.1 \text{ cm/sn}^2$ , D-B doğrultusunda  $245.9 \text{ cm/sn}^2$  ve düşey doğrultuda  $150.5 \text{ cm/sn}^2$ 'dir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Van depremlerinin ölçülen en yüksek ivme değerleri (AFAD 2011).

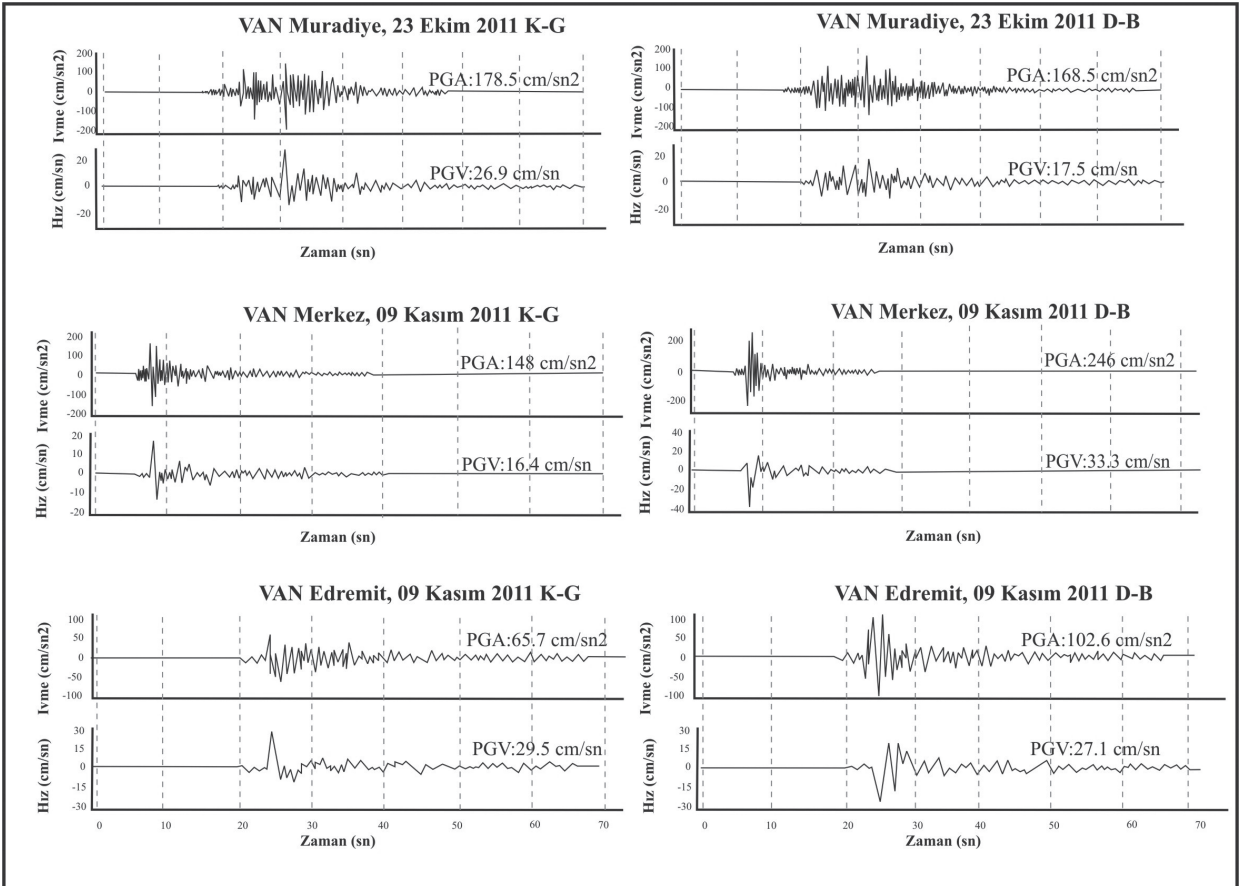
Table 1. The maximum acceleration values of the Van earthquakes (AFAD, 2011).

Van Depremi	İl	İlçe/Semt	Cihaz	K-G (cm/sn <sup>2</sup> )	D-B (cm/sn <sup>2</sup> )	Düşey (cm/sn <sup>2</sup> )	İstasyona olan uzaklık (km)
23 Ekim 2011	Van	Muradiye	SMACH	178.5	168.5	75.5	42.0
23 Ekim 2011	Muş	Malazgirt	SMACH	44.5	56.0	25.5	95.0
9 Kasım 2011	Van	Merkez	CMG	148.1	254.9	150.5	12.7
9 Kasım 2011	Van	Edremit	GSR	65.7	102.6	44.3	2.9

Selçuk ve Aydın

İvme değerlerinin depremin merkez üssünden uzaklaştıkça azalması beklenirken bu durum 9 Kasım Edremit depremi için farklılık arz etmektedir. Merkez üssüne yakın sert kayalık alanda (Traverten) bulunan Edremit istasyonundan alınan ivme değerlerinin (maks.  $102.6 \text{ cm/sn}^2$ ) daha uzak konumda ancak yumuşak zemin üzerinde (alüvyon) bulunan Van merkez istasyonuna göre (maks.  $245.9 \text{ cm/sn}^2$ ) daha düşük olduğu görülmektedir (Çizelge 1 ve Şekil 3). Bu durum, istasyonların üzerinde bulunduğu zemin ve kaya koşullarının, depremin ivme değerlerini

ne derece etkilediğinin bir göstergesidir. Başka bir ifade ile maksimum yer ivmesi değerleri deprem dalgalarının kat ettiği formasyonların türü (masif veya ayrıışmış kaya, sıkı zemin veya suya doymuş çökeller) ile yakından ilişkilidir. Ancak, depremin maksimum ivmesi tek başına depremin etkisini tanımlayabilen bir parametre değildir. Maksimum değeri  $0.4g$  olan ve çok kısa bir zaman diliminde meydana gelen bir depremin, daha küçük yer ivmesine sahip ve uzun süren depremlere göre daha az hasar yaptığı bilinmektedir. 1964 Alaska depremi buna



Şekil 3. 23 Ekim ve 9 Kasım depremlerine ait K-G ve D-B doğrultulu, ivme, hız ve yerdeğiştirme bileşenleri (AFAD 2011).

Figure 3. N-S, E-W acceleration, velocity and displacement components of the October 23 and November 9, 2011 earthquakes (AFAD, 2011).

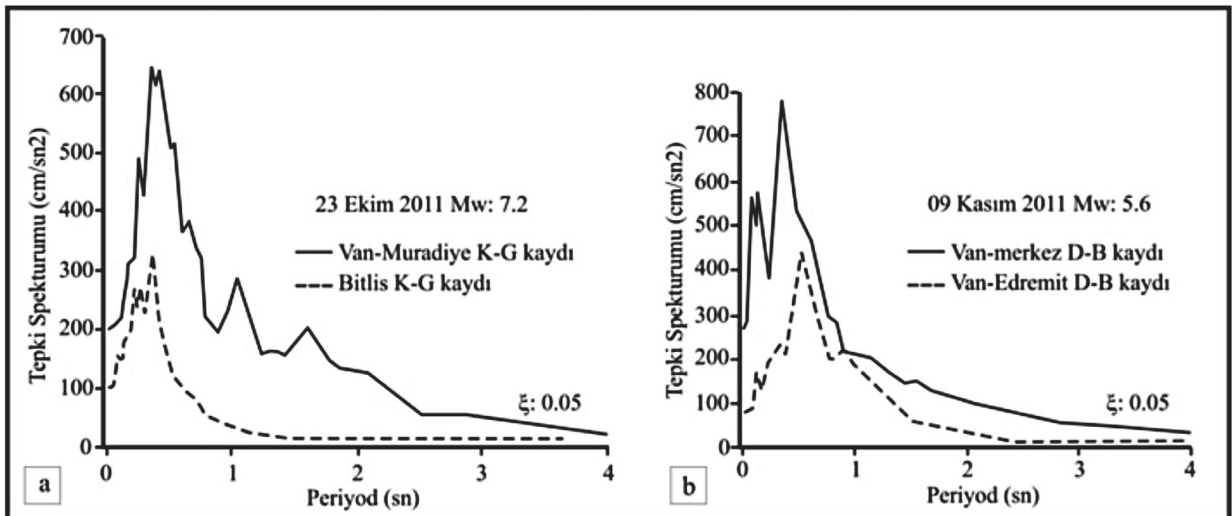


bir örnek olarak verilebilir. Yer ivmesinin 0.15g kadar küçük ancak 4 dakika kadar uzun sürmesi, bölgede ciddi yapı hasarları meydana getirmiştir (NRC, 1973).

