

23 EKİM 2011 VAN DEPREMİ ARTÇI ŞOKLARININ ZAMANSAL VE UZAYSAL DAĞILIMI

TEMPORAL AND SPATIAL DISTRIBUTION OF AFTERSHOCKS OF VAN EARTHQUAKE ON 23 OCTOBER 2011

Burçin Didem Tamtaş^{1*}, Yıldız Altınok¹

¹ *İstanbul Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Avcılar İstanbul, Türkiye.*

Yayına Geliş (Received): 03.10.2016, Yayına Kabul (Accepted): 12.05.2017

Basım (Published): Nisan/April 2018

*Sorumlu yazar/Corresponding burcin.tamtas@istanbul.edu.tr

Öz

23 Ekim 2011 tarihinde merkez üssü Van ili Tabanlı Köyü ve büyüklüğü $M_w = 7.2$ olan bir deprem meydana gelmiştir. Depremde, 604 kişi hayatını kaybetmiş, 2608 kişi yaralanmış ve birçok bina yıkılıp hasar görmüştür. Bu çalışmada, 23 Ekim 2011 Van Depremi'ne ait depremsellik parametrelerinin uzaysal ve zamansal değişimleri Gutenberg-Richter Bağlantısı ve Omori Bağlantısından yararlanarak incelenmiştir. Artçı depremlerin ana şok dış merkezi civarında, kuzeydoğu - güneybatı uzanımlı eliptik bir kümelenme gösterdiği belirlenmiştir. Depremsellik parametrelerinden biri olan b değerlerinin $0.91 \leq b \leq 1.01$ arasında değiştiği ve zamanla arttığı saptanmıştır. Artçı depremlerin zamanla azalım oranını gösteren p değerlerinin; kümülatif deprem sayısı - zaman (gün) ilişkisi ile $1.04 \leq p \leq 1.22$ arasında ve Maximum Likelihood Methodu kullanılarak ise $1.34 \leq p \leq 1.68$ arasında değiştiği hesaplanmıştır. 23 Ekim 2011 Van Depremi'nden önce b değerlerinin, 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı şok verileriyle hesaplanan b değerlerinden düşük olduğu belirlenmiştir. Bu da bölgedeki etkin gerilmenin depremden önce yüksek olduğunu düşündürmektedir.

Anahtar Kelimeler: 23 Ekim 2011 Van Depremi, Artçı şok, b değeri, p değeri, Depremsellik, Gutenberg-Richter bağlantısı, Omori bağlantısı.

Abstract

The Van Earthquake had occurred on 23 October 2011 with the magnitude of $M_w 7.2$, its epicenter was Tabanlı village. There were 604 casualties, 2608 injuries and a lot of buildings were either collapsed or heavily damaged. The purpose of this study is to analyze the spatial and temporal changes of the seismicity parameters of Van Earthquake. Calculations are based on Gutenberg-Richter and Omori laws. Depending on the distribution of aftershocks it is been observed that the main accumulation is laying from NE to SW on the outer ring of the epicenter in an elliptical shape. It has been determined that the b value which is one of the seismicity parameters is changing in between $0.91 \leq b \leq 1.01$ and increases by time. It has been calculated that the p value which defines the declination of aftershocks by time, changes in between cumulative earthquake number vs. time (day) and $1.34 \leq p \leq 1.68$ based on Maximum Likelihood Method. It has been determined that the b values before the 23 October 2011 Van Earthquake are lower than the calculated b values by the aftershock data of the 23 October 2011 Van Earthquake, giving an impression of that the tension in the area was high before the earthquake.

Keywords: 23 October 2011 Van Earthquake, Aftershock, b - value, p - value, Seismicity, Gutenberg-Richter law, Omori law.

GİRİŞ

Türkiye deprem bölgeleri haritasına göre, 1. ve 2. derece deprem bölgesinde yer alan Van ve çevresi tarih boyunca birçok büyük ve yıkıcı depreme sahne olmuştur. Tarihsel dönemde meydana gelen depremlerin şiddeti V – X arasında değişirken, aletsel dönemde büyüklüğü $M_s \geq 7.0$ olan çok sayıda deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerden biri de 23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen, merkez üssü Van ili Tabanlı köyü olan $M_w = 7.2$ büyüklüğündeki depremdir. Depremde çok sayıda kişi hayatını kaybederken, Van ve Erciş'te büyük hasar meydana gelmiştir. Depremden sonra uzun süre devam eden ve büyüklüğü $1.0 \leq M_w \leq 5.9$ arasında değişen çok sayıda artçı şok meydana gelmiştir. 23 Ekim 2011 Van depremi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Pınar ve diğ. (2012), 23 Ekim 2011 Van Depreminin artçı şoklarının karakteristiklerini incelemişlerdir. De Gori ve diğ. (2014), 23 Ekim 2011 Van Depremi'nin artçı şok aktivitesini inceleyerek bölgeye ait b değeri dağılım haritaları oluşturmuşlardır. Utkucu ve diğ. (2014), 23 Ekim 2011 Van Depremi'nin sonlu-fay modellemesi ve üç büyük artçı depremin uzak alan nokta kaynak modellemelerini yaparak depremin sismotektonik özellikleri ile ilgili bilgiler vermişlerdir. Görgün (2013), büyüklüğü $4.0 \leq M_w \leq 7.2$ arasında değişen 108 olay için dalga formu ters çözüm yöntemiyle centroid moment tensör hesaplamıştır. Akıncı ve Antonioli (2012), 23 Ekim 2011 Van Depreminin kuvvetli yer hareketinin gözlemsel ve stokastik modellemesini yapmışlardır. Özkaymak ve diğ. (2011), Van depreminin sismik jeomorfolojisi ve Doğu Anadolu'daki aktif tektonik yapılarla olan ilişkisini incelemişlerdir. Altuncu Poyraz ve diğ. (2012) ise yaptıkları çalışmada 23 Ekim 2011 Van - Tabanlı Depremi'nin kırılma sürecini inceleyerek yırtılma yönünü ve faylanmaları belirlemişlerdir. Bu çalışmada, bölgenin depremselliği ile ilgili bilgi edinmek amacıyla depreme ait artçı şokların zamansal ve uzaysal dağılımı incelenmiştir. 23.10.2011 – 29.03.2016 tarihleri arasında meydana gelen artçı şok dizisi kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Bölgeye ait b değeri ve p değeri değişim haritaları oluşturulmuştur.

BÖLGENİN JEOLJİK ÖZELLİKLERİ

Van Gölü Havzasında Paleozoik dönemden günümüze kadar oluşmuş çok çeşitli kaya grupları yüzeylenmiştir (Şekil 1), havzanın güney kesiminde Bitlis Masifi'ne ait metamorfik kayalar yer al-

