



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**23 EKİM 2011 VAN DEPREMİ ARTÇI ŞOKLARININ
İNCELENMESİ**

Burçin Didem TAMTAŞ

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeofizik Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. Yıldız ALTINOK

Haziran, 2015

İSTANBUL

Bu çalışma 12/06/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi:



Prof.Dr.Yıldız ALTINOK
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof.Dr.A.Oğuz ÖZEL
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof.Dr.Hayrettin KORAL
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof.Dr.Ali PINAR
Boğaziçi Üniversitesi
Kandilli Rasathanesi
Deprem Araştırma Enstitüsü



Prof.Dr.Esref YALCINKAYA
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

ÖNSÖZ

Değerli bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan, öğrenimim süresince her türlü desteği ve yardımı esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Yıldız ALTINOK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tüm yaşamımın boyunca her zaman yanımda olup beni destekleyen, bu günlere getiren, hayatı daha güzel ve anlamlı kılan annem Sevgi ÖZTÜRK'e ve babam Burhan Sami ÖZTÜRK'e en içten sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman tüm desteği ile yanımda olan en iyi arkadaşım, biricik dostum, canım kardeşim Sinem ÖZTÜRK'e sonsuz teşekkür ederim.

İyi günde, kötü günde hep yanımda ve destekçim olan, mutluluğun adı sevgili eşim Ozan TAMTAŞ'a sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Haziran, 2015

Burçin Didem TAMTAŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ	viii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	ix
ÖZET.....	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	3
2.1. ARTÇI DEPREMLER.....	3
2.2. 23 EKİM 2011 VAN DEPREMİ ($M_W=7.2$).....	5
2.2.1. VAN VE YÖRESİNİN JEOLJİK ÖZELLİKLERİ	7
2.2.2. BÖLGENİN SİSMOTEKTONİK YAPISI.....	10
2.2.3. BÖLGENİN DEPREMSELLİĞİ.....	11
2.2.3.1. Tarihsel Dönem	11
2.2.3.2. Aletsel Dönem	14
3. MALZEME VE YÖNTEM	18
3.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN ARTÇI DEPREM DİZİLERİ	18
3.2. GUTENBERG – RICHTER BAĞINTISI	19
3.3. OMORİ BAĞINTISI	19
3.4. b DEĞERİ.....	21
3.5. p DEĞERİ.....	21
4. BULGULAR	23
4.1. 23 EKİM 2011 VAN DEPREMİ ($M_W=7.2$) DEPREMSELLİK PARAMETRELERİNİN SAPTANMASI.....	24
4.1.1. 38°.00 - 39°.15 K ENLEMLERİ İLE 42°.00 - 44°.20 D BOYLAMLARI ARASINDA KALAN BÖLGEDEKİ ARTÇI DEPREMLERİN İNCELENMESİ	24

4.1.2. 38.40 - 39.00 KUZHEY ENLEMLERİ İLE 43.00 - 43.80 DOĞU BOYLAMLARI ARASINDA KALAN BÖLGEDEKİ ARTÇI DEPREMLERİN İNCELENMESİ	27
4.2. 23 EKİM 2011 VAN DEPREMİ (MW = 7.2) ARTÇI ŞOKLARINA AİT b ve p PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ	29
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	57
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ.....	68

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: Türkiye ve Çevresindeki Levha Hareketleri (Moro ve diğ., 2014).	2
Şekil 2.1: Deprem Oluşum Modelleri (Mogi, 1963).	4
Şekil 2.2: 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı depremlerinin dış merkez dağılımları (http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2015/deprem-verileri/deprem-katalogu/).	6
Şekil 2.3: 23 Ekim 2011 Van Depremi odak mekanizması çözümleri.	7
Şekil 2.4: Van Gölü Havzası Jeoloji Haritası (MTA 2002).	9
Şekil 2.5: Van Gölü ve yakın çevresinin sismotektonik haritası (Koçyiğit ve diğ., 2011 ve Koçyiğit, 2002'den değiştirilerek alınmıştır.)	11
Şekil 2.6: Van Gölü Havzası'nda meydana gelen tarihsel depremleri gösteren harita.	14
Şekil 2.7: Türkiye Deprem Bölgeleri (T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı).	15
Şekil 2.8: Van Gölü Havzası'nda aletsel dönemde meydana gelen $M \geq 4.0$ olan depremler.	16
Şekil 2.9: Van Gölü Havzası ve yakın çevresinde aletsel dönemde meydana gelen bazı depremlerin odak mekanizmaları (http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2015/deprem-verileri/moment-tensor-cozumleri/).	16
Şekil 3.1: 23 Ekim 2011 Van Depremi'ne ait artçı depremlerin dış merkez dağılımları (http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2015/deprem-verileri/deprem-katalogu/).	18
Şekil 4.1: 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı deprem dış merkez dağılımları (http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2015/deprem-verileri/deprem-katalogu/).	24
Şekil 4.2: 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı deprem etkinliği için zaman - magnitüd ilişkisi.	25
Şekil 4.3: 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı deprem sayısı - magnitüd ilişkisi.	25
Şekil 4.4: 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı deprem etkinliği için birikimli deprem sayısının zamanla değişimi.	26
Şekil 4.5: 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı şoklarının odak derinliği - deprem sayısı ilişkisi.	26
Şekil 4.6: 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı deprem etkinliği için zaman - magnitüd ilişkisi.	27
Şekil 4.7: 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı deprem sayısı - magnitüd ilişkisi.	27

Şekil 4.8: 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı deprem etkinliği için birikimli deprem sayısının zamanla değişimi.	28
Şekil 4.9: 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı şoklarının odak derinliği - deprem sayısı ilişkisi. .	28
Şekil 4.10: 23.10.2011 - 21.11.2011 tarihleri arasında deprem sayısının zamana göre değişimi.	29
Şekil 4.11: 23.10.2011 - 21.11.2011 arası deprem oluş sayısı - magnitüd ilişkisi.	30
Şekil 4.12: 23 Ekim 2011 - 21.11.2011 tarihleri arasında artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.	30
Şekil 4.13: 23 Ekim 2011 - 21.11.2011 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.	31
Şekil 4.14: 23 Ekim 2011 - 21.11.2011 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.	31
Şekil 4.15: 23.10.2011 - 11.12.2011 tarihleri arasında deprem sayısının zamana göre değişimi.	32
Şekil 4.16: 23.10.2011 - 11.12.2011 arası deprem oluş sayısı - magnitüd ilişkisi.	32
Şekil 4.17: 23 Ekim 2011 - 11.12.2011 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.	33
Şekil 4.18: 23 Ekim 2011 - 11.12.2011 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.	33
Şekil 4.19: 23 Ekim 2011 - 11.12.2011 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.	34
Şekil 4.20: 23.10.2011 - 30.01.2012 tarihleri arasında deprem sayısının zamana göre değişimi.	35
Şekil 4.21: 23.10.2011 - 30.01.2012 arası deprem oluş sayısı - magnitüd ilişkisi.	35
Şekil 4.22: 23 Ekim 2011 - 30.01.2012 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.	36
Şekil 4.23: 23 Ekim 2011 - 30.01.2012 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.	36
Şekil 4.24: 23 Ekim 2011 - 30.01.2012 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.	37
Şekil 4.25: 23.10.2011 - 09.05.2012 tarihleri arasında deprem sayısının zamana göre değişimi.	38
Şekil 4.26: 23.10.2011 - 09.05.2012 arası deprem oluş sayısı - magnitüd ilişkisi.	38
Şekil 4.27: 23 Ekim 2011 - 09.05.2012 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.	39