İlk depremin ( $M_w$ : 7.2) Muradiye istasyonu kaydının K-G doğrultusu için etkin süre 19.2 sn ve ikinci depremin Van istasyonu kaydına ait D-B doğrultusu için etkin süre 8.4 sn olarak hesaplanmıştır (AFAD, 2011). İkinci depremin ( $M_w$ :5.6) Van ili yerleşim alanında daha çok hissedilmesinin nedeni yukarıda belirtildiği gibi yüksek ivme değerleri ( $245.9 \text{ cm/s}^2$ ) ile ilişkilidir. Van ili merkez istasyonu kaydına göre, bu depremin süresinin düşük olması (8.4 sn) yerleşim alanındaki hasarın boyutunu etkilemiştir. Depremin ivmesi ve süresi, meydana gelen yer hareketinin nicel ölçütleridir. Depremin ivmesine bağlı olarak yönetmeliklere uygun yapılan bir yapının yıkılması ancak yerçekimi kuvvetini aşabilecek yatay kuvvetler ile mümkündür. Dolayısıyla, bir yapının

deprem sırasındaki davranışını anlayabilmek için tepki spektrumlarının ( $\text{cm/s}$  cinsinden yer değiştirilmesi) belirlenmesi gerekmektedir. Çünkü her bina, yapısal özelliklerine bağlı olarak meydana gelen yer hareketini belirli bir oranda sönümlenmektedir. Tepki spektrumları, ivme, hız ve yerdeğiştirme değerlerine bağlı olarak elde edilebilir. İvme tepki spektrumları ile bir binaya gelen maksimum makaslama kuvvetleri elde edilebilir.

Şekil 4'te Van ilinde meydana gelen depremlere ait tepki spektrumları görülmektedir (AFAD, 2011). İlk depremin Muradiye K-G kaydında elde edilen maksimum yer ivmesi değeri, yerçekimi ivme değerinin ( $178.5 \text{ cm/s}^2$ ) çok altındadır. Ancak yaklaşık 0.4 - 0.5 sn zaman aralığında oluşan spektral ivme değerleri, yerçekimi ivme değerlerine ( $650 \text{ cm/s}^2$ ) ise oldukça yakındır. 9 Kasım 2011 Van istasyonuna ait D-B kaydına ait tepki spektrumu incelenirse, yaklaşık 0.4 sn periyodunda çok daha yüksek



Şekil 4. Van depremlerinin %5 sönüm oranı için tepki spektrumları (AFAD 2011).

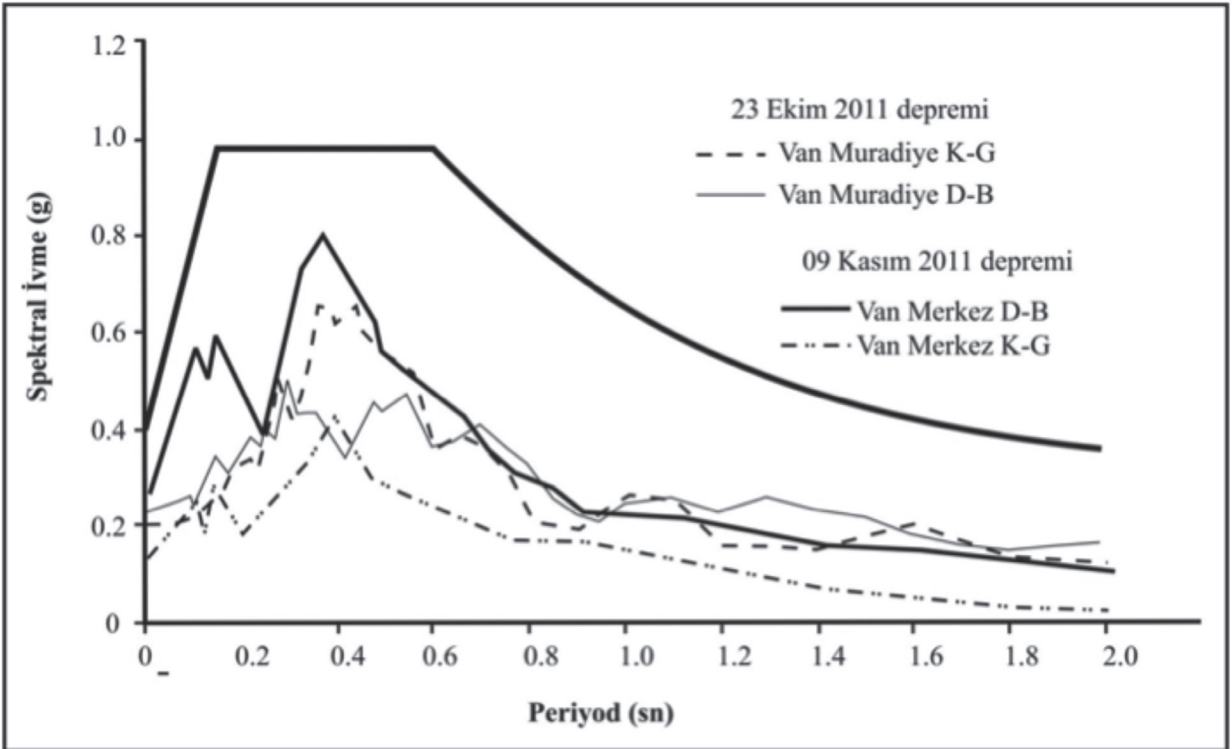
Figure 4. Response spectra with 5% damping ratio of the Van earthquakes (AFAD, 2011).

spektral ivme değerlerinin etkin olduğu görülmektedir. Yerel zemin koşullarına ve bina özelliklerine bağlı olarak gelişen bu değer Van ili yerleşim alanındaki binalarda (özellikle yüksek katlı ve kalitesiz yapılarda) yapısal hasarların meydana gelmesine sebep olmuştur.

Van Depreminde elde edilen en yüksek spektral ivme değerlerinin, Muradiye ve Van–Merkez istasyonlarında 2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte verilen yerel zemin sınıfı Z3 olan tepki spektrumu ile karşılaştırılması spektral ivme değerlerinin yönetmelikte öngörülen spektral ivme değerlerinden çok daha düşük olduğunu göstermektedir (Şekil 5).

### Zemin Koşullarının Değerlendirilmesi

Gevşek çökeller üzerinde inşa edilen yapılarda, dinamik koşullar söz konusu olduğu zaman meydana gelebilecek olan hasar can kayıplarına neden olabilmektedir. Bununla birlikte mühendislik yapılarındaki sorunların bir kısmı bu çökellere bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Van ili merkez mahalleleri, eski göl-akarsu ve yelpaze çökelleri üzerinde yer almaları ve bölgedeki sismik aktivitenin yüksek olması nedeniyle bu duruma bir örnek teşkil etmektedir. Bu alanlarda zemin profili kalın, orta katı-sert silt ve kil ile orta sıkı-sıkı arasında değişen siltli kum ve çakıllı kum katmanlarından oluşmaktadır. Jeolojik olarak bölgede yayılım gösteren birimler önceki çalışmalarda “eski akarsu ve göl çökelleri,



Şekil 5. Van depremleri için elde edilen spektral ivme değerlerinin TDY2007 tasarım spektrumu ile karşılaştırılması.

Figure 5. Comparison of the spectral acceleration values obtained for Van earthquakes with TDY2007 design spectrum.

eski yelpaze çökelleri ve akarsu çökelleri” olarak adlandırılmakta olup istifin toplam kalınlığının yaklaşık 150 m olduğu belirtilmektedir (Acarlar vd., 1991). Bu çalışmada 1/5.000 ölçekli paftalar içinde kalan 81 adet jeoteknik sondaj verisi kullanılarak Eski yelpaze çökelleri üzerinde daha yerel değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir.