maktadır (Ketin, 1977; Ternek, 1953; Güncüoğlu ve Turhan, 1984; Yılmaz ve diğ., 1981) Havzanın batısında Nemrut, kuzeyinde Süphan, Girekol, kuzeybatısında Tendürek gibi volkanlar yer almaktadır. Bölgedeki volkanik aktivite geç Miyosen döneminde başlamıştır (Güner, 1984; Yılmaz, 1990; Aydar ve diğ., 2003; Karaoğlu ve diğ., 2005; Ersoy ve diğ., 2006; Özdemir ve diğ., 2006, 2011). Bunların Miyosenden itibaren çeşitli zamanlarda çıkarmış oldukları lavlar ve volkanaklastik havzada en fazla gözlenen kaya grubudur (Yılmaz, 1990; Yılmaz ve diğ., 1987; Güner, 1984). Nemrut civarındaki litoloji ağırlıklı olarak bazaltik lav ve piroklastiklerdir. Ayrıca yer yer tüfitler ve andezit kayalar yer alır (Karaoğlu ve diğ., 2005). Süphan Dağı civarında ise riyolitik bileşimli ürünler bulunur. Dağın eteklerinde ise pomza gelişmiştir (Özdemir ve diğ., 2011). Havzanın doğusunda Yüksekova Karmaşığına ait ofiyolitik birimler ve kırıntılı çökeltiler bulunur. Bunlar Üst Kretase - Paleosen zaman aralığında yerleşmişlerdir. Bu birimlerin üzerinde Eosen - Miyosen zaman diliminde karbonatlar ve denizel kırıntılılar çökelmişlerdir. Geç Miyosenden sonra havzaların kapatılmasıyla karasal ortam bölgeye hakim olmuştur (Altuncu Poyraz ve diğ., 2012). Havzanın doğusunda yer alan Toprakkale Formasyonu sarı - bej renkli fosilli kireçtaşlarından oluşur. Bu formasyon erken - orta Eosen Tekmal Formasyonu ile üzerlenmiştir. Tekmal Formasyonu ise şarabi renkli kireçtaşı - çamurtaşı ile açık yeşil - gri renkli kil taşı - silt taşı litolojilerinden oluşmaktadır. Orta Eosen - erken Miyosen döneminde havzanın GD kesimlerinde Kırıkgeçit Formasyonu olarak adlandırılan kumtaşı - çamurtaşı ardalı bir seri çökmesi gerçekleşmiştir (Aksoy, 1988). Van il merkezinin kuzey kesimlerinde gabro, serpantin, kuvarsit, kireçtaşı gibi kayaç bloklarından oluşan Dirbi Karışığı yer alır. Van Formasyonu ise ince - orta katmanlı kil taşı - kum taşı - çakıl taşı ardalımasından oluşan Oligosen - erken Miyosen yaşlı denizel bir formasyondur (Sağlam, 2003). Havzanın KB kesimlerinde sarımsı beyaz - beyaz renkli, kalın - çok kalın katmanlı bolca fosil içeren Adilcevaş kireçtaşı olarak adlandırılan kireç taşları çökelmiştir. Bu kireç taşları Adilcevaş ilçesinin batı ve KB kesimleri ile Erciş dolaylarında yüzeylenmiştir. Ayrıca Aktaş Formasyonu da havzanın KB kesiminde küçük alanlarda yüzeylenir. Pleistosen den itibaren havzanın doğusunda ve kuzeydoğusunda volkanik birimlerin üzerinde yer yer çökelmiş göl

BÖLGENİN DEPREMSELLİĞİ**TARİHSEL DÖNEM**

Van Gölü Havzası ve yakın civarında meydana gelen tarihsel depremler için Ergin ve diğ. (1967), Soysal ve diğ. (1981), Ambressey ve Finkel (2006), Tan ve diğ. (2008) tarafından hazırlanan kataloglar taranmıştır (Yağmurlu ve diğ., 2012). Bölgede aletsel döneme dek şiddeti V - X arasında değişen çok sayıda deprem meydana gelmiştir. Özellikle Van şehir merkezinde 1101, 1894 ve 1900 yıllarında meydana gelen depremlerle, yine dış merkezi Van şehir merkezi olan 1111 yılında meydana gelen IX şiddetindeki deprem ve 17. yy başlarında meydana gelen VII-VIII şiddetlerindeki 4-5 yıl süren deprem dizileri dikkat çekicidir. 1439 ve 1441 yılları arasında meydana gelen depremler ise o tarihlerde lav akışı gerçekleştirdiği bilinen Van Gölü'nün güneybatısındaki Nemrut Krateri'nin volkanik faaliyetleriyle ilişkilendirilmektedir (Oswalt, 1912; Karaoğlu ve diğ., 2005). Van şehir merkezinin güneydoğusundaki Güzelsu (Hoşap) ve çevresinde 16. ve 17. yüzyıllarda meydana gelen VI ve VII şiddetindeki depremlerin Van ve Erciş'te hasara neden olduğu bildirilmiştir.

ALETSEL DÖNEM

Lahn (1949)'a göre Van Gölü Havzası tektonik çalışmalar sonucunda birinci dereceden deprem bölgesi olarak sınıflandırılmıştır. Türkiye Deprem Bölgeleri haritasına göre ise 1. ve 2. derece deprem bölgeleri içinde yer almaktadır. Tablo 1'e bakıldığında aletsel dönemde 23 Ekim 2011 Van Depremi'nden önce büyüklüğü $M_s \geq 7.0$ olan iki deprem daha meydana geldiği görülür. Bunlar; 1903 Muş Malazgirt Depremi $M_s = 7.0$ ve 1976 Çaldıran Depremi ($M_s = 7.3$) dir. Çaldıran Depremi, Van Gölü'nün kuzeydoğusundaki sağ yönlü doğrultu atımlı Çaldıran Fayı üzerinde meydana gelmiş ve 55 km uzunluğunda bir yüzey kırığı oluşturmuştur (Yağmurlu ve diğ., 2012). Çaldıran Depremi aletsel dönem içinde meydana gelen en büyük magnitudlü depremdir. Gerek bu depremler gerekse tarihsel dönemde meydana gelmiş büyüklüğü $M_s \approx 7.0$ olan depremler (1275, 1648, 1696, 1871 ve 1881 Van Depremleri) bölgedeki deprem tehlikesini işaret etmektedirler.

Tablo 1. Van Gölü Havzasında aletsel dönemde meydana gelen depremler.
Table 1. List of recorded instrumental earthquakes on the Van Lake Basin.

Tarih	Enlem	Boylam	M_s	M_b	Acıklama
28.04.1903	39.14	42.65	7.0	6.3	Malazgirt
31.03.1907	39.10	42.50	5.2	5.1	Malazgirt
28.09.1908	38.00	44.00	6.0	5.7	Van (Başkale)
27.01.1913	38.38	42.23	5.4	5.3	Bitlis
14.02.1915	38.80	42.50	5.6	5.4	Ahlat
20.11.1945	38.63	43.33	5.2	5.1	Van
27.04.1966	38.13	42.52	5.1	4.9	Bitlis
24.11.1976	39.08	44.13	5.0	4.9	(Çaldıran)
24.11.1976	39.05	44.04	7.5	6.1	Van (Çaldıran)
25.06.1988	38.50	43.07	5.1	5.1	Van Gölü
15.11.2000	38.40	42.92	5.7		Van (Gevaş)
23.10.2011	38.72	43.41	7.1		Van (Tabanlı)

YÖNTEM

Bölgenin depremselliği ile ilgili bilgi edinmek amacıyla Gutenberg-Richter ve Omori bağıntıları kullanılmıştır.

GUTENBERG - RICHTER BAĞINTISI

Bir bölgede, belli bir zaman aralığında oluşan depremlerin sayıları ve büyüklükleri arasındaki doğrusal ilişkiyi gösterir. Bu ilişki Gutenberg – Richter (1954) tarafından;

$$\log N = a - bM \quad (3.1)$$

bağıntısı ile tanımlanmıştır. Deprem istatistiğinde temel bir bağıntıdır. Bağıntıdaki; N, büyüklüğü M veya daha büyük olan depremlerin birikimli sayısını, M büyüklüğü ve a katsayısı doğrunun Log N eksenini kestiği noktadır. b katsayısı ise deprem oluş sayıları LogN ile deprem magnitüdüleri arasındaki ilişkiyi gösteren doğrunun eğimini verir. Burada “a” katsayısının değeri, gözlem süresine ve incelenen alanının boyutuna göre değişirken “b” katsayısı bölgenin tektonizması ve depremselliğine bağlı olarak gerilme ile ters orantılı olarak değişir. Heterojenite ve gerilme b değerinin değişimini etkileyen parametrelerdir (Frolich ve Davis, 1993). Mogi (1962) ve Sholz (1968), b değerinin heterojenite ile yükseldiği ve gerilim ile ise ters orantılı olduğunu saptamıştır. Bölgedeki heterojen malzeme varlığına bağlı olarak b değerinde değişimler gözlenir (Wiemer ve Katsumata, 1999). Ayrıca b değeri; hesaplama tekniğine, odak derinliğe ve artçı deprem veri setinin tamamlılığına bağlı olarak da değişik değerler alır.