Şekil 4.28: 23 Ekim 2011 - 09.05.2012 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.	39
Şekil 4.29: 23 Ekim 2011 - 09.05.2012 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.	40
Şekil 4.30: 23.10.2011 - 14.01.2013 tarihleri arasında deprem sayısının zamana göre değişimi.	41
Şekil 4.31: 23.10.2011 - 14.01.2013 arası deprem oluş sayısı - magnitüd ilişkisi.	41
Şekil 4.32: 23 Ekim 2011 - 14.01.2013 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.	42
Şekil 4.33: 23 Ekim 2011 - 14.01.2013 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.	42
Şekil 4.34: 23 Ekim 2011 - 14.01.2013 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.	43
Şekil 4.35: 23.10.2011 - 10.11.2013 tarihleri arasında deprem sayısının zamana göre değişimi.	44
Şekil 4.36: 23.10.2011 - 10.11.2013 arası deprem oluş sayısı - magnitüd ilişkisi.	44
Şekil 4.37: 23 Ekim 2011 - 10.11.2013 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.	45
Şekil 4.38: 23 Ekim 2011 - 10.11.2013 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.	45
Şekil 4.39: 23 Ekim 2011 - 10.11.2013 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.	46
Şekil 4.40: 23.10.2011 - 28.07.2014 tarihleri arasında deprem sayısının zamana göre değişimi.	47
Şekil 4.41: 23.10.2011 - 28.07.2014 arası deprem oluş sayısı - magnitüd ilişkisi.	47
Şekil 4.42: 23 Ekim 2011 - 28.07.2014 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.	48
Şekil 4.43: 23 Ekim 2011 - 28.07.2014 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.	48
Şekil 4.44: 23 Ekim 2011 - 28.07.2014 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.	49
Şekil 4.45: Farklı yöntemlerle hesaplanan p değeri değişim grafiği.	50
Şekil 4.46: 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı şoklarının 1010 gün içerisindeki azalım oranını gösteren p değeri dağılım haritası.	50
Şekil 4.47: 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı şoklarına ait, 1010 günlük süre için hesaplanan b değerlerinin dağılım haritası.	51

Şekil 4.48: 01.01.1900 - 22.10.2011 tarihleri arasındaki deprem verilerinden hesaplanan b değerleri dağılım haritası.	52
Şekil 4.49: 23 Ekim 2011 Van Depremi'nin gözlem süresi içindeki artçı şoklarının sayısal dağılımı.	52
Şekil 4.50: 28.07.2014 - 07.05.2015 tarihleri arasında meydana gelen artçı depremlerin dış merkez dağılımları.	53
Şekil 4.51: 23.10.2011-26.10.2011 tarihleri arasında meydana gelen artçı depremlerin dış merkez dağılımları.	54
Şekil 4.52: 23.10.2011- 01.11.2011 tarihleri arasında meydana gelen artçı depremlerin dış merkez dağılımları.	54
Şekil 4.53: 23.10.2011- 23.11.2011 tarihleri arasında meydana gelen artçı depremlerin dış merkez dağılımları.	55
Şekil 4.54: 23 Ekim 2011 Van Depremi'nden sonra meydana gelen $M \geq 5.0$ olan büyük şoklar (http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2015/deprem-verileri/moment-tensor-cozumleri/).	56

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Deprem bilgi merkezlerine göre 23 Ekim 2011 Van Depremi odak parametreleri.	5
Tablo 2.2: Van Gölü Havzasındaki tarihsel dönem depremleri (Yağmurlu ve diğ., 2012).	12
Tablo 2.3 (devam):	13
Tablo 2.4: Van gölü Havzası'nda aletsel dönemde meydana gelen $M_s \geq 5.0$ olan depremler (http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2015/deprem-verileri/deprem-katalogu/).	17
Tablo 4.1: 23 Ekim 2011 Van Depremi'nden sonraki 30, 50, 100, 200, 450, 750 ve 1010 gün için hesaplanan b ve p değerleri.....	49

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
a	: Depremlerin magnitüdüleri ile oluşum sayılarının logaritmaları (Log N) arasındaki doğrunun Log N eksenini kestiği nokta.
b	: Depremlerin magnitüdüleri ile oluşum sayılarının logaritmaları (Log N) arasındaki doğrunun eğimi.
c	: Artçı şokların zayıf olarak kayıt edildiği süre boyunca dizinin başlangıçtaki aktivite oranına bağlı sabit bir katsayı.
K	: Artçı şok dizisindeki olayların toplam sayısı ile orantılı sabit bir katsayı.
t	: Ana şoktan sonra geçen zaman
p	: Artçı şokların zamanla üstel olarak azalma oranı
t₀	: Yaklaşık olarak 100 gün civarındaki zaman
n(t)	: Artçı şok sayısı
M	: Magnitüd
M_w	: Moment magnitüd
M_s	: Yüzey dalgası magnitüdü
M_d	: Süreye bağlı magnitüd
M_L	: Lokal magnitüd
M_b	: Cisim dalgası magnitüdü
M_c	: Tamamlılık (süreklilik) magnitüdü
I	: Şiddet
C₁	: Sabit
C₂	: Sabit

Kısaltmalar	Açıklama
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
DAFZ	: Doğu Anadolu Fay Zonu
EKK	: En Küçük Kareler yöntemi
KRDAE	: Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü
GCMT	: The Global Centroid-Moment-Tensor
EMSC	: Euro - Med Seismological Center
USGS	: The United States Geological Survey
GFZ	: German Research Centre for Geosciences
K	: Kuzey
G	: Güney
D	: Doğu
B	: Batı
GB	: Güneybatı
GD	: Güneydoğu
KD	: Kuzeydoğu
KB	: Kuzeybatı