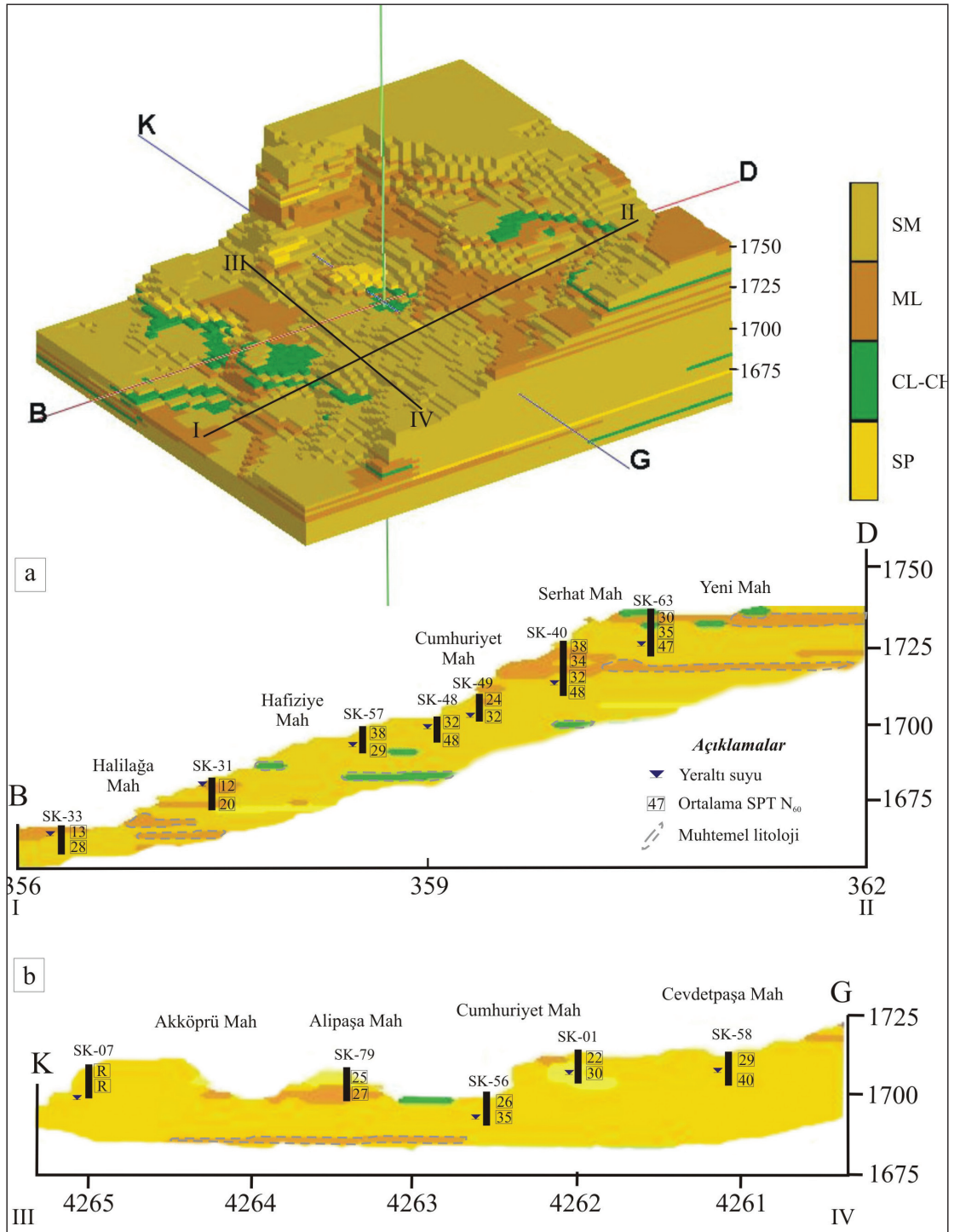
### Zemin durumu

Van Gölü ile Ereğ Dağı etekleri arasında 1660 m kotu ile 1750 m kotu arasında kalan yaklaşık 90 m’lik bir kalınlık için zemin birimleri ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Yapılan bu incelemede yelpaze çökeli olarak tanımlanan istifin yatay ve düşey olarak kısa mesafelerde anlık değişimler sergilediği yapılan korelasyonlar ile belirlenmiştir. Ancak genel olarak Van ili merkez mahallelerinin, silt ve siltli kum birimler üzerinde yer aldığı söylenebilir (Şekil 6a). Söz konusu kumlu birimler, şehir merkezinin doğusuna (Ereğ Dağı) ve batısına (Van Gölü) doğru gidildikçe anlık fasiyes değişimleri göstermektedir. Bu kesimlerde kumlu birimler, killi ve siltli birimlerle birlikte aralanmalı olarak yer almaktadır. Ağırıklı olarak kumlu birimlerin, Alipaşa, Hafziye, Cumhuriyet ve Cevdetpaşa Mahalleleri gibi merkez mahallelerin orta kesiminde olduğu belirlenmiştir (Şekil 6b). Kumlu birimlerin SPT-N değerleri 12-40 arasında değişmektedir. Buna göre kum ve siltli kum birimler orta sıkı-sıkı özelliktedir. Her üç mahalle için yeraltı su seviyesi, yüzeyden itibaren 4.3 m ile 10.0 m arasında değişmektedir. Selimbey ve Halılağa Mahalleleri çevresinde ise genel olarak üst birimlerin kil ve silt içerikli olduğu, bu tabakaların altında ise yine benzer özellikte siltli kum birimlerin olduğu belirlenmiştir. Kil ve siltten oluşan birimlerin kalınlıkları yaklaşık

olarak 3.5 m ile 5.0 m arasında değişmektedir. Söz konusu killi birimlerin SPT-N değerleri 12-27 arasında, siltli birimlerin ise 13 - 32 arasında değişmektedir. Bu değerlere göre ince taneli zeminler, katı-çok katı özelliktedirler. Bu alanda su seviyesi, yüzeyden itibaren yaklaşık olarak 1 m ile 5 m arasında değişmektedir. SPT-N değerlerine göre killi birimler katı-sert, kumlu birimler ise orta sıkı özelliktedir. İl merkezinin doğusunda yer alan Şerefiye, Serhat, Esenler ve F. Avrasi Mahalleleri’nde ise yine siltli ve killi birimlerin genelde yüzeyde yer aldığı, kalınlık değerlerinin ise 2 m ile 4 m arasında değiştiği, bu birimlerin altında ise kumlu birimlerin olduğu belirlenmiştir. İnce taneli birimlerin SPT-N değerleri 22 ile 50 değerleri arasında değişmektedir. Bu değerler söz konusu birimlerin çok katı-sert özellikler sergilediğini göstermektedir. Sondaj loglarına göre bu alanlardaki su seviyesi, yüzeyden itibaren 6 m ile 15 m arasında değişmektedir.

Van ili merkez mahallelerin batı ve kuzey batısında yer alan Yalı, Altıntepe, Abdurrahman ve İskele Mahalleleri’nin baskın birimlerini ise gri, yeşil renkli göl çökellerine ait killi oluşmaktadır (Grafit, 2012). Söz konusu killerin SPT-N değerleri 37 ile 50 arasında değişmektedir.

Bununla birlikte Van ili merkez mahallelerinde açılmış bulunan 81 adet jeoteknik sondaj logundan elde edilen yeraltı su seviye değerleri kullanılarak inceleme alanı için su seviye haritası elde edilmiştir (Şekil 1). Van ili yerleşim alanındaki su seviyesi 1663 m ile 1737.5 m arasında değişmekte olup ortalama 1692.4 m olarak hesaplanmıştır. Hidrolik gradyan değerinin (0.019) nispeten yüksek olduğu inceleme alanında alansal yeraltı suyu akım yönü



Şekil 6. a) Van ili yerleşim alanına ait katı alan modeli, b) D-B ve K-G hatlı jeolojik kesitler.