OMORİ BAĞINTISI

Omori bağıntısı, artçı deprem etkinliğinin zamanın fonksiyonu olarak üstel azalımını ifade eder. Utsu (1961), azalım bağıntısını denklem 3.2’deki gibi tanımlamıştır.

$$N(t) = \left(\frac{k}{(t+c)^p} \right) \quad (3.2)$$

Burada;

t: Ana şoktan sonraki zaman

N (t): Ana şok meydana geldikten sonra t birim zamanda oluşan artçı depremlerin sayısı

p, c, k: Deprem sayısı-zaman grafiğinden elde edilen sabitlerdir. Bu parametrelerden en önemlisi artçı şokların üstel azalımı ile ilgili olan p parametresidir (Kisslinger, 1996). Ana şoktan sonra kademeli olarak azalan gerilme zaman içinde sabitlenir (Mogi, 1967). Hızla azalan artçı şok aktivitelerinde büyük p değeri, yavaş azalan artçı şok aktivitelerinde ise düşük p değeri elde edilir (Hirata, 1987). Ana şoktan sonraki ilk evrelerde artçı şoklar Omori bağıntısına uygun şekilde azalır (Utsu, 1957). Değiştirilmiş Omori Bağıntısı (Modified Omori Law) olarak adlandırılan bu bağıntı ilk evreler için şöyledir:

$$n(t) = C_1 t^{-p} \quad 0 < t < t_0 \quad (3.3)$$

Burada;

t : Ana şoktan sonra geçen zaman

n (t): Artçı şokların sayısı

C1, p: Sabitlerdir.

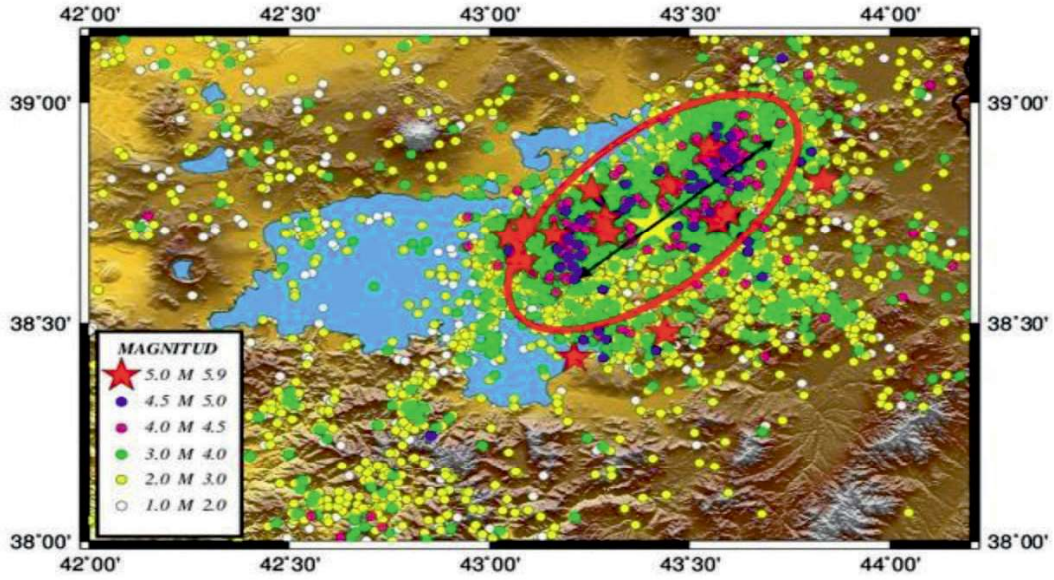
Sonraki evreler için ise Değiştirilmiş Omori Bağıntısı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$n(t) = C_2 e^{-pt} \quad t > t_0 \quad (3.4)$$

t genellikle 100 gündür. C2 ve p ise sabitlerdir. Utsu ve diğ. (1995) ve Olsson (1999) p değerinin $0.5 < p < 1.8$ arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Normal artçı deprem dizileri için p değeri 1.0’dan küçük ve büyük bir ana şoktan sonra meydana gelen artçı şok dizileri için ise p değeri 1.0’dan büyüktür (Liu, 1986).

ARTÇI DEPREM VERİLERİ VE DEPREMSELLİK PARAMETRELERİ

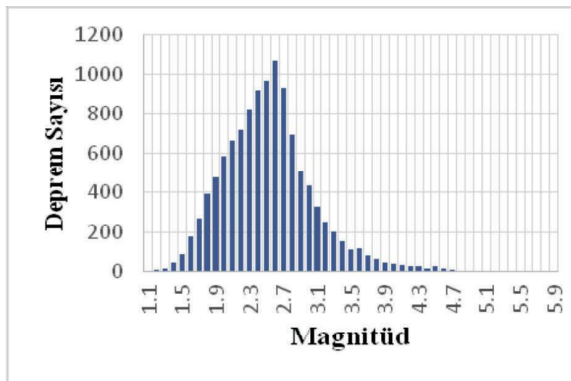
23 Ekim 2011 Van Depremi’ne ait artçı deprem verileri, Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü deprem kataloğundan sağlanmıştır. 23.10.2011–29.03.2016 tarihleri arasında meydana gelen, büyüklüğü $1.0 \leq M_w \leq 5.9$ arasında değişen 11362 adet artçı şok verisi incelenmiştir. Çalışma $38^{\circ}.00' - 39^{\circ}.15' K$ enlemleri ile $42^{\circ}.00' - 44^{\circ}.20' D$ boylamları arasında kalan bölgeyi kapsamaktadır. Şekil 3’te artçı depremlerin dış merkez dağılımlarının ana şok civarında KD-GB uzanımlı eliptik kümelenme gösterdiği ve büyüklüklerinin $1.0 \leq M_w \leq 5.9$ arasında değiştiği görülmektedir.



Şekil 3. 23 Ekim 2011 Van Depremi'ne ait artçı depremlerin dış merkez dağılımları.

Figure 3. Epicenters of main shock and the aftershocks of 23 October 2011 Van Earthquake.

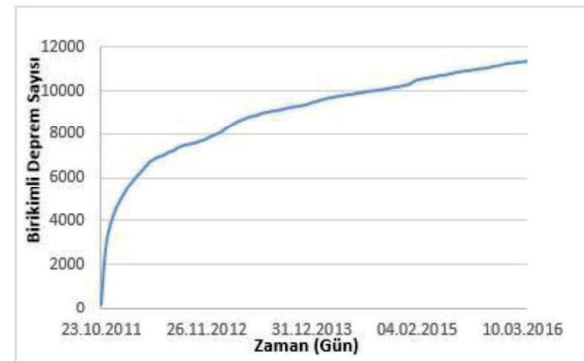
Irmak (2012), artçı çok episantrlarının, Alaköy ile Gedikbulak Köyü arasında kuzeydoğu güneybatı uzanımlı yer aldığını belirtmiştir. Ersular ve diğ. (2015), Coulomb gerilme analizi ile gerilmenin Van Gölü'nün güney sahilinin ortasından itibaren kuzeydoğu yönünde Muradiye'ye doğru uzanan bir zon boyunca 5 bara kadar arttığını saptamışlardır. Bu zon, artçı deprem dağılımlarıyla örtüşmektedir. Artçı deprem sayılarının magnitüdlere göre dağılımı incelendiğinde 2.6 büyüklüğündeki artçı depremlerin yoğun olduğu görülmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Deprem sayısı – magnitüd grafiği.