GMT : Generic Mapping Tools

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

23 EKİM 2011 VAN DEPREMİ ARTÇI ŞOKLARININ İNCELENMESİ

Burçin Didem TAMTAŞ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Yıldız ALTINOK

Bu çalışmada, 23 Ekim 2011 tarihinde 38.75 K enlemi ile 43.36 D boylamında meydana gelen moment büyüklüğü $M_w = 7.2$ olan Van Depremi'ne ait artçı deprem verileri kullanılarak depremsellik parametrelerinin uzaysal ve zamansal değişimleri incelenmiştir. Çalışmada kullanılan artçı depremlere ait veriler Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü'nden sağlanmıştır. Artçı depremlerin dağılımına bakıldığında ana şok dış merkezi civarında, KD - GB uzanımlı eliptik bir kümelenme gösterdiği belirlenmiştir. Depremsellik parametrelerini belirlerken artçı depremlerin yoğunluk gösterdiği bölgede hesaplamalar yapılmıştır. Artçı deprem dizisi 30, 50, 100, 200, 450, 750 ve 1010 günlük periyodlarla incelenmiştir. Gutenberg - Richter bağıntısı ile b değerleri hesaplanmıştır. b değerinin $0.91 \leq b \leq 1.00$ arasında değiştiği ve zamanla arttığı saptanmıştır. Yüksek b değerlerinin ana şok dış merkezi civarında, artçı deprem aktivitesinin yüksek olduğu yerlerde KD - GB uzanımlı yer aldığı görülmüştür. b değerinin zaman içindeki artışı bölgedeki etkin gerilmenin zamanla azalmakta olduğunu düşündürmektedir. Artçı depremlerin zamanla azalım oranını gösteren p değerleri Değiştirilmiş Omori bağıntısından yararlanarak ve farklı yöntemlerle hesaplanmıştır. Kümülatif deprem sayısı - zaman (gün) ilişkisi ile $1.11 \leq p$

≤ 1.22 arasında, günlük deprem sayısının logaritmasının zamanın logaritması ile değişimine göre $0.61 \leq p \leq 1.19$ arasında ve ZMAP programı ile Maximum Likelihood Methodu kullanılarak ise $1.34 \leq p \leq 1.69$ arasında değiştiği hesaplanmıştır. Yüksek p değerleri ana şok dış merkezi civarında hesaplanmıştır. Buralarda b değerinin de yüksek olduğu ve artçı deprem aktivitesinin zamanla azaldığı gözlenmiştir. 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.

Haziran, 2015, 82 Sayfa

Anahtar kelimeler: 23 Ekim 2011 Van Depremi, Artçı şok, b değeri, p değeri, Depremsellik

SUMMARY

M. Sc. THESIS

INVESTIGATION OF AFTERSHOCKS OF 23 OCTOBER 2011 VAN EARTHQUAKE

Burçin Didem TAMTAŞ

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Geophysical Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Yıldız ALTINOK

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 $M_w = 7.2$. The aftershock data used in the study is obtained from Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI). 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 done in the area where aftershocks are denser. Aftershock series analyse done based on 30, 50, 100, 200, 450, 750 and 1010 days in period. b values are determined by Gutenberg – Richter equation. It is been determined that the b value is changing in between $0.91 \leq b \leq 1.00$ and increases by time. It is 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 is 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) $1.11 \leq p \leq$

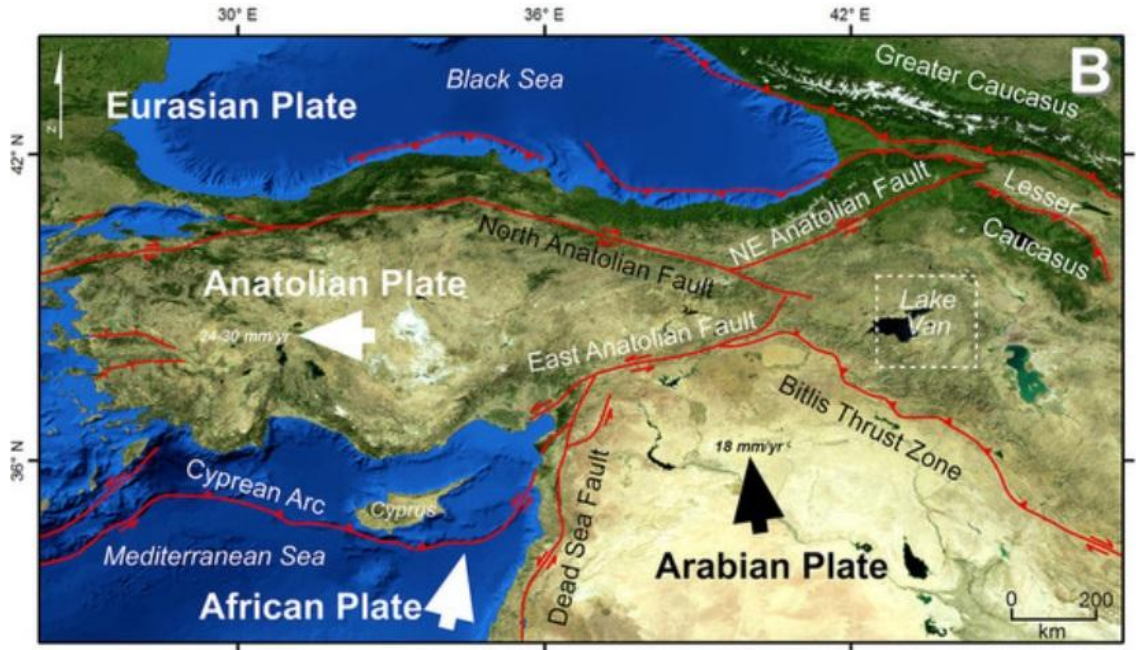
1.22, logarithm of daily earthquake quantity vs logarithm of time $0.61 \leq p \leq 1.19$, and based on with the ZMAP software Maximum Likelihood Method $1.34 \leq p \leq 1.69$. High p values are calculated in the outer center of the main shock. In these areas it is also been observed that the b values are higher and the aftershock activity is declining by time. It is 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.