Figure 6. a) The solid model of the central districts of Van province b) E-W and N-S geological cross-sections



doğudan (Erek Dağı) batıya (Van Gölü) doğru gerçekleşmektedir. Van ili yerleşim alanının doğu kesimini oluşturan 1720 m ile 1750 m kotları arasındaki bölgedeki (Şerefiye, Cumhuriyet, S. Fehmi Arvasi ve Hacıbekir Mahalleleri) yüzeyden itibaren ortalama su seviyesi 10.1 m olup 6 m ile 15 m arasında değişmektedir (Çizelge 2). Cevdetpaşa, Hafiziye, Alipaşa ve Akköprü Mahalleri'nin bulunduğu orta kesimdeki (1690 m ile 1720 m arası) yüzeyden itibaren ortalama, en düşük ve en yüksek yeraltısuyu seviyesi sırası

değerlerinin, depremin merkez üssüne göre (Van-Edremit) çok daha yüksek değerlerde kaydedilmesi, yer hareketleri ile zemin bileşimi arasındaki etkileşimin yüksek olabileceğini ve meydana gelen yapısal hasarların da ciddi boyutlarda olabileceğini göstermiştir.

### Zemin büyütmesi

Alüvyal zeminlerin büyütme değeri, bir depremin ana özelliklerini büyük ölçüde

Çizelge 2. Van ili yerleşim alanında su seviye ölçümleri.

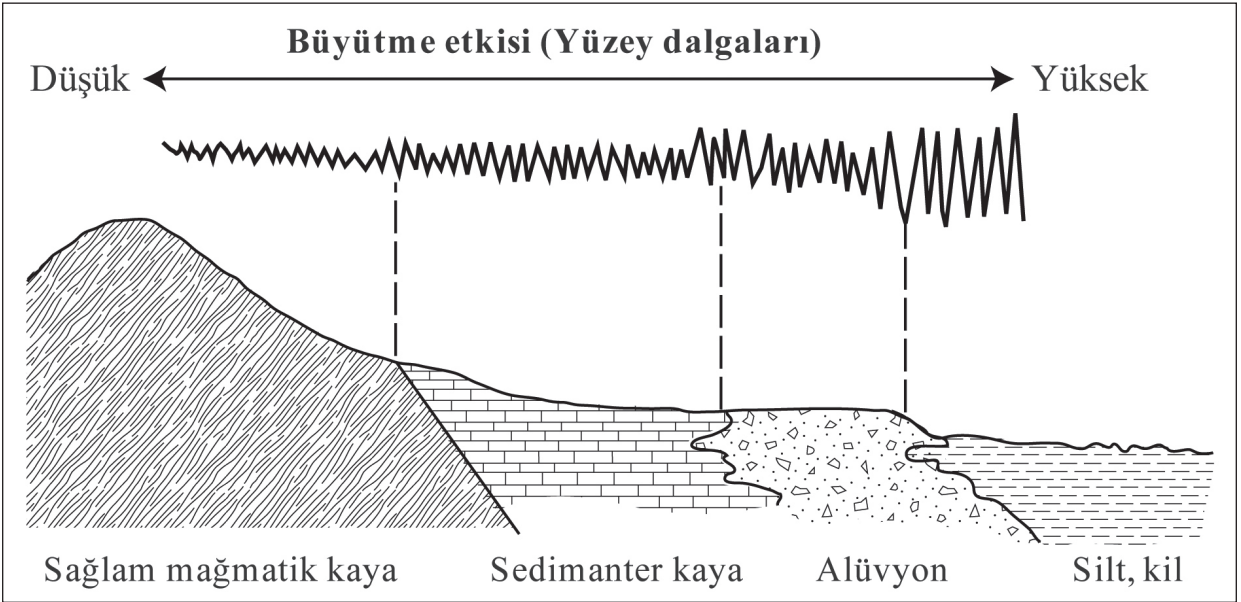
Table 2. Measurements of groundwater level at the central districts of Van province.

Bölge	n	Ortalama	Yeraltısuyu Seviyesi		Standart Sapma
			En Düşük	En Yüksek	
Batı (1660-1690)	35	6.2	1.0	10.0	1.94
Orta (1690-1720)	30	7.5	4.3	10.0	2.09
Doğu (1720-1750)	16	10.1	6.0	15.0	2.61

ile 7.5 m, 4.3 m ve 10.0 m olarak hesaplanmıştır. 1660 m ile 1690 m kotları arasında yer alan batı kesimde yüzeyden itibaren en düşük ve en yüksek su seviyesi 1 m ile 10 m arasında değişmekte olup ortalama 6.2 m ile temsil edilmektedir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen yeraltısuyu seviye hesaplamalarının Akdemir (1996) ve Özler (2004) ile uyum içinde olduğu görülmektedir.

Yerleşim alanındaki yapı kalitesi dikkate alındığında, bölgede meydana gelebilecek olan yakın odaklı orta büyüklükteki bir depremde ( $M_w$ : 6 - 6.5) oluşacak hasarın boyutu önceki çalışmalarda belirtilmektedir (Selçuk, 2003; Çiftçi vd., 2004; Selçuk ve Beyaz, 2005; Özvan vd., 2005; Selçuk vd., 2010). 9 Kasım 2011'de meydana gelen depremde, Van ilindeki ivme

değiştirebilir. Bu değişiklik genellikle depremin süresinde ve artan maksimum ivme artışında gözlenmektedir. Bir çok araştırmacı genç alüvyal zeminlerde meydana gelen büyütme oranlarının dolayısıyla ivme değerlerinin sağlam zeminlere oranla oldukça yüksek olduğunu göstermiştir (Borcherdt ve Gibbs, 1976; Midorikawa, 1987; Shoji vd., 2005; Kamalian vd., 2008) (Şekil 7). Ayrıca, Shoji vd. (2005) yumuşak zeminlerde meydana gelen hareketin süresinin arttığını belirtmiştir. Bazı jeolojik birimlerin zemin büyütme faktörü üzerindeki etkisi Çizelge 3'te verilmektedir. Van ili yerleşim alanı düşünüldüğünde Pliyo-Kuvaterner yaşlı göl ve yelpaze çökellerindeki büyütme değerleri söz konusu çizelgeye göre 2.10 ile 3.0 arasında



Şekil 7. Bir sismik aktivite sırasında büyütme değeri ile jeolojik birimler arasındaki genelleştirilmiş ilişki (Keller ve Pinter, 1996).  
Figure 7. Generalized relationship between near-surface earth material and amplification of shaking during a seismic event (Keller and Pinter, 1996).

Çizelge 3. Jeolojik birimlerin zemin büyütme değerleri ile olan ilişkileri.

Table 3. The relations between the geological units and the soil amplification.

Kaynak	Jeolojik Birim	Zemin Büyütme
Borcherd ve Gibbs (1976)	Körfez çamuru	11.2
	Alüvyon	3.9
	Santa Clara Formasyonu	2.7
	Great Valley Dizisi	2.3
	Franciscan Formasyonu	1.6
	Granit	1.0
Midorikawa (1987)	Holosen	3.0
	Pleyistosen	2.1
	Kuvaterner volkanik kayalar	1.6
	Miyosen	1.5
	Tersiyer öncesi	1.0

değişmektedir. Yer hareketinin belirli bir derinlik içerisindeki ortalama kayma dalgası hızı, zemin büyütmesi ile yakından ilişkilidir. Zemin büyütmesine bağlı mikrobölgeleme çalışmalarında büyütme değerini tanımlayan parametre, yüzeyden itibaren derine doğru ilk 30.0 m derinlik için ortalama kayma dalgası ( $V_{s30}$ ) hızıdır (Joyner ve Fumal, 1984; Midorikawa, 1987; Borcherdt vd., 1991; Shoji vd., 2005).