Figure 4. Number of earthquakes vs magnitude.

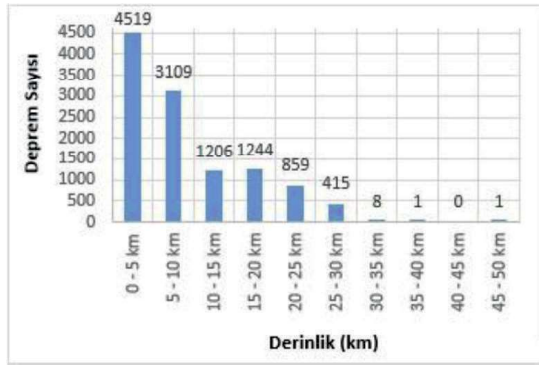
Artçı depremlerin birikimli sayılarının zamanla değişim grafiği incelendiğinde ise artçı deprem etkinliğinin zamanla giderek azaldığı görülür (Şekil 5).



Şekil 5. Artçı depremlerin kümülatif sayısının zamanla değişimi.

Figure 5. Change with time the cumulative number of aftershocks.

Odak derinlikleri incelendiğinde ise depremlerin yaklaşık %67'sinin 0-10 km arasındaki derinliklerde olduğu görülmektedir (Şekil 6). Kalafat ve diğ. (2013), depremlerin maksimum 25-35 km derinde meydana geldiğini ileri sürmektedirler.



Şekil 6. Artçı şok odak derinliği – deprem sayısı ilişkisi grafiği.

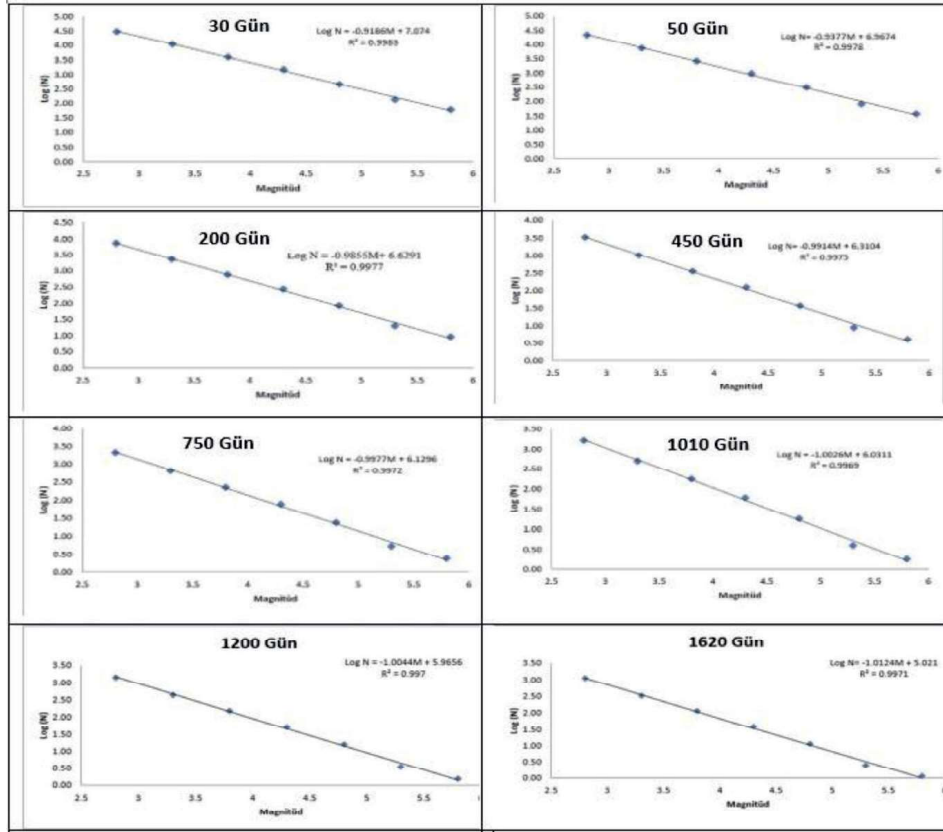
Figure 6. The relationship between depth and number of aftershocks graph.

23 Ekim 2011 Van Depremi'ne ait artçı şokların eliptik kümelenme gösterdiği alanda $38^{\circ}.40' - 39^{\circ}.00'$ K enlemleri ile $43^{\circ}.00' - 43^{\circ}.80'$ D boylamları arasındaki bölgede meydana gelen artçı deprem dizisi, ana şoktan sonraki 30, 50, 200, 450, 750, 1010, 1200 ve 1620 günlük zaman aralıklarıyla $M_c = 2.6$ kesme magnitudü uygulanarak incelenmiş ve b ile p parametrelerinin değişimleri değerlendirilmiştir. b değerleri, Gutenberg Richter bağıntısı

kullanılarak En Küçük Kareler Yöntemiyle hesaplanmıştır (Şekil 7). Hesaplanan b değerlerinin $0.91 \leq b \leq 1.01$ arasında değiştiği ve zamanla giderek arttığı belirlenmiştir. b değerinin zaman içindeki artışı bölgedeki etkin gerilmenin zamanla azalmakta olduğunu düşündürmektedir.

Artçı depremlerin zamanla azalım oranını gösteren p değerleri; kümülatif deprem sayısı - zaman (gün) ilişkisi ve ZMAP programı ile Maximum Likelihood Methodu kullanılarak hesaplanmıştır. b ve p değerlerinin ana şoktan sonraki 30, 50, 200, 450, 750, 1010, 1200 ve 1620 günlük periyodlar için hesaplanan değerleri Tablo 2'de görülmektedir. 23.10.2011 – 29.03.2016 tarihleri arasında meydana gelen $1.0 \leq M_w \leq 5.9$ büyüklüğündeki artçı deprem verileri kullanılarak b değerleri dağılım haritası oluşturulmuştur (Şekil 8).

Artçı depremlerin kümelenmediği alanda hesaplanan b değerleri dağılımı incelendiğinde ana şok civarında yüksek b değerleri görülür. Kalafat ve diğ. (2013), 23 Ekim 2011 – 31 Aralık 2011 tarihleri arasında meydana gelen deprem verileriyle Maksimum likelihood methodunu kullanarak bölgedeki b



Şekil 7. 30, 50, 200, 450, 750, 1010, 1200 ve 1620 günlük periyodlar için hesaplanan b değerleri

Figure 7. b values for 30, 50, 200, 450, 750, 1010, 1200 and 1620 days in period.

değerini 0.96 olarak hesaplamışlardır. Aletsel dönemin başlangıcından 23 Ekim 2011 tarihine kadar meydana gelen deprem verileriyle b değerleri hesaplanarak dağılım haritası çizilmiştir (Şekil 9). Hesaplanan b değerleri karşılaştırıldığında 23 Ekim 2011 tarihindeki ana şoktan önce b değerlerinin düşük olduğu görülmektedir. Bu bilgiye dayanarak