June, 2015, 82 Pages

Keywords: 23 October 2011 Van Earthquake, Aftershock, b Value, p Value, Seismicity

1. GİRİŞ

Türkiye tektonik aktivitesi oldukça yüksek olan bir kuşak üzerinde yer almaktadır. Deprem bölgeleri haritasına göre; ülkemizin % 92'sinin deprem bölgeleri içerisinde olduğu, ülke nüfusunun % 95'inin deprem tehlikesi altında yaşadığı ve ayrıca büyük sanayi merkezlerinin % 98'i ve barajların % 92'sinin deprem bölgelerinde bulunduğu bilinmektedir. Son 58 yıl içerisinde depremlerde 58202 vatandaşımız hayatını kaybetmiş, 122096 kişi yaralanmış ve yaklaşık olarak 411465 bina yıkılmış ve ağır hasar görmüştür. Sonuç olarak denilebilir ki; depremler nedeniyle her yıl 1003 vatandaşımız ölmekte ve 7094 bina yıkılmaktadır (www.deprem.gov.tr). Türkiye'nin yer aldığı Alp - Himalaya orojenik sistemi tektonik aktivitesi oldukça yüksek bir kuşaktır. Anadolu Plakası'nda bulunan Türkiye, kuzeyde Avrasya Plakası, güneyde Afrika ve Arap Plakaları, batıda Ege Bloğu ve doğuda Anadolu Bloğu tarafından çevrelenmiştir (McKenzie, 1972; Dewey, 1976; Şengör, 1979). Türkiye'deki neotektonik süreç geç - orta miyosende Avrasya ve Arap - Afrika plakalarının çarpışıp Bitlis Kenet Kuşağı boyunca Bitlis okyanusunun kapanmasıyla başlar (Şengör, 1980; Şengör ve Yılmaz, 1981). Plakaların çarpışması sonucunda Doğu Anadolu hızla sıkışıp yükselmeye başlamış, Anadolu Levhası ise Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonları (DAFZ) boyunca batıya doğru ilerlemeye başlamıştır. Batıya doğru ilerleyen Anadolu Levhası Zante ile Saros arasında güneybatıya yönelerek Ege'de doğu - batı yönlü bir sıkışma yaratmış, Hellenik dalma batma zonunun etkisiyle kuzey - güney yönlü bir gerilmeye uğramış ve Batı Anadolu'da horst - graben yapısının oluşmasına sebep olmuştur (Tüysüz, 2005; Dewey ve Şengör, 1979). Adı geçen levhalar ve hareketleri Şekil 1.1'de gösterilmiştir. Batı Anadolu'daki horst graben sisteminin temsil ettiği gerilme doğuya doğru gidildikçe azalarak KAFZ ve DAFZ'nin birleşim yeri olan Karlıova eklemine sıfır değerine ulaşmıştır (Biju-Duval ve diğ., 1978; Le Pichon ve Angelier, 1981; McKenzie ve Yılmaz, 1991).



Şekil 1.1: Türkiye ve Çevresindeki Levha Hareketleri (Moro ve diğ., 2014).

Karlıova eklemi ile Zagros Fay zone arasında Van Gölü Havzası yer almaktadır. Van Gölü Havzası, Avrasya ve Arap - Afrika plakalarının çarpışmasıyla oluşan Bitlis Kenet Kuşağı'nın kuzeyindeki bölgedir. 23 Ekim 2011 Van Depremi'nin etkili olduğu bu bölge; güneyde bindirme düzlemleri ve kuzeyde 4000 metre yükselimli volkanik alanlarla çevrilmiştir (Altuncu Poyraz ve diğ., 2012).

Bu çalışmanın amacı 23 Ekim 2011 Van Depremi'ne ait artçı deprem verilerini kullanarak depremsellik parametrelerinin uzaysal ve zamansal değişimlerini incelemektir. Bu amaçla depreme ait artçı deprem kataloğu hazırlanmış ve depremsellik parametrelerinin uzaysal ve zamansal değişimleri belirlenmiştir. Bu da bölgedeki malzeme heterojenitesi, ısı akısı ve gerilme birikiminin karşılaştırmasına olanak sağlamaktadır. Bu nedenle artçı şok dizisi için Gutenberg - Richter bağıntısından yararlanarak b değerleri ve Değiştirilmiş Omori (Modified Omori Law) bağıntısından yararlanarak p değerleri hesaplanıp yorumlanmıştır.

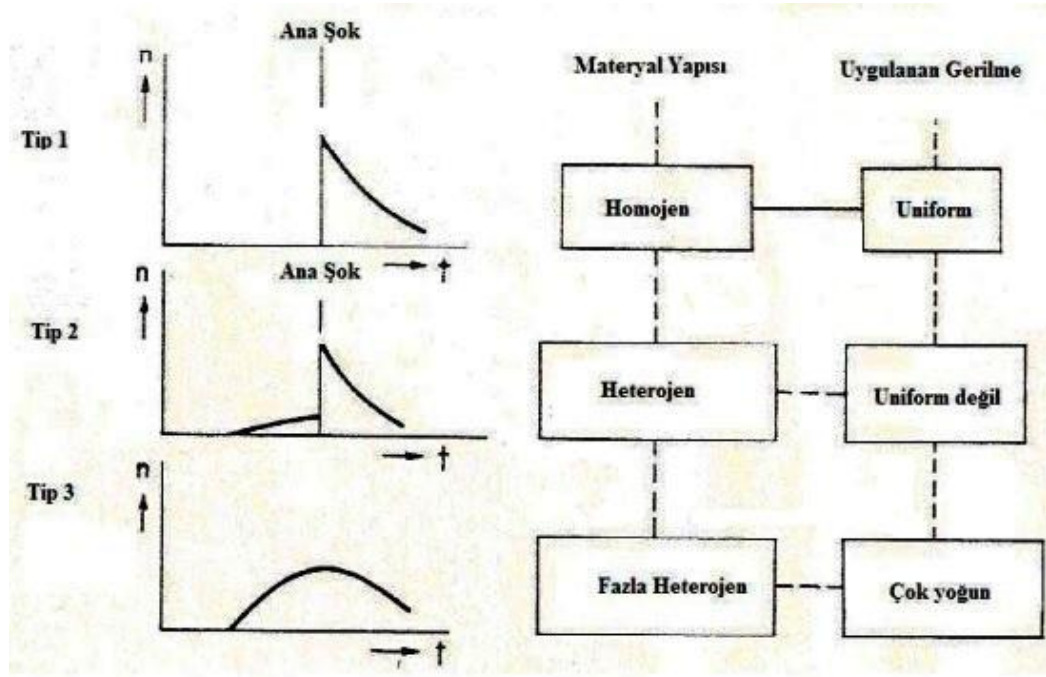
2. GENEL KISIMLAR

2.1. ARTÇI DEPREMLER

Bir deprem grubu içerisindeki en büyük magnitüdlü olaya ana şok denir. Büyüklüğü ana şoka nazaran daha küçük olan ve ana şoktan sonra meydana gelen olaylara ise artçı depremler denir. Artçı depremler genellikle ana şokun meydana geldiği fay üzerinde ya da maksimum yer değiştirme bölgesi etrafında dağılım gösterirler. Kisslinger (1996), artçı depremleri üçe ayırmıştır;

- a) Ana şok kırık bölgesi boyunca oluşanlar,
- b) Ana şok dış merkezine yakın bölgelerde oluşanlar,
- c) a ve b şıklarında belirtilen yerlerin dışındaki yerlerde oluşanlar.