Van ili yerleşim alanında dağılım gösteren zemin birimleri, 1750 m ile 1660 m kotları arasında yaklaşık 90 m'lik kalınlık için ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Zemin birimlerinin tanımlanmasında eğimli bir topografyada açılmış olan sondaj verilerinden yararlanılarak, sondaj verilerinin alt ve üst seviyelerinde iyi bir korelasyon sağlanmıştır. Bu korelasyon yapılırken zeminlerin indeks özellikleri ve SPT-N değerleri dikkate alınmıştır. 90 m'lik kalınlık

dikkate alınarak, Van yerleşim alanı batı, orta ve doğu olmak üzere 3 ayrı bölgede tanımlanmış ve bazı kabul ve genellemeler doğrultusunda her bölge kendi içerisinde karşılaştırılmıştır. Bu tanımlamayı yapmadaki amaç, yapılacak olan jeoteknik değerlendirme için daha hassas veri aralığı sağlamaktır. Şekil 8'de görüldüğü gibi litolojik birimler 1750 m - 1720 m (doğu),

Hasançebi ve Ulusay, 2006; Ulugergerli ve Uyanık 2007; Dikmen, 2009; Akın vd., 2011). Ancak bu çalışmada, ortalama kayma dalgası hızının belirlenmesinde litolojik birimlerin kalınlık değerlerini dikkate alan, Tamura ve Yamazaki (2002) tarafından tanımlanan aşağıdaki eşitlik (1) kullanılmıştır.

1750 m - 1720 m kotları arası genel zemin dağılımı

Der.	Litoloji	SPT N	$V_s$	$V_{s30}$	Zemin büyütme
0	Siltli kum (SM)	34	272.9	316.8	2.16
	Silt (ML)	30	283.1		
10 m	Siltli kum (SM)	33	337.8		
20 m	Silt (ML)	22	327.9		
30 m	Siltli kum (SM)	28	362.6		

1720 m - 1690 m kotları arası genel zemin dağılımı

Der.	Litoloji	SPT N	$V_s$	$V_{s30}$	Zemin büyütme
0	Siltli kum (SM)	26	259.5	312.5	2.17
10 m	Siltli kum (SM)	29	322.5		
20 m	Siltli kum (SM)	22	330.5		
	Silt (ML)	21	337.6		
30 m	Silt (ML)	21	337.6		

1690 m - 1660 m kotları arası genel zemin dağılımı

Der.	Litoloji	SPT N	$V_s$	$V_{s30}$	Zemin büyütme
0	Silt (ML)	27	261.3	297.3	2.23
	Kil (CL)	28	297.9		
10 m	Siltli kum (SM)	26	332.7		
20 m	Siltli kum (SM)	26	332.7		
30 m	Siltli kum (SM)	26	332.7		

Şekil 8. Sondajlardan elde edilen bölgelere ait litolojiler ve zemin büyütme değerleri.

Figure 8. Lithologies and soil amplification values for different zones obtained from the boreholes.

1720 m - 1690 m (orta) ve 1690 m - 1660 m (batı) kotlarında 30 metrelik istifler içerisinde tanımlanmıştır. Her bölgede litolojik birimlerin 30 m'lik kalınlık değerlerinde ortalama SPT-N değerleri dikkate alınmıştır. Ayrıca, 30 m'lik kalınlık değerlerinde,  $V_{s30}$  değerlerinin elde edilmesinde kullanılan SPT-N değerleri Boore (2004) ve Kuo vd. (2011) tarafından verilen istatistiksel ilişkilerle de kontrol edilmiştir. Bu tür yaklaşımlar sığ derinlikli mevcut verinin kullanımına olanak sağlamaktadır.

SPT-N değerleri ile kayma dalgası hızı arasında bir çok ilişki geliştirilmiştir (Ohta ve Goto, 1978; Seed ve Idriss, 1981; Lee, 1990; Kiku vd., 2001; Tamura ve Yamazaki, 2002;

Bu eşitlikte;  $V_s = 105.8 \times N^{0.187} \times D^{0.179}$

$V_s$ : ortalama kayma dalgası hızını (m/s)

N: ortalama SPT-N değerlerini

D: ise derinliği (m) ifade etmektedir.

Van ili merkez mahallelerinde SPT-N değerlerine göre elde edilen kayma dalgası hızları 261.3 m/s ile 357.7 m/s arasında değişmektedir. Ulusal deprem tehlikelerini azaltma programı (NEHRP) tarafından tanımlanan zemin birimleri dikkate alındığında, bu değerler orta sıkı-sert özellikteki (D sınıfı) zemin birimleri olarak tanımlanmıştır (BSSC, 2003). Bu değerler Van merkez istasyonunda tanımlanan değerlerle de uyumludur (Sandıkkaya vd. 2010). Van ili

yerleşim alanındaki zemin büyütmesi değerleri, ortalama kayma dalgası hızı ile zemin büyütmesi arasındaki ilişkiden (Midorikawa, 1987) yararlanılarak elde edilmiştir.

$$A = \frac{68}{V_s^{0.6}} \quad V_s < 100 \text{ m/s} \quad (2)$$

$$A = 1.0 \quad V_s > 100 \text{ m/s}$$

Burada;

A: Zemin büyütmesi

$V_s$ : Ortalama kayma dalgası hızıdır (m/s).

Eşitlik 1 ve 2'nin değerlendirilmesi sonucunda Van ili yerleşim alanı batı, orta ve doğu kısmındaki ortalama kayma dalgası hızı ve zemin büyütmesi değerleri sırası ile 297.3 m/s, 312.5 m/s, 316.8 m/s ve 2.23, 2.17, 2.16 olarak hesaplanmıştır (Şekil 8). Söz konusu zemin büyütme değerleri, meydana gelebilecek herhangi bir depremde, yüzey etkisini, belirtilen değerler kadar arttırabileceğini göstermektedir. Nitekim 9 Kasım 2011  $M_w$ :5.6 büyüklüğündeki Edremit-Van depreminde, Edremit (102.9 cm/sn<sup>2</sup>) ve Van istasyonlarında kaydedilen ivme değerleri (245.9 cm/sn<sup>2</sup>) arasında yaklaşık 2.4 kat büyütme etkisi söz konusudur (Çizelge 1). Her ne kadar deprem istasyonları aynı lokasyonda bulunmasalar da, depremin merkez üssü olan Edremit ilçesinden uzaklaştıkça depremin ivmesinin azalması beklenir. Oysa yaklaşık 18 km uzaklıkta bulunan Van merkez istasyonunda kaydedilen ivme değeri, alüvyal gevşek zeminlerin depremin ivme değerindeki büyütme etkisini göstermektedir. Depremler sırasında istasyonlarda ölçülen ivmeler üzerindeki büyütme etkisi, ampirik yaklaşımlarla elde edilen büyütme değerleri ile uyum içersindedir. Yine de bölgede meydana gelen depremin ivme değerlerinin ve süresinin

düşük olması, zeminden kaynaklanabilecek deformasyonların ve ciddi yapı hasarlarının oluşmasını engellemiştir.

### Yapısal Hasarlar

23 Ekim - 30 Kasım 2011 tarihleri arasında Van ilinde 5 ayrı depremin kısa zaman aralıklarıyla meydana gelmesi (Koçyiğit vd., 2011), bölgede yeni depremlerin oluşmasına yönelik kaygıları da arttırmaktadır. Van ilinin 20 km kadar kuzeyinde, 23 Ekim 2011 tarihinde ve  $M_w$ :7.2 büyüklüğüne meydana gelen deprem, Erciş ilçesine oranla Van ili yerleşim alanında çok daha az can kaybına neden olmuştur. Bu durum, bölgede meydana gelen hasarın ciddi boyutta olmadığı yanılgısı yaratsa da, Van ili yerleşim alanı orta kesimde (Cumhuriyet, Alipaşa, Halılağa ve Hafiziye Mahalleleri) düşük kalitede ve yüksek katlı binaların, büyük bir kısmında az/orta derecede hasara neden olurken bir kısmının da yıkılmasına neden olmuştur. Bu depremden yaklaşık 18 gün sonra meydana gelen  $M_w$ : 5.6 büyüklüğündeki ikinci deprem ise Van ili yerleşim alanını yüksek derecede etkilemiştir. Bu depremde hafif ve orta hasarlı binaların bir kısmı yıkılırken, ilk depremde hasar almayan binaların büyük bir kısmı hafif ve orta derecede hasar görmüştür.