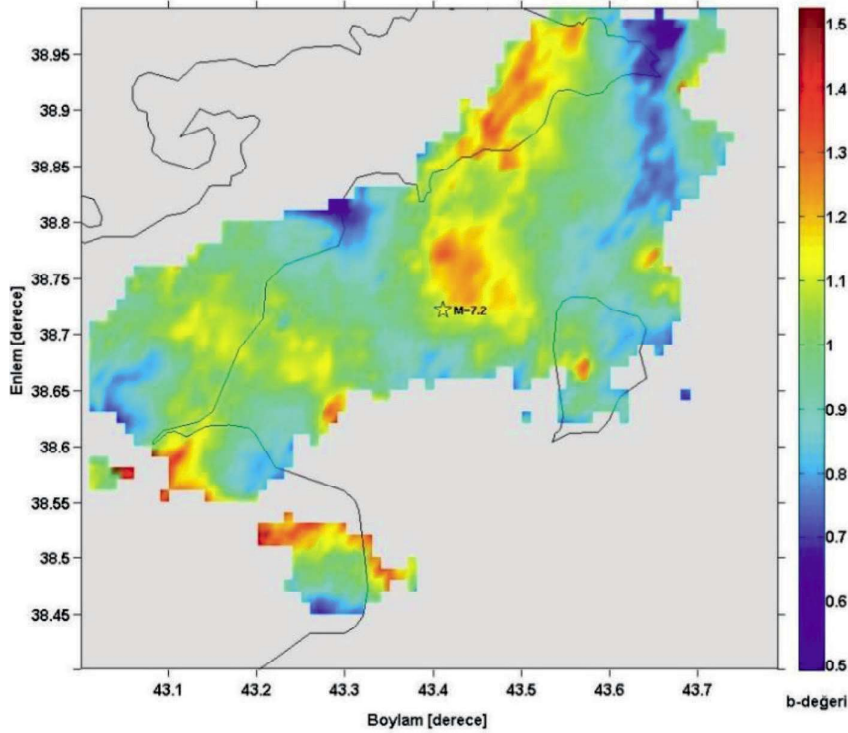
23 Ekim 2011 Van Depremi öncesinde bölgedeki etkin gerilmenin yüksek olduğu söylenebilir. Görgün (2013), 2002- 2012 yılları arasında bölgedeki b değerlerinin 0.6 ile 1.7 arasında değiştiğini, 2007 yılından 2010 yılının ikinci yarısına kadar da giderek arttığını belirtmiştir.

Tablo 2. b ve p değerleri.
Table 2. b and p values.

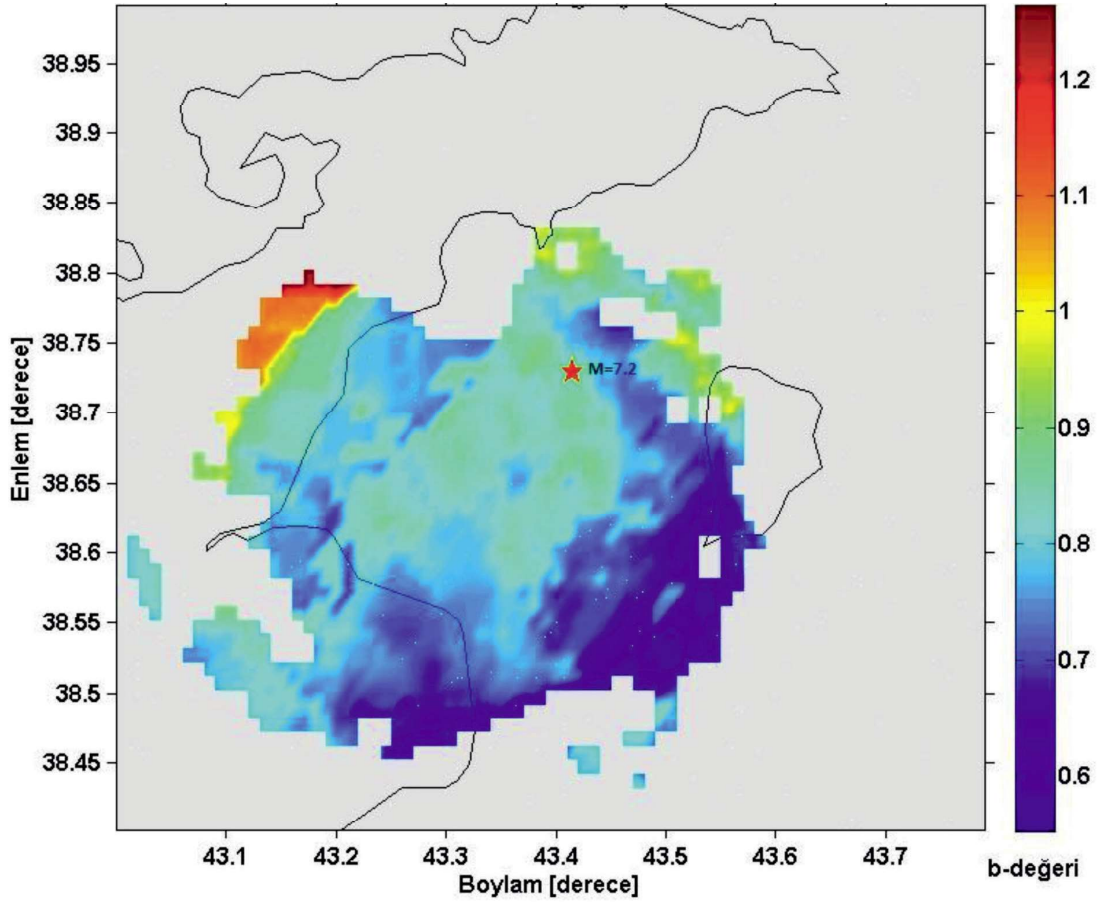
Zaman (Gün)	b değeri	$N(t) - t$	Maximum Likelihood Metodu
30	0.9186	1.14	1.34
50	0.9377	1.12	1.53
200	0.9855	1.15	1.57
450	0.9914	1.22	1.68
750	0.9977	1.15	1.57
1010	1.0026	1.11	1.51
1200	1.0044	1.11	1.52
1620	1.0124	1.04	1.43

23 Ekim 2011 Van depreminden yaklaşık bir sene önce b değerinin ani bir şekilde 1.7'den 0.6'ya düştüğünü ve ana şoktan hemen önce en düşük değeri aldığını saptamıştır. Wiemer and Wyss (1997)

ve Wyss (2001), düşük b değerlerinin kilitli faylara, yüksek b değerlerinin kilitli faylara karşılık geldiği tartışmasını önermişlerdir.



Şekil 8. 23.10.2011- 29.03.2016 tarihleri arasındaki artçı deprem verileriyle hesaplanan b değeri dağılım haritası.
Figure 8. b value distribution map calculated from the aftershocks occurred between 23.10.2011 and 29.03.2016.

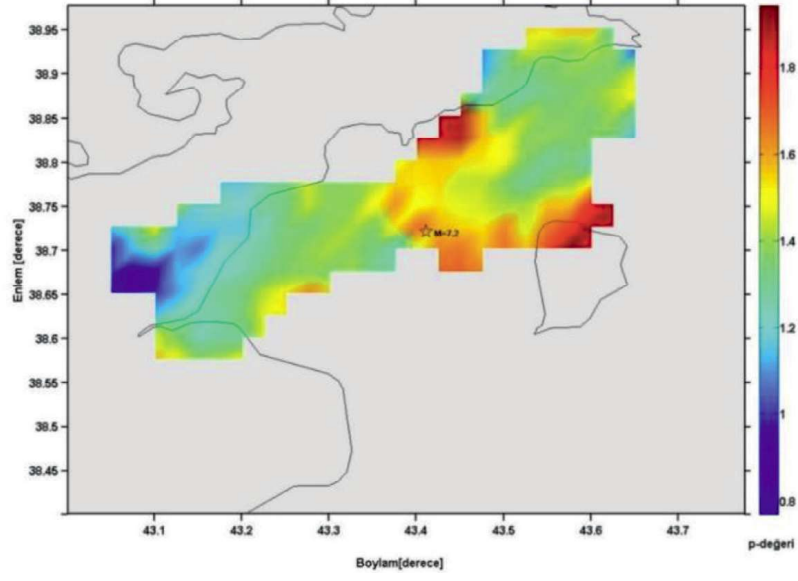


Şekil 9. 01.01.1900 - 23.10.2011 tarihleri arasındaki deprem verileriyle hesaplanan b değeri dağılım haritası.
Figure 9. b value distribution map calculated from the earthquakes occurred between 01.01.1900 and 23.10.2011.