Ana şok fayı çevresinde meydana gelen büyük artçı depremlerin de artçılarının olabileceği ve bu durumun artçı deprem sürecini uzatabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Artçı şokların, ana şok dış merkezi etrafında eliptik bir kümelenme göstermesi artçı şokların genel karakteristiği olarak düşünülebilir (Utsu, 1961; Savage ve Meyer, 1985). Artçı şokların sayısı, bölgesel dağılımları ve zamanla azalışları önemli bilgiler sağlar. Artçı şokların sayısı tektonik yapıyla ilişkilidir ve zaman içindeki dağılımları fayın yapısına, odak derinliğine ve faydaki gerilmenin dağılımına bağlıdır (Drakatos ve Latoussakis, 2001). Zamansal dağılımları ana şokun büyüklüğüne yani ana şok ile açığa çıkan enerjinin miktarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Abercrombie ve Mori, 1996, Agnew ve Jones, 1991, Chen ve diğ. 1999). Ana şokun meydana geldiği faydaki gerilme şok süresince değişir ve çok sayıda artçı şok üretebilir. Artçı şoklar depremin özellikleri ve fay zonundaki malzemenin fiziksel özellikleri hakkında bilgi verebilirler (Utsu, 1961; Mogi, 1969; Scholz, 1968; Frohlich, 1987). Öncü ve artçı şokların oluşumu tektonik yapı ve gerilme türü ile ilişkilidir. Mogi (1963), depremlerin oluşum özelliklerine göre üç tip oluşum modeli önermiştir. Bu üç model arasındaki fark, materyallerin yapısal durumları ve uygulanan gerilmenin dağılımı ile ilgilidir.



Şekil 2.1: Deprem Oluşum Modelleri (Mogi, 1963).

Tip 1 : Materyal homojen ve uygulanan gerilme uniform ise ana şok oluşumundan önce öncü şok meydana gelmez ve sayısı zamanla azalan artçı şoklar oluşur.

Tip 2: Materyal heterojen ve uygulanan gerilme uniform değilse ana şoktan önce küçük öncü şoklar oluşur ve ana şoktan sonra ise sayıları zamanla azalan bir çok artçı şok meydana gelir.

Tip 3: Materyal fazla heterojen ve uygulanan gerilim çok yoğun ise deprem fırtınası adı verilen aktivite görülür. Şokların sayısı ve büyüklüğü yavaş yavaş artar ve sonra zamanla azalır. Bu tip olaylarda ana şok yoktur.

Mogi (1963), bu oluşum modellerinde, uygulanan gerilme ve materyal yapısının etkili olduğunu saptamıştır.

Artçı deprem oluşumuyla ilgili bir çok çalışma yapılmıştır. Bunlar; artçı depremlerin zamana bağlı dağılımının fiziksel modeli (Wang,1994), Omori'nin hiperbolik yasası (Omori, 1894), artçı depremlerin zamana bağlı davranışlarının fiziksel modeli (Marcellini, 1997), artçı depremlerin bölgesel dağılımı ve artçı depremlerin enerji boşalımı (Utsu, 1961), deprem büyüklüğü - oluş sayısı bağıntısındaki b değeri ve artçı

şokların zamana bağlı azalımını ifade eden p değeri arasındaki ilişki (Wiemer ve Katsumata, 1999) olarak sıralanabilir (Kılıç, 2006).

Guo ve Ogata (1997), b değerinin 0.7 ile 1.3 arasında, Wiemer ve Katsumata (1999) ise b değerinin 0.6 ile 1.4 arasında değişim gösterdiğini belirtmişlerdir. Utsu (1971)'e göre ise b değeri 0.3 ile 2.0 arasında değişim göstermektedir. Reasenber ve Jones (1989) ise b değerinin Gutenberg Richter bağıntısı ile uyum içinde olduğunu ve 1.0 civarında değer aldığını belirtmişlerdir.

Artçı şok dizisinin fiziksel oluşumu ile ilgili olan ve zamanla üstel olarak azalım gösteren p değeri ise depremsellik parametrelerinin ve tektonik yapının belirlenmesi açısından önemlidir. Büyük p değeri hızlı, küçük p değeri ise yavaş artçı şok azalımını gösterir (Hirata, 1987). Olson (1999)'a göre p değeri 0.5 ile 1.8 arasında değişim gösterir. Normal artçı şoklar için p değeri 1.0'dan küçük, büyük bir ana şoktan sonra meydana gelen artçı şok dizileri için ise $p \geq 1.0$ 'dır (Liu, 1986). p değerindeki değişim gerilme, heterojenite ve ısı akısından kaynaklanabilir (Mogi, 1962; Kisslinger ve Jones, 1991).