Van ilindeki hasar tespit çalışmaları depremden kısa bir süre sonra tamamlanmıştır. Kesin hasar tespit listeleri Van Valiliği tarafından ayrıntılı bir şekilde düzenlenmiş ve Van ili merkez mahallelerine ait hasar dağılım haritası oluşturulmuştur (Çizelge 4 ve Şekil 9). Şekil 9'da hasar dağılımına bakılacak olursa, en çok hasarın Alipaşa, Halılağa, Cumhuriyet ve Hafiziye Mahalleleri gibi Van ili yerleşim alanının orta kesiminde olduğu görülmektedir. Bu mahalleler yüksek katlı yapılaşmanın yoğun



Çizelge 4. 2011 Van depremlerinde hasar gören bina sayıları.

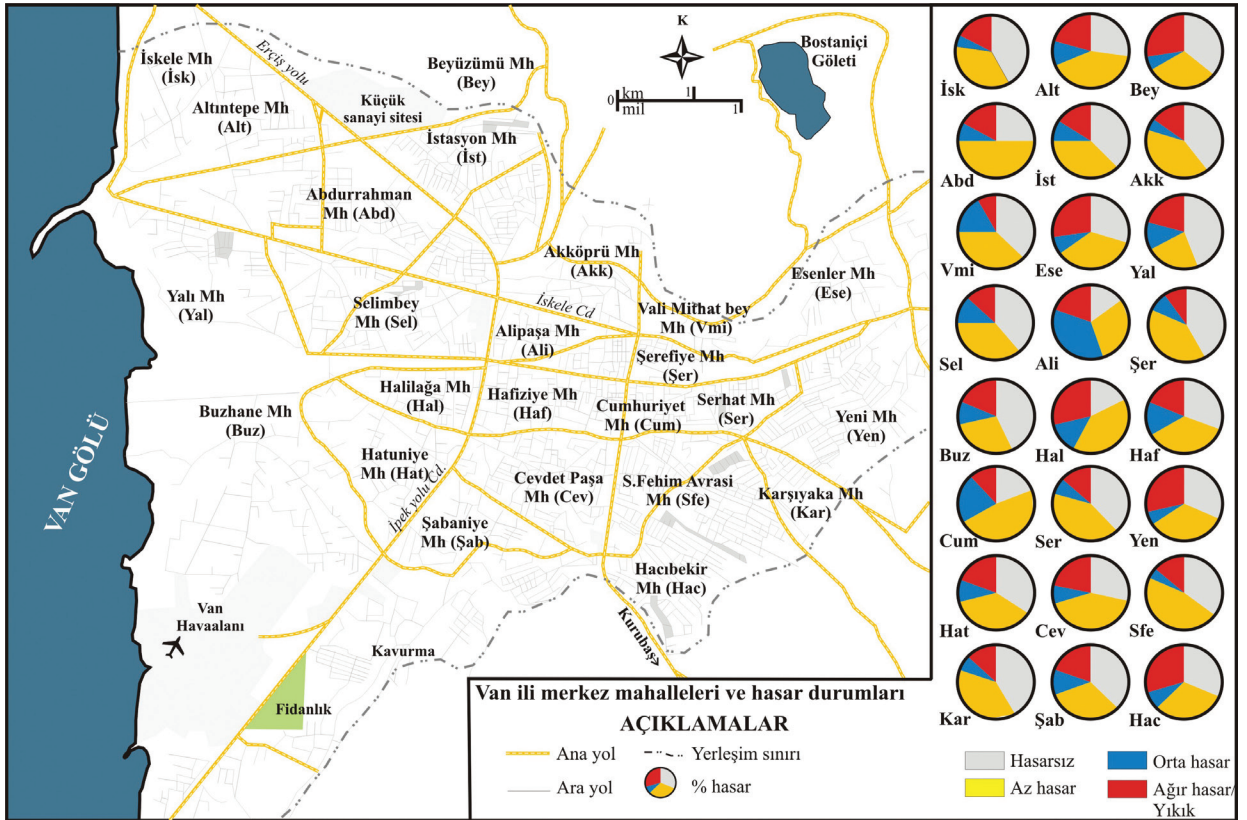
Table 4. The numbers of buildings damaged during the 2011 Van earthquakes.

Mahalleler	Hasarsız	Az hasarlı	Orta hasarlı	Ağır hasar/yıkık	%Hasarsız	% Az hasarlı	% Orta hasarlı	% Ağır hasar/yıkık
A. Gazi	472	913	171	262	25.9	50.2	9.4	14.5
Akköprü	500	500	50	236	38.8	38.8	3.8	18.6
Alipaşa	159	308	305	216	16.1	31.2	30.9	21.8
Altintepe	358	641	90	284	26.1	46.7	6.5	20.7
Beyuzumu	570	462	63	449	36.9	29.9	4.1	29.1
Buzhane	159	120	27	74	41.8	31.6	7.1	19.5
Cevdetpaşa	274	420	60	200	28.7	44.0	6.3	21.0
Cumhuriyet	132	275	113	63	22.6	47.2	19.4	10.8
Esenler	200	265	50	190	28.4	37.6	7.1	26.9
Hacıbekir	900	950	150	1000	30.0	31.7	5.0	33.3
Hafiziye	182	260	80	123	28.2	40.3	12.4	19.1
Halilağa	265	380	222	312	22.5	32.2	18.8	26.5
Hatuniye	232	263	64	180	31.4	35.6	8.7	24.3
İskele	449	379	54	187	42.0	35.5	5.1	17.4
Karşıyaka	800	600	70	300	45.0	34.0	4.0	17.0
S. Fehim	300	450	42	150	31.8	47.8	4.5	15.9
Şabaniye	800	700	200	400	38.1	33.3	9.5	19.1
Selimbey	1007	981	332	370	37.4	36.5	12.3	13.8
Serefiye	700	714	157	169	40.2	41.0	9.0	9.8
Serhat	259	268	56	100	37.9	39.2	8.2	14.7
V.Mithat	898	900	399	244	36.8	36.9	16.4	9.9
Yalı	400	226	69	200	44.7	25.3	7.7	22.3
Yeni	420	444	75	500	29.2	30.9	5.2	34.7
İstasyon	473	497	83	233	36.8	38.6	6.5	18.1

olarak gözlendiği kesimlerdir. Bu mahallelerde meydana gelen yapı hasarlarının bir kısmı zemin durumu ile ilişkilidir. Söz konusu mahallelerde ağırlıklı olarak kohezyonsuz daha gevşek birimlerin olması ve su seviyesinin yüzeye yakın olmasının bu alanlarda hasarın artmasına

neden olduğu düşünülmektedir (Şekil 10). Buna karşılık son zamanlarda bölgede yapılan zemin iyileştirme çalışmalarını içeren projelerde, yüksek dayanımlı kolonlar üzerine inşa edilen çok katlı binalarda, söz konusu depremde çevre binalarda ciddi yapı hasarları oluşmasına

Selçuk ve Aydın



Şekil 9. Van ili merkez mahalleleri hasar dağılımı.

Figure 9. The distribution of structure damage in the central districts of Van province

rağmen bu yapılarda herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. Merkez mahallelerin orta kesimlerinden doğuya doğru (Erek Dağı) gidildikçe zeminin daha sağlam (zemin kısmen kohezyonlu ve göreceli olarak daha sıkı) ve göreceli olarak yeraltı seviyesinin yüzeyden itibaren daha derinde olduğu görülmektedir (Şekil 6b, B-D hatlı kesit). Van ili doğu kesiminde bulunan binalarda gözlenen yapısal hasar dağılımı orta kesimde bulunan binalara göre daha azdır. Bu durum; doğu kesimin zemin özelliklerinin orta kesime oranla daha iyi olması, su seviyesinin göreceli olarak daha derinde bulunması ve yüksek katlı yapılaşmanın daha

az olması gibi etkenlerden kaynaklanmaktadır. Benzer olarak, Abdurrahman, Altın-tepe ve İskele Mahalleleri gibi merkez mahallelerin B-KB kesiminde yapılan sondaj çalışmaları, bu kesimlerin göl çökellerine ait sert özellikte bulunan killi birimlerin üzerinde bulunduğunu göstermektedir. Van ili yerleşim alanına oranla bu bölgedeki yeraltı seviyesi yüzeye daha yakındır. Bu kesimler daha iyi zemin koşulları sergilemelerine ve diğer kesimlere oranla yeraltı seviyesinin yüzeye yakın olması dezavantajına rağmen, hasar boyutları açısından büyük bir fark gözükmemektedir. Ancak, bu kesimlerde meydana gelen hasarın büyük



Şekil 10. Hasar derecesinin yüksek olduğu mahallelerden görünüm.