23.10.2011– 29.03.2016 tarihleri arasında meydana gelen $1.0 \leq M_w \leq 5.9$ büyüklüğündeki artçı depremlerin zamanla azalım oranını gösteren p değerlerinin; kümülatif deprem sayısı - zaman (gün) ilişkisi ile $1.04 \leq p \leq 1.22$ arasında ve Maximum Likelihood Methodu kullanılarak ise $1.34 \leq p \leq 1.68$ arasında değiştiği hesaplanmıştır. ZMAP programı ile p değerleri dağılım haritası oluşturulmuştur (Şekil 10). Ana şok civarında yüksek p değerleri hesaplanmıştır. Bu bölgelerde artçı şokların zamanla hızlı bir şekilde azaldığı söylenebilir. Bayrak ve diğ. (2013), 23 Ekim 2011-2 Aralık 2011 tarihleri arasın-

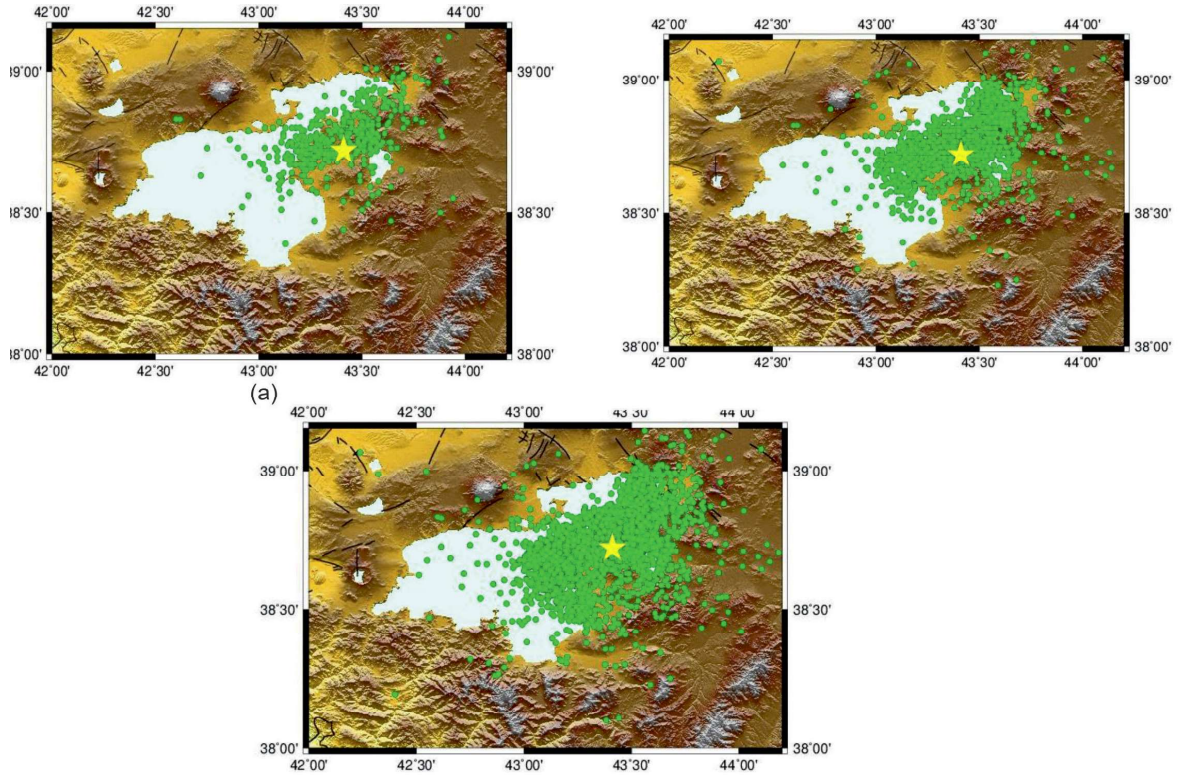
da meydana gelen deprem verileri ile hesapladıkları p değerlerinin, 0.2 ile 1.1 arasında değiştiğini, ana şokun doğusunda ise 0.6 ile 0.8 arasında değiştiğini hesaplamışlardır. p değerlerinin, ana şokun kuzeydoğusunda ve güneybatısında 0.6'dan düşük olduğunu belirtmişlerdir.

23 Ekim 2011 günü meydana gelen ana şoku izleyen artçı depremlerin 4 günlük, 10 günlük ve 30 günlük dış merkez dağılımları (Şekil 11) incelendiğinde ise artçı şokların güneye doğru ilerlediği görülmüştür. Bu durum hareketin yönünün güneye doğru olduğunu gösterebilir



Şekil 10. 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı şoklarıyla hesaplanan p değeri dağılım haritası.

Figure 10. p value distribution map calculated from the aftershocks of 23 October 2011 Van Earthquake.



Şekil 11. Ana şoktan sonraki 4 günlük (a), 10 günlük (b) ve 30 günlük (c) artçı deprem dış merkez dağılımları.

Figure 11. (a) Epicenters 4 days after the main shock, (b) Epicenters 10 days after the main shock, (c) Epicenters 30 days after the main shock.

yanarak hareketin yönünün güneye doğru olduğu söylenebilir.

30, 50, 100, 200, 450, 750, 1010, 1200 ve 1620 günlük periyotlar için hesaplanan b değerleri $0.91 \leq b \leq 1.01$ arasında değişmekte ve zamanla artmaktadır. b değerinin zaman içindeki artışı bölgedeki etkin gerilmenin zamanla azaldığını düşündürmektedir. Artçı depremlerin kümelendiği alanda hesaplanan b ve p değerleri dağılımı incelendiğinde ana şok civarında yüksek b ve p değerleri görülür. Yüksek b ve p değerlerinin gözlemlendiği bölgelerde alüvyon, kırıntılı kayalar ve yer yer kireç taşı gözlenmektedir. Bayrak ve Öztürk (2004) de düşük hıza sahip alüvyon malzemenin yüksek b ve p değerlerine neden olabileceğini belirtmişlerdir. b ve p değerlerine bakılarak buralarda etkin gerilmenin zamanla azaldığı ve aynı şekilde artçı depremlerin de zamanla hızlı bir şekilde azaldığı söylenebilir. Aletsel dönemde 23 Ekim 2011 depremine kadar meydana gelen deprem verileriyle b değerleri hesaplandığında 23 Ekim 2011 depreminden önce bölgedeki b değerlerinin düşük olduğu görülmüştür. Bu da depremden önce bölgede gerilme birikiminin olduğunu göstermektedir. Ana şokun üzerinden yaklaşık 5 yıl geçmiş olmasına rağmen artçı şok aktivitesi azalarak devam etmektedir.