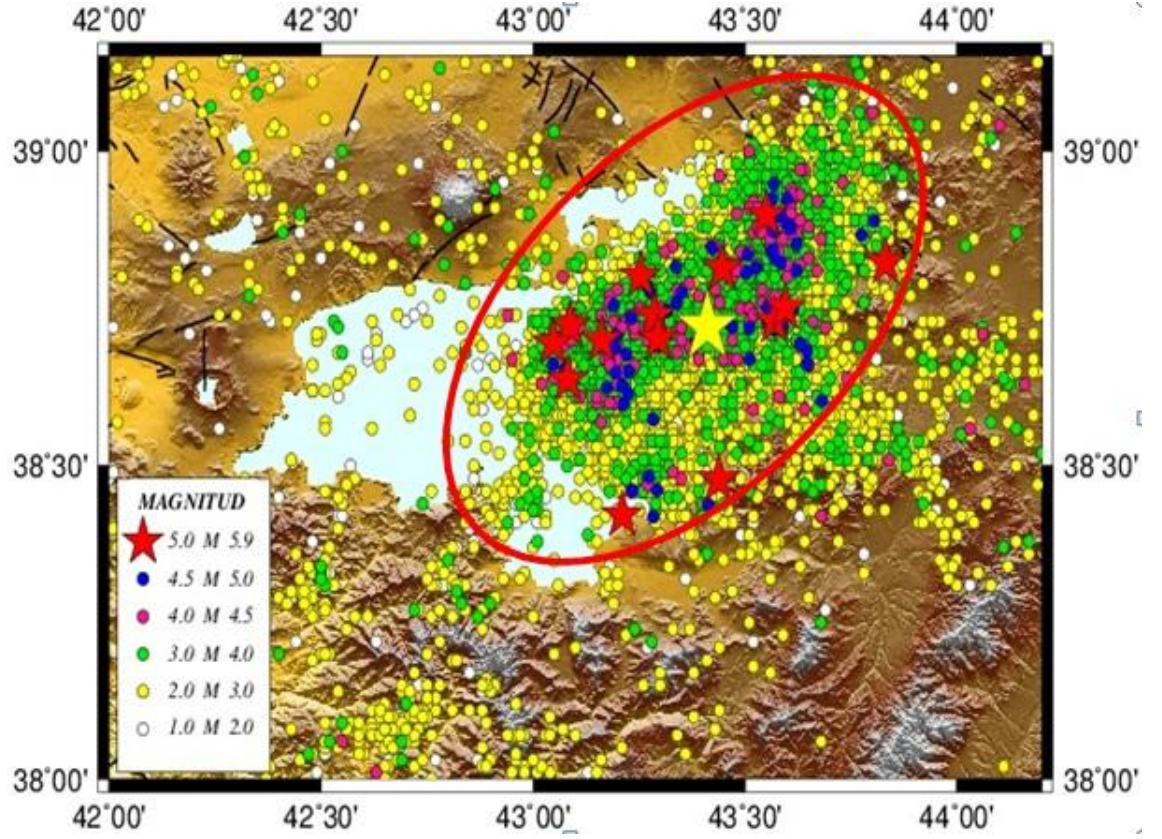
2.2. 23 EKİM 2011 VAN DEPREMİ ($M_w=7.2$)

23 Ekim 2011 tarihinde yerel saat ile 13:41'de Van ili Tabanlı Köyü merkezli moment büyüklüğü $M_w = 7.2$ olan bir deprem meydana gelmiştir. Farklı merkezlerde kaydedilen bilgilere göre depremin yer, zaman, magnitüd ve derinlik bilgileri Tablo 2. 1'de görüldüğü gibidir.

Tablo 2.1: Deprem bilgi merkezlerine göre 23 Ekim 2011 Van Depremi odak parametreleri.

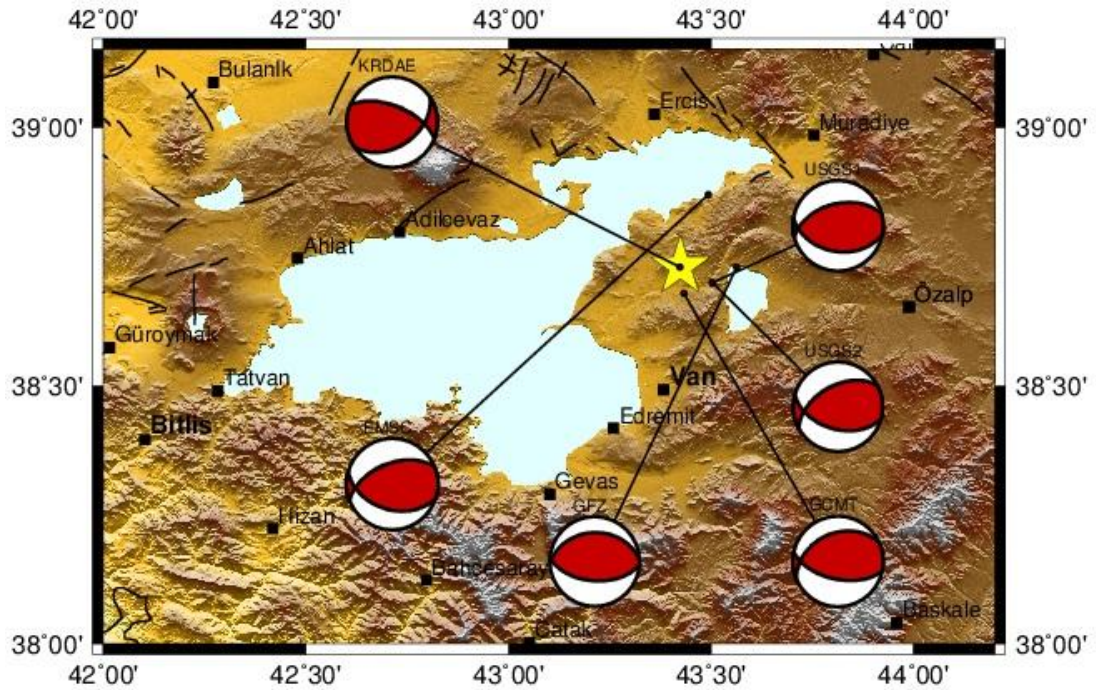
KAYNAK	TARİH	SAAT	ENLEM (K)	BOYLAM (D)	DERİNLİK (km)	MW	Md	ML	Mb
KRDAE	23.10.2011	13:41:21	38.7578	43.3602	5.0	-	-	7.2	-
GCMT	23.10.2011	10:41:28.4(UTC)	38.67	43.42	12	7.1	-	-	-
EMSC	23.10.2011	10:41:22.0 (UTC)	38.86	43.48	10.0	7.3	-	-	-
USGS	23.10.2011	10:41:21 (UTC)	38.628	43.486	20.0	7.2	-	-	-
GFZ	23.10.2011	10:41:20 (UTC)	38.72	43.55	10	7.1	-	-	-

Şekil 2. 2' de görülen Van Depremi artçı şoklarının dağılımlarını gösteren haritaya bakıldığında ana şokun her iki yanında KD - GB doğrultulu olarak sıralandıkları görülmektedir. Artçı depremlerin dağılımı, kırılmanın doğrultusu hakkında genel bir fikir vermektedir (Kalafat ve diğ., 2003).



Şekil 2.2: 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı depremlerinin dış merkez dağılımları (<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2015/deprem-verileri/deprem-katalogu/>).

Depreme ait çeşitli bilgi merkezlerinden elde edilen verilere göre yapılmış odak mekanizması çözümlerinin haritası çizilmiştir (Şekil 2.3).