Figure 10. A view of some districts in high degree damage.

bir kısmının yapı kalitesi ile ilişkili olduğu söylenebilir. Bu alandaki yapılaşma düşük kaliteli kısmen 2-3 katlı ve genellikle yığma yapılardan oluşmaktadır. 23 Ekim ve 9 Kasım depremlerinin spektral ivme değerlerinin, 2007 yönetmeliklerinde Z3 sınıfı için verilen tasarım spektrumu ile karşılaştırılmasında, söz konusu ivme değerlerinin düşük olduğu görülmektedir. Bu durum Van ili yerleşim alanında meydana gelen hasarların büyük bir kısmının, yerleşim alanının bulunduğu zemin özellikleri ile birlikte standart dışı malzeme kullanımı, işçilik hatası ve projelendirilmemiş yüksek katlı yapılaşmadan kaynaklandığına işaret etmektedir.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Van ili yerleşim alanı Plio-Kuvaterner yaşlı göl-akarsu ve yelpaze çökelleri üzerinde yer almaktadır. Söz konusu çökeller farklı litolojik birimlere sahip olup, yatay ve düşey mesafelerde anlak değişimler göstermektedirler. Jeoteknik sondaj verileri dikkate alındığında, Van ili yerleşim alanının merkez kesimi genel olarak orta sıkı-sıkı özellikte bulunan kumlu birimler üzerindedir. Bu kesimlerde su seviyesi doğu kesime oranla yüzeye daha yakındır. Merkez mahallelerin orta kesimlerinden doğuya doğru gidildikçe zemin durumunun göreceli olarak

sağlam bir yapı sergilediği belirlenmiştir. Bu alanlarda su seviyesi daha derinlerde, zemin kısmen kohezyonlu ve sıkı özelliktedir.

Van ili yerleşim alanındaki yapısal hasarların en çok Alipaşa, Halılağa, Cumhuriyet ve Hafiziye Mahallelerin bulunduğu, merkez mahallelerin orta kesimlerinde olduğu belirlenmiştir. Bu mahallelerde meydana gelen yapı hasarlarının bir kısmı, zemin durumu ile ilişkilendirilmiştir. Söz konusu mahalleler ağırlıklı olarak kohezyonsuz, orta sıkı kumlu alüvyal birimler üzerindedir. Meydana gelen yapısal hasarın büyük bir kısmı ise zemin durumu ile birlikte düşük kalitede malzeme kullanımı, yüksek katlı ve kalitesiz yapılaşmadan kaynaklanmaktadır.

Van ili yerleşim alanına yakın konumda bulunan ve orta büyüklükte deprem yaratabilecek birden fazla fay hattı (Gürpınar, Özalp, Erçek, vb.) söz konusudur. Van ili yerleşim alanındaki zemin koşulları dikkate alındığında, gerek depremin tekrarlı yüklerinden gerekse de zeminden kaynaklanan deformasyonların, (zemin büyütmesi, sıvılaşma vb.) Van ili yerleşim alanında can ve mal kayıplarının artmasına neden olabileceğini işaret etmektedir. Nitekim 9 Kasım 2011'de meydana gelen, merkez üssü Edremit olan depremin, Van merkez istasyonunda ölçülen ivme değerleri (maks. 245.9 cm/sn<sup>2</sup>), Edremit istasyonunda ölçülen değer (maks. 102.9 cm/sn<sup>2</sup>) 2.4 katıdır. Bu değer Van ili yerleşim alanında elde edilen zemin büyütme değerleri ile uyumludur. Van ili yerleşim alanı batı, orta ve doğu kısmında hesaplanan zemin büyütmesi değerleri sırası ile 2.23, 2.17 ve 2.16'dır.

Van ilinde 5 ayrı depremin (23 Ekim (M:7.2), 25 Ekim (M:5.5), 9 Kasım (M: 5.6), 15 Kasım (M: 5.1) ve 30 Kasım (M:5.0)) kısa zaman aralıklarıyla meydana gelmesi, olası bir

depremde can ve mal kayıpları konusundaki endişeyi arttırmaktadır. Dolayısı ile olası bir depremin neden olabileceği zararların ve söz konusu bu endişelerin en aza indirgenebilmesi için, zemin koşullarının dikkate alınması, yeni cazibe merkezlerinin sağlam kaya zeminlerde ve topografik olarak yerleşime uygun alanlarda seçilmesi ve oluşturulacak yapılaşmanın yönetmeliklere uygun yapılması gerekmektedir.

## KATKI BELİRTME

Bu çalışma, 1990 yılından günümüze kadar Van il merkezi ve çevresinde yapılan jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik amaçlı çalışmaları temel almıştır. Yazarlar, bölgenin jeolojik katı alan modelinin elde edilmesinde yardımlarından dolayı DSİ, YE Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü'ne, İller Bankası'na ve Aras Mühendislik'e, sondaj loglarının derlenmesinde jeoloji mühendisi Sema Çakar'a, NETCAD programında koordinatların işlenmesinde Dr. Azad Sağlam Selçuk'a ve değerli görüş ve bilgileriyle katkıda bulunan hakemlere çok teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

- Acarlar, M., Bilgin, E., Elibol, E., Erkal., T., Gedik, İ., 1991. Van gölü doğu ve kuzeyinin jeolojisi, MTA Genel Müdürlüğü, No: 1061.
- AFAD, 2011. 23 Ekim 2011 Van depremlerinin kuvvetli yer hareketleri kayıtlarının değerlendirilmesi, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Van Raporu, 19 s.
- Akdemir, S., 1996. Van merkez ve çevresinin hidrojeoloji incelemesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış).



- Akın, M.K., Kramer, S.L., Topal, T., 2011. Empirical correlations of shear wave velocity ( $V_s$ ) and penetration resistance (SPT-N) for different soils in an earthquake-prone area (Erbaa-Turkey), *Engineering Geology*, 119 (1-2), 1-17
- Aksoy, E., Tatar, Y., 1990. Van İli doğu-kuzeydoğu yöresinin stratigrafisi ve tektoniği. *TÜBİTAK Doğa Dergisi*, 14, 628-644.
- Atsori, S., Tolomei, C., Salvi, S., Zoffoli, S., 2011. Co-seismic ground displacement and preliminary source models for the 10/23/2011, Mw 7.2 Van earthquake, Eastern Turkey, *SIGRIS activation report*, PR6-7, 9 p.
- BSSC, 2003. The 2003 HEHRP Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, Building Seismic Safety Council, FEMA, Washington D. C.
- Bear, J., 1988. *Dynamics of Fluids in Porous Media*. Dover Publications, 784 p.
- Boore, D.M., 2004. Estimating  $V_s(30)$  from shallow velocity models (Depths <30 m). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94 (2), 591-597.
- Borcherdt, R. D., Gibbs, J. F., 1976. Effects of local geological conditions in the San Francisco Bay region on ground motions and the intensities of the 1906 earthquake, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 66, 467-500.
- Brocherdt, R.D., Wentworth, C.M., Janssen, A., Fumal, T., Gibbs, J., 1991. Methodology for predictive GIS mapping of special study zones for strong ground shaking in the San Francisco Bay Region, 4th International Conference on Seismic Zonation. Vol. 3, 545-552.
- CEDIM, 2011. Comparing the current impact of the Van Earthquake to past earthquakes in Eastern Turkey, CEDIM Forensic Earthquake Analysis Group, Report 4, 28p.
- Çiftçi, Y., Selcuk, L., Özvan, A., Akkaya, İ., Sengül, A., Aras, B., 2004. Seismic risk analysis for the settlements in the basin of Lake Van, Turkey, *Proceedings of 5 th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology*, Vol.2, Thessaloniki, Greece, 964-966.
- Dikmen, U., 2009. Statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance for soils. *Journal of Geophysics and Engineering*, 6, 61-72.
- Emre, Ö., Duman T.Y., Özalp, S. Elmacı, H., 2011. 23 Ekim 2011 Van depremi saha gözlemleri ve kaynak faya ilişkin ön değerlendirmeler. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 22 s.
- Grafit, 2012. Van ili Kalecik köyü imara esas jeolojik-jeoteknik etüd raporu, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Van, 138 s.
- Hasançebi, N. Ulusay, R., 2006. Evaluation of site amplification and site period using different methods for an earthquake-prone settlement in Western Turkey. *Engineering Geology*, 87, 85-104.
- Joyner, W.B., Fumal, T., 1984. Use of Measured Shear-Wave elocity for predicting geological site effects on strong motion, *Proceedings of Eighth world conferance on Earthquake Engineering*, Prentice Hall Incorporation, California, USA, Vol 2, 777-783.
- Kamalian, M., Jafari, M.K., Ghayamghamian, M.R., Shafiee, A., Hamzehloo, H., Haghshenas, E., Sohrabi-bidar, A., 2008. Site effect microzonation of Qom, Iran. *Engineering Geology*, 97, 63-79.
- Keller, E.A., Pinter, N., 1996. *Active Tectonics*, Englewood Cliffs, Prentice Hall Incorporation, New Jersey, 338p.
- Kiku, H., Yoshida, N., Yasuda, S., Irisawa, T., Nakazawa, H., Shimizu, Y., Ansal, A., Erkan, A., 2001. In-situ penetration tests and soil profiling in Adapazari, Turkey. *Proc. ICSMGE/TC4*