SUMMARY

The purpose of this study is to analyze the spatial and temporal changes of the seismicity parameters by using the aftershock data of Van Earthquake which occurred on 23 October 2011 at 38.75 N latitude 43.36 E longitude with the moment magnitude of $M_w = 7.2$. Depending on the distribution of aftershocks it is been observed that the main accumulation is laying from NE to SW on the outer ring of the epicenter in an elliptic shape. In order to determine the seismicity parameters, calculations are performed in the area where aftershocks are denser. Aftershock series analyzed based on 30, 50, 100, 200, 450, 750, 1010, 1200 and 1620 days in period. b values are determined by Gutenberg – Richter equation. It has been determined that the b value is changing in between $0.91 \leq b \leq 1.01$ and increases by time. It has been observed that the high b values are based NE – SW extension on epicenter outer ring where the aftershock activity is high. Based on the increasing value of b by time, it is reasonable to assume that the effective tension in the area is decreasing by time. It has been calculated that the p value which defines the declination of aftershocks

by time is changes in between where as; cumulative earthquake quantity vs time (day) $1.04 \leq p \leq 1.22$ and based on with the ZMAP software Maximum Likelihood Method $1.34 \leq p \leq 1.68$.

High p values are calculated in the outer center of the main shock. It is also been observed that the b values are higher in these areas and the aftershock activity is declining by time. It has been determined that the b values before the 23 October 2011 Van Earthquake are lower than the calculated b values by the aftershock data of the 23 October 2011 Van Earthquake, giving an impression of that the effective tension in the area was high before the earthquake. Although five years has passed since the main shock, aftershock activity is in progress and decreasing by the time.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, makale hakkındaki değerli görüşlerinden dolayı Prof. Dr. Bedri ALPAR'a ve Doç. Dr. Ethem GÖRGÜN'e teşekkür ederler.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Acarlar, M., Bilgin, Z.A., Erkal, T., Güner, E., Şen, A.M., Umut, M., Elibol, E., Gedik, İ., Hakyemez, Y. ve Uğuz, M.F., 1991,** Van Gölü Doğu ve Kuzeyinin jeolojisi, *Maden Tetkik Arama Raporu*, 9469.
- Akinci, A. ve Antonioli, A., 2012,** Observations and stochastic modelling of strong ground motions for the 2011 October 23 Mw 7.1 Van, Turkey, earthquake, *Geophysical Journal International*, doi:10.1093/gji/ggs075.
- Aksoy, E., 1988,** *Van İli Doğu-Kuzeydoğu Yöresinin Stratigrafisi ve Tektoniği*, Doktora Tezi basılmamış, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Altner, Y., Söhne, W., Güney, C. ve Perlt, J., 2013,** A geodetic study of the 23 October 2011 Van, Turkey earthquake, *Tectonophysics*, 588, 118-134.
- Altuncu Poyraz, S., Şengul, M.A. ve Pınar, A., 2012,** 23 Ekim 2011 Van - Tabanlı Depremi Kaynak Mekanizması ve Sismotektonik Yorumu. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 24(2), 129 - 139.
- Ambraseys, N.N. ve Finkel, C.F., 2006,** Türkiye’de ve Komşu Bölgelerde Sismik Etkinlikler Bir Tarihsel İnceleme 1500 - 1800, *TUBITAK Yayınları Akademik Dizi*, 4, 251.
- Aydar, E., Gourgaud, A., Ulusoy, İ., Digonnet, F., Labazuy, P., Şen, E., Bayhan, H., Kurttaş, Y. ve Tolluoğlu, Ü., 2003,** Morphological analysis of active Mount Nemrut stratovolcano, eastern Turkey: evidences and possible impact areas of future eruption, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 123, 301– 312.
- Bayrak, Y. ve Öztürk, S., 2004,** Spatial and temporal variations of the aftershock sequences of the 1999 Izmit and Duzce earthquakes, *Earth Planets Space*, 56, 933 - 944.
- Bayrak, Y., Yadav, B.D.S., Kalafat, D., Tsapanos, T.M., Çınar, H., Singh, A.P., Bayrak, E., Yılmaz, Ş., Öcal, F. ve Koravos, G., 2013,** Seismogenesis and earthquake triggering during the Van (Turkey) 2011 seismic sequence, *Tectonophysics*, 601, 163-176.
- De Gori, P., Akinci, A., Lucente, F.P. ve Kılıç, T., 2014,** Spatial and Temporal Variations of Aftershock Activity of the 23 October 2011 Mw=7.1 Van, Turkey, Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 104, 2.
- Degens, E.T. ve Kurtman, F., 1978,** *The Geology of Lake Van*. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayını, Ankara, ISBN:169.
- Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Şaroğlu, F. ve Şengör, A.M.C., 1986,** Shortening of Continental Lithosphere: The Neotectonics of Eastern Anatolia-A Young Collision Zone, *Geological Society London Special Publications*, 19, 3-37.
- Doğan, B. ve Karakaş, A., 2013,** Geometry of co-seismic surface ruptures and tectonic meaning of the 23 October 2011 Mw 7.1 Van earthquake (East Anatolian Region, Turkey), *Journal of Structural Geology*, 46, 99-114.
- Ergin, K., Güçlü, U. ve Uz, Z., 1967,** *Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu (MS. 11- 1964)*, İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü Yayınları, İstanbul
- Ersoy, O., Chinga, G., Aydar, E., Gourgaud, A., Çubukcu, H.E ve Ulusoy, İ., 2006,** Texture discrimination of volcanic ashes from different fragmentation mechanisms: A case study, Mount Nemrut stratovolcano, eastern Turkey, *Computers & Geosciences*, 32, 936-946.
- Ersular, T., Güneş, A., Sarı, Y., Gürbüz, E., Durmuş, H. ve Gülen, L., 2015,** 23 Ekim 2011 Van depreminin (Mw=7.1) oluşturduğu Coulomb gerilme değişimi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 19, 53-58.
- Frohlich, C. ve Davis, S., 1993,** Teleseismic b values: or, much ado about 1.0, *Journal of Geophysical Research*, 98, 631-644.
- Gutenberg, R. ve Richter, C. F., 1954,** Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 32, 163-191.
- Göncüoğlu, M.C. ve Turhan, N., 1984,** *Geology of the Bitlis metamorphic belt*, Geology of Taurus Belt, In: Tekeli, O. ve Göncüoğlu, M.C. (eds), *Maden Tetkik ve Arama Yayınları*, Ankara, 237-244.
- Görgün, E., 2013,** The 2011 October 23 Mw 7.2 Van-Ercis, Turkey, earthquake and its aftershocks, *Geophysical Journal International*, 195, 1052-1067.
- Görgün, E., 2013,** Analysis of the b-values before and after the 23 October 2011 Mw 7.2 Van-Erciş, Turkey earthquake, *Tectonophysics*, 603, 213-221.
- Güner, Y., 1984,** Nemrut yanardağının jeolojisi, jeomorfolojisi ve volkanizmanın evrimi, *Geo-*