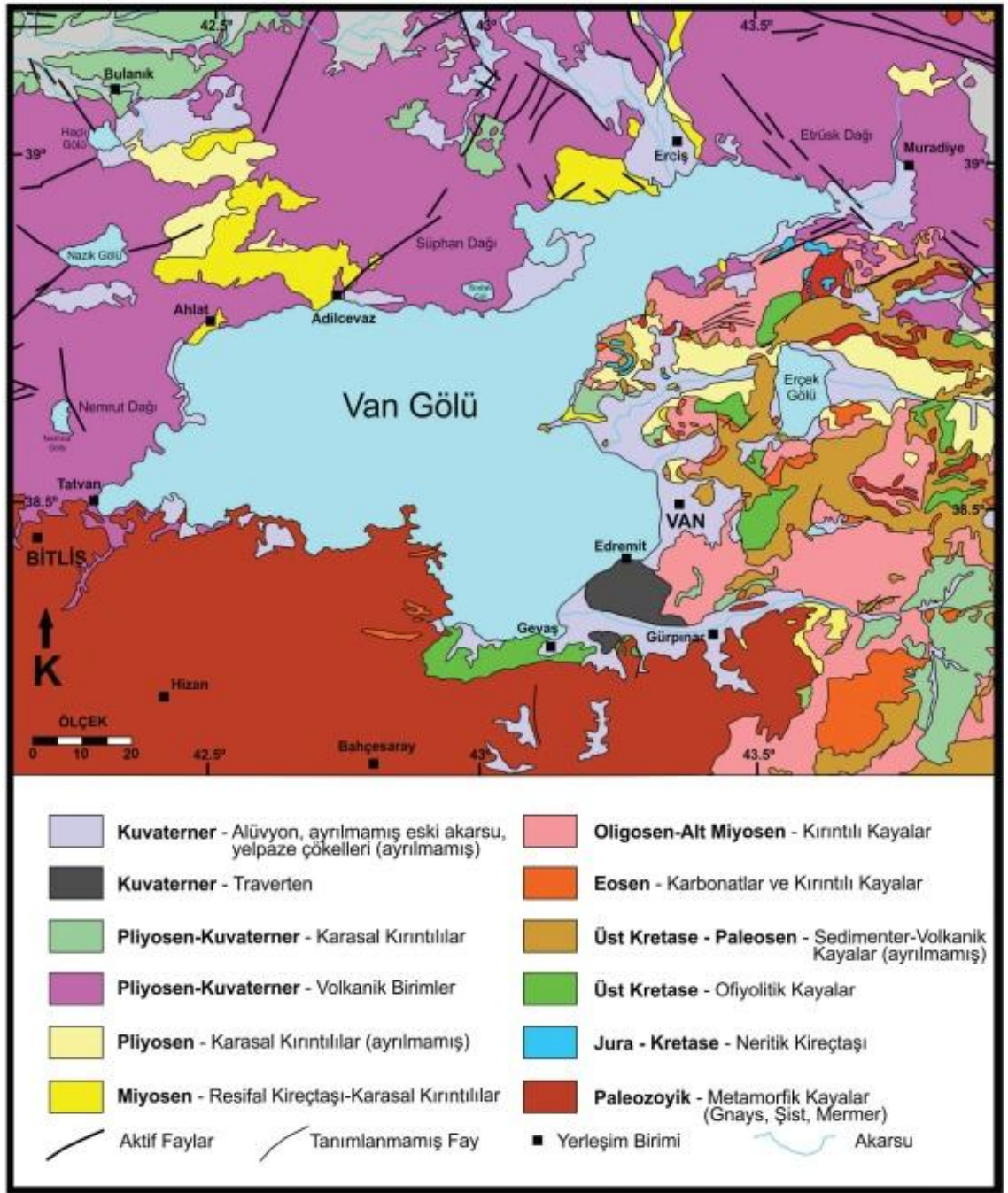


Şekil 2.3: 23 Ekim 2011 Van Depremi odak mekanizması çözümleri.

2.2.1. VAN VE YÖRESİNİN JEOLJİK ÖZELLİKLERİ

Van Gölü Havzasında Paleozoik dönemden günümüze kadar oluşmuş çok çeşitli kaya grupları yüzeylemiştir. Şekil 2.4 incelendiğinde havzanın güney kesiminde Bitlis Masifi'ne ait metamorfik kayaçların yer aldığı görülür (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 ürünler bölgede genişçe yer almaktadır. Bunlar 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 riyoitik bileşimli ürünler bulunur. Dağın eteklerinde ise pomza gelişmiştir (Özdemir ve diğ., 2011). Havzanın doğusunda Yüksekova Karmaşığına ait ofiyolitik birimler ve kırıntılı çökeller 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 Kırkgeçit Formasyonu olarak adlandırılan kumtaşı - çamurtaşı aralanmalı bir seri çökmesi gerçekleşmiştir (Aksoy, 1988). Van il merkezinin kuzey kesimlerinde gabro, serpantinit, kuvarsit, kireçtaşı gibi kayalar bloklarından oluşan Dirbi Karışığı yer alır. Van Formasyonu ise ince - orta katmanlı kil taşı - kum taşı - çakıl taşı aralanmasından oluşan Oligosen - erken Miyosen yaşlı denizel bir formasyondur (Sağlam, 2003). Havzanın KB kesimlerinde sarımsı beyaz - beyaz renkli, kalın - çok kalın katmanlı bolca fosil içeren Adilceviz kireçtaşı olarak adlandırılan kireç taşları çökelmiştir. Bu kireç taşları Adilceviz ilçesinin batı ve KB kesimleri ile Erciş dolaylarında yüzeylemiştir. Ayrıca Aktaş Formasyonu da havzanın KB kesiminde küçük alanlarda yüzeyleir. Pleistosenen itibaren havzanın doğusunda ve kuzeydoğusunda volkanik birimlerin üzerinde yer yer çökelmiş göl ve akarsu ürünleri yer alır. Van Gölü'ndeki su seviyesinin son buzul döneminden sonra gösterdiği değişimler sebebiyle göl, akarsu ve delta çökelleri geniş yayılımlar göstermiştir (Özkaymak, 2003). Van'ın Edremit ilçesi civarında geniş yayılımlı traverten birimi oluşmuştur (Acarlar ve diğ., 1991). Travertenlerin yaşı en az 40000 yıl en fazla 100000 yıldır (Acarlar ve diğ., 1991). Bu travertenlerin pleistosen volkanizmasına bağlı gelişen çözülmüş karbonatlarca zengin suların yüzeye çıkmasıyla oluştuğu düşünülmektedir (Degens ve diğ., 1978). Sözü geçen tüm bu birimlerin üzerinde belli başlı alanlarda yamaç molozu ve tutturulmamış akarsu çökelleri yer almaktadır. Ana yırtılmanın meydana geldiği fay üzerindeki birimler GB uzanımında Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı kırıntılılar, KD uzanımında ise Oligosen yaşlı denizel kırıntılılardır (Altuncu Poyraz ve diğ., 2012).



Şekil 2.4: Van Gölü Havzası Jeoloji Haritası (MTA 2002).