- Satellite Conference on Lessons Learned from Recent Strong Earthquakes, 259-265.
- Koçyiğit A., Yılmaz A., Adamia S., Kuloshvili S., 2001. Neo-tectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: implication for transition from thrusting to strike-slip fault, *Geodinamica Acta*, 14(1-3),177-195.
- Koçyiğit, A., 2002. Doğu Anadolu'nun neotektonik özellikleri ve depremselliği. Doğu Anadolu Jeoloji Çalıştayı – 2002 (DAJEO-2002), Yüzüncü Yıl Üniversitesi, bildiri özleri kitabı, Van, 2-4 s.
- Koçyiğit, A., Devenci, Ş., Kaplan M., 2011. Van depremleri raporu (23 Ekim - 30 Kasım 2011) Orta Doğu teknik Üniversitesi (ODTÜ) Jeoloji Mühendisliği Bölümü Aktif Tektonik ve Deprem Araştırma Laboratuvarı, 22 s.
- KOERI, 2011. Van earthquake (Mw 7.2) evaluation report as of 27 October 2011. Bogazçi University, Kandilli Observatory and Earthquake research institute, 3p.
- KOERI, 2012. Son Depremler, Kandili Rasathanesi ve Deprem araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi, <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqmap/gmapt.asp> (Son Erişim: 26 Nisan 2012).
- Kuo, C.H., Wen, K.L., Hsieh, H.H., Chang, T.M., Lin, C.M., Chen, C.T., 2011. Evaluating empirical regression equations for Vs and estimating Vs30 in northeastern Taiwan. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31 (3), 431-439
- Lee, S.H., 1990. Regression models for shear wave velocities *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 13, 519-532.
- METU, 2011a. Processed mainshock accelerometric recordings of the 23 October 2011 Van earthquake, Report no: METU/EERC 2011-02, 18p.
- METU, 2011b. 23 Ekim 2011 Mw 7.2 Van depremi sismik ve yapısal hasara ilişkin saha gözlemleri. Report no: METU/EERC 2011-04, 76s.
- Midorikawa, S., 1987. Prediction of isoseismal map in the Kanto plain due to hypothetical earthquake. *Journal of Structural Engineering*, 33, 43-48.
- NRC, 1973. The Great Alaska Earthquake of 1964, National Research Council (US), National Academy of Science, DC, 1019 p.
- Ohta, Y., Goto, N., 1978. Empirical shear wave velocity equation in terms of characteristic soil indexes. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 6, 167-187.
- Örçen, S., Tolluoğlu, U., Köse, O., Yakupoğlu, T., Çiftçi, Y., Işık, A., Selçuk, L., Üner, S., Özkaymak, Ç., Akkaya, İ., Özvan, A., Sağlam, A., Baykal, M., Özdemir, Y., Üner, T., Karaoğlu, Ö., Yeşilova, Ç., Oyan, V., 2004. Van Şehri Kentleşme alanında yüzeyleyen Pliyo-Kuvaterner çökellerinde sedimentolojik özelliklerin ve aktif tektonizmanın depremselliğe yönelik incelenmesi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, TÜBİTAK Proje Raporu, Proje No. YDABAG 101Y100 (VAP 10), 161 s (Yayımlanmamış).
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Bozkurt, E., Dirik, K., Topal, T., Alan, H., Çağlan, D., 2011. 23 Ekim 2011 Tabanlı-Van Depreminin Sismik Jeomorfolojisi ve Doğu Anadolu'daki Aktif Tektonik Yapılarla Olan İlişkisi. *JMO Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 35 (2), 175-199.
- Özler, H.M., 2004. Van Akiferinin Hidrojeolojisi ve Tuzlanma Nedenleri. TÜBİTAK-YDABAG, Proje No: 101Y097, İstanbul.
- Özvan, A., Akkaya, İ., Tapan, M., Şengül, A., 2005. Van yerleşkesinin deprem tehlikesi ve olası bir depremin sonuçları, Kocaeli Deprem sempozyumu, bildiriler kitabı, Kocaeli Üniversitesi, 1386-1393.
- Panagiotis, C., 2011. Preliminary report Van Earthquake-Turkey Mw 7.2 -23 October 2011, National Kapodistrian University of Athens, 59 p.

- Sandikkaya, M. A., Yılmaz, M. T., Bakır, B. S., Yılmaz, Ö., 2010 Site classification of Turkish national strong-motion stations, *Journal of Seismology*, (2010) 14, 543–563.
- Seed, H.B., Idriss, I.M., 1981. Evaluation of liquefaction potential sand deposits based on observation of performance in previous earthquakes. ASCE National Convention, 81-544.
- Selçuk, L., 2003. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Zeve Kampusu yerleşim alanının Mühendislik Jeolojisi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Van, Yüksek Lisans Tezi, 150s (yayımlanmamış).
- Selçuk, L., Beyaz, T., 2005. Van Gölü havzasının probabilistik sismik tehlike analizi. 40. Yıl Jeoloji Sempozyumu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 221-222.
- Selçuk, L., Selçuk, A., Beyaz, T., 2010. Probabilistic seismic hazard assessment for Lake Van basin, Turkey. *Natural Hazard*, 54(2010), 949-965.
- Shoji, Y., Tani, K., Kamiyama, M., 2005. A study on the duration and amplitude characteristics of earthquake ground motions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25, 505-512.
- Tamura, I., Yamazaki, F., 2002. Estimation of S-wave velocity based on geological survey data for K-NET and Yokohama seismometer network. *Proceedings of JSCE (Japan Society of Civil Engineers)*, Vol. 696, 237-248.
- TDY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Ankara, 159s.
- Ulugergerli, U. E., Uyanık, O., 2007. Statistical correlations between seismic wave velocities and SPT blow counts and the relative density of soils. *Journal of Testing and Evaluation*, 35, 1-5.
- Ulusay, R., Kumsar, H., Konagai, K., Aydan, Ö., 2012. The Characteristics of Geotechnical Damage by the 2011 Van-Erciş Earthquake. *Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake*, March 1-4, 2012, Tokyo, Japan, 1926-1937.
- Üner, S., Yeşilova, Ç., Yakupoğlu, T., Üner, T., 2010. Pekişmemiş sedimanlarda depremlerle oluşan deformasyon yapıları (sismitler): Van Gölü Havzası, Doğu Anadolu. *Yerbilimleri*, 31/1, 53-66.
- Youd, T.L., Idriss, I.M., (co-chair) 2001. Liquefaction resistance of soils. Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshop on evaluation of liquefaction resistance of soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(4):817-833.
- YTU, 2011. 23 Ekim 2011 Van depremi ön inceleme raporu, Yıldız Teknik Üniversitesi, 61s.