- morfoloji Dergisi*, 12, 23-65.
- Hirata, T., 1987**, Omori's Power Law Aftershock sequences of Microfracturing in Rock Fracture Experiment, *Journal of Geophysical Research*, 92(7), 6215-6221.
- Irmak, T.S., Doğan, B. ve Karakaş, A., 2012**, Source mechanism of the 23 October, 2011, Van (Turkey) earthquake (Mw = 7.1) and aftershocks with its tectonic implications, *Earth Planets Space*, 64, 991-1003.
- Kalafat, D., Kekovalı, K., Akoyunlu, M.F. ve Ögütçü, Z., 2013**, Source mechanism and stress analysis of 23 October 2011 Van Earthquake (Mw = 7.1) and aftershocks, *Journal of Seismology*, 18, 371-384.
- Karaoğlu, Ö., Özdemir, Y., Tolluoğlu, Ü., Karabıykoğlu, Ö., Köse, O. ve Froger, J.L., 2005**, Stratigraphy of the volcanic products Around Nemrut caldera: implications for reconstruction of the caldera formation, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 14, 123-143.
- Ketin, İ., 1977**, Van Golu ile İran Sınırı Arasındaki Bolgede Yapılan Jeoloji Gözlemlerinin Sonuçları Hakkında Kısa bir Açıklama. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bulteni 20-2, 79-85.
- Kisslinger, C., 1996**, Aftershocks and Fault-Zone Properties, *Advances in Geophysics*, 38, 1-36.
- Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S., Kuloshvili, S., 2001**, Neotectonics of East Anotolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: İmplication for Transition from Thrusting to Strike-Slip Faulting, *Geodinamica Acta*, 14, 177-195.
- Koçyiğit, A., 2013**, New field and seismic data about the intraplate strike-slip deformation in Van region, East Anatolian plateau, E. Turkey, *Journal of Asian Earth Sciences*, 62, 586-605.
- Köse, O., Özkaymak, Ç., 2002**, Van Şehri Kuzeyi Genç Göl Çökellerinde Aktif Tektonik Bulgular. *ATAG-6 (Aktif Tektonik Araştırma Grubu Altıncı Toplantısı) Bildiri Özleri Kitabı*, 21-22 Kasım 2002 Ankara, Ankara MTA Genel Müdürlüğü, 64-65.
- KRDAE**, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, <http://www.koeri.boun.edu.tr>
- Lahn, E., 1949**, Seismological investigations in Turkey, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 39, 67-71.
- Liu, Z. R., 1986**, Earthquake frequency and prediction, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 74, 255-265.
- Liu, C., Zheng, Y., Xiong, X. ve Wang, R., 2015**, Rupture Process of the 23 October 2011 Mw7.1 Van Earthquake in Eastern Turkey by Joint Inversion of Teleseismic, GPS and Strong-Motion Data, *Pure and Applied Geophysics*, 172, 1383-1396.
- Mogi, K., 1962**, Study of the Elastic Shocks Caused by the Fracture of Heterogeneous Materials and its Relation to the Earthquake Phenomena, *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, Tokyo, 40, 125-173.
- Mogi, K., 1967**, Regional Variation of Aftershock Activity, *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, Tokyo, 46, 175-203.
- MTA, 2002**, 1:500000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Van Paftası, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Olsson, R., 1999**, An Estimation of the Maximum b value in the Gutenberg-Richter Relation, *Geodynamics*, 27, 547-552.
- Oswalt, F., 1912**, Armenian, Handbuch der regionalen Geologie. H. 10. Heidelberg
- Özdemir, Y., Karaoğlu, Ö., Tolluoğlu, Ü. ve Güleç, N., 2006**, Volcanostratigraphy and petrogenesis of the Nemrut stratovolcano (East Anatolian High Plateau): the most recent post-collisional volcanism in Turkey, *Chemical Geology*, 226, 189- 211.
- Özdemir, Y., Blundy, J. ve Güleç, N., 2011**, The importance of fractional crystallization and magma mixing in controlling chemical differentiation at Süphan stratovolcano, eastern Anatolia, Turkey, *Contribution of Mineral Petrology*, 162, 573-597.
- Özkaymak, Ç., 2003**, Van Şehri ve Yakın Çevresinin Aktif Tektonik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi (basılmamış), Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özkaymak, Ç. ve diğ., 2011**, Seismic Geomorphology of October 23, 2011 Tabanlı-Van Earthquake and Its Relation to Active Tectonics of East Anatolia (in Turkish). *J. Geol. Eng.* 35, 175-199.
- Pınar, A., Ustaömer, T. ve Kuge, K., 2012**, The October 23, 2011 Van - Ercis earthquake (Eastern Turkey, Mw=7.2) and Characteristics of its Aftershocks, *Japan Geoscience Union Meeting, Makuhari, Chiba, Japan, 2012*.
- Sağlam, A., 2003**, Van Gölü Dogusu ve Güneydogusunda Yüzeyleyen Van Formasyonunun

- Stratigrafisi, Paleontolojisi ve Çökme Ortamları*, Yüksek Lisans tezi (basılmamış), Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Scholz, C.H., 1968**, The Frequency-Magnitude Relation of Microfracturing in Rock and its Relation to earthquakes, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 58, 399-415.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D. ve Altınok, Y., 1981**, Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu (2100 B.C. - 1900 A.D.), *Tübitak Raporu*, TBAG - 341.
- Şaroğlu ve Güner, Y., 1981**, Doğu Anadolu'nun jeomorfolojik gelişimine etki eden öğeler: Jeomorfoloji, tektonik, volkanizma ilişkileri: TJK Bull., 24, 39-50.
- Şaroğlu, F. ve Yılmaz, Y., 1986**, *Doğu Anadolu'da Neotektonik Dönemdeki Jeolojik Evrim ve Havza Modelleri*, MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Şengör A.M.C. ve 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. ve Yılmaz, Y., 1983**, Türkiye'de Tetis'in Evrimi: Levha Tektoniği Açısından bir Yaklaşım, *Türkiye Jeoloji Kurumu Yerbilimleri Özel Dizisi*, 1.
- Tan, O., Tapırdamaz, M.C. ve Yörük, A., 2008**, The Earthquakes Catalogues for Turkey, *Turkish Journal of Earth Science*, 17, 405-418.
- Ternek, Z., 1953**, Van Gölü Güneydoğu Bölgesinin Jeolojisi, *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 4(2), 1-27.
- Utkucu, M., Budakoğlu, E., Yalcın, H., Durmuş, H., Gulen, L. ve Işık, E., 2014**, 23 Ekim 2011 Van (Doğu Anadolu) Depremi'nin (Mw=7.1) Sismotektonik Özellikleri. *Yerbilimleri* 35(2), 87-108.
- Utsu, T., 1957**, Magnitude of earthquakes and occurrence of their aftershocks, *Journal of the Seismological Society of Japan II*, 10, 35-45.
- Utsu, T., 1961**, A Statistical Study on the Occurrence of Aftershocks, *Geophysical Magazine Tokyo*, 30, 521-603.
- Utsu, T., Ogata, Y. ve Matsu'ura, R.S., 1995**, The Centenary of the Omori Formula for a decay Law of Aftershock Activity, *Journal of Physics of the Earth*, 43, 1-33.
- Wessel, P., ve Smith, W.H.F., 1998**, New, improved version of the Generic Mapping Tools released, *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 79, 579.
- Wyss, M. ve Wiemer, S., 1997**, Mapping the frequency-magnitude distribution in asperities: An improved technique to calculate recurrence times, *Journal of Geophysical Research*, 102, 15115-15128.
- Wiemer, S. ve Katsumata, K., 1999**, Spatial Variability of Seismicity Parameters in Aftershock Zones. *Journal of Geophysical Research*, 104, 13135-13151.
- Wiemer, S., 2011**, A software package to analyze seismicity: ZMAP, *Seismological Research Letters*, 72(2), 374-383.
- Wyss, M., 2001**, Locked and Creeping Patches Along the Hayward Fault, California, *Geophysical Research Letters*, 28, 3537-3540.
- Yağmurlu, F., Şentürk, M., ve Dumlupınar, İ., 2012**, 23 Ekim 2011 ve 9 Kasım 2011 Tarihlerinde Meydana Gelen Van Depremlerinin Jeolojik Değerlendirmesi, *Sdugo*, 2 (4), 1-9.
- Yılmaz, Y., Dilek, Y. ve Işık, H., 1981**, Gevaş (Van) Ofiyolitinin Jeolojisi ve Sinkinematik bir Makaslama Zonu, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 24, 37-44.
- Yılmaz Y., Şaroğlu F. ve Güner Y., 1987**, Initiation of the Neomagmatism in East Anatolia, *Tectonophysics*, 134, 177-199.
- Yılmaz, Y., 1990**, Comparison of Young Volcanic Associations of Western and Eastern Anatolia Formed Under a Compressional Regime: a review, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, 69-87.