2.2.2. BÖLGENİN SİSMOTEKTONİK YAPISI

Doğu Anadolu'daki neotektonik rejimin başlangıcı günümüzden yaklaşık 10 - 14 milyon yıl öncesine dayanmaktadır. Avrasya ile Arap Plakalarının çarpışması sonucu Neotetis okyanus tabanının yok olması ile gelişmiştir (Şengör ve Kidd, 1979; Şengör ve Yılmaz, 1983; Dewey ve diğ., 1986; Şaroğlu ve Yılmaz, 1986; Yılmaz ve diğ., 1987; Koçyiğit ve diğ., 2001). Çarpışma nedeniyle etkin olan kabuk kısalması ve kalınlaşması bölgenin yükselmesine neden olmuştur (Şaroğlu ve Yılmaz, 1986; Yılmaz ve diğ., 1987). Günümüzde Doğu Anadolu - İran Platosu 2000 metreye kadar yükselmiştir (Koçyiğit ve diğ., 2001). Yükselimlerin arasındaki alanlar doğrultu atımlı faylar ile sınırlanmıştır (Şaroğlu ve Güner, 1981; Koçyiğit, 2005). Çarpışma sonucu bölgede K - G yönlü sıkışma ile kalınlaşan kabuk ve yoğun volkanik faaliyetlerin sonucunda D - B uzanımlı bindirme ve kıvrım kuşağı gelişmiştir. KAFZ ve DAFZ oluşmuştur (Yılmaz ve diğ., 1987). 23 Ekim 2011 Van Depremi'nin etkili olduğu Bitlis Kenet Kuşağı olarak adlandırılan çarpışma kuşağının kuzeyinde yer alan bölge de güneyden bindirme düzlemleri ile sınırlanmış ve kuzeyinde ise 4000 metre yükselimli volkanik alanlarla çevrilmiştir. Orta alanda ise Van Gölü Havzası yer almaktadır (Altuncu Poyraz ve diğ., 2012). Şekil 2.5' te görüldüğü gibi Van Gölü Havzası'nın doğusunda sağ yönlü doğrultu atımlı faylar yoğun biçimde yer almaktadır (Ketin, 1977). Van Gölü Havzası KAFZ' nun DAFZ ile kesiştiği Karlıova eklemi ile Zagros Fay Zonu arasında yer almaktadır. Bu ara bölgenin sağ yönlü doğrultu atımlı faylardan oluşan bir geçiş fay zonu içinde bulunması bölgenin jeodinamiğine ayrı bir önem kazandırmaktadır (Köse ve Özkaymak, 2002). Van Gölü'nün kuzey, doğu ve güney bölümünde yer alan KD, KB ve D-B yönünde uzanım gösteren bindirme ve doğrultu atımlı faylar, bölgeye egemen olan sıkışma rejimine bağlı gelişmiş çok katlı fay sistemlerini temsil eder (Yağmurlu ve diğ., 2012). Özellikle Van Gölü Havzası'nın doğusunda sağ yönlü doğrultu atımlı faylar yoğun biçimde yer almaktadır (Ketin, 1977).

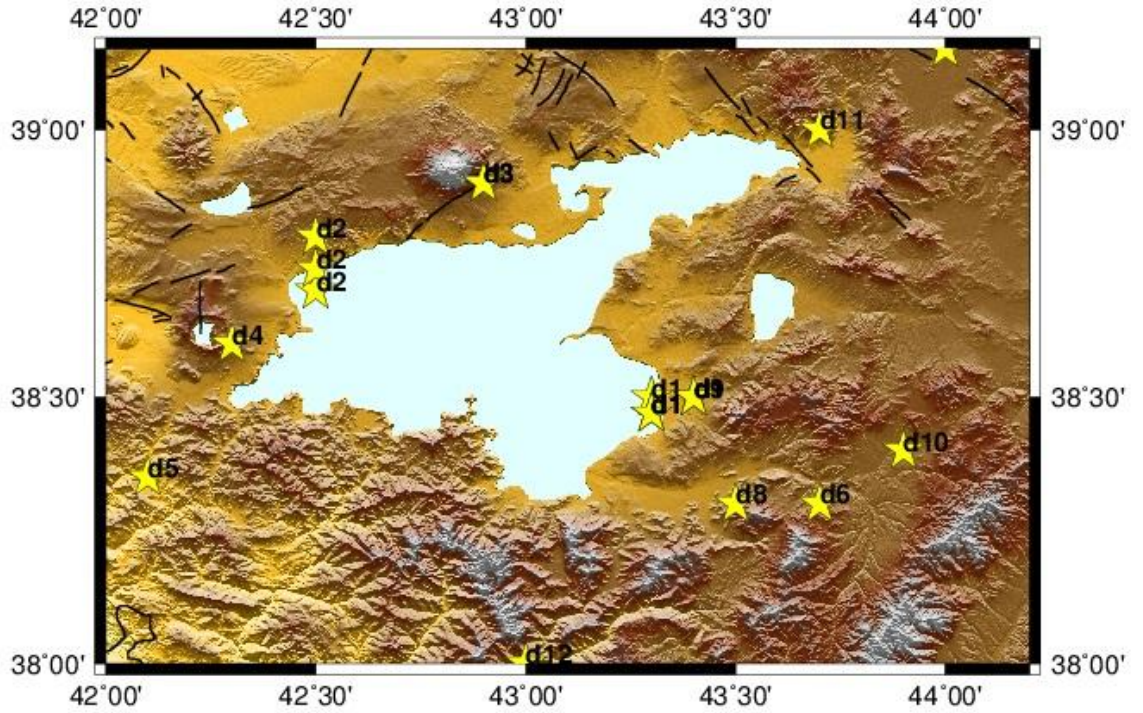
1912; Karaoğlu ve diğ., 2005). Van şehir merkezinin güneydoğusundaki Güzelsu (Hoşap) ve çevresinde 16. ve 17. yüzyıllarda meydana gelen VI ve VII şiddetindeki depremlerin Van ve Erciş'te hasara neden olduğu bildirilmiştir.

Tablo 2.2: Van Gölü Havzasındaki tarihsel dönem depremleri (Yağmurlu ve diğ., 2012).

<u>L</u> (<u>Lokasyon</u>)	<u>Tarih</u>	<u>Enlem</u>	<u>Boylam</u>	<u>M</u> (<u>Magnitüd</u>)	<u>I</u> (<u>Siddet</u>)	<u>Etkilenen Bölgeler ve</u> <u>Kaynakça</u>
d1	1101	38.47	43.3		VI	Van (1)
d1	1111	38.5	43.4	6.6	IX	Van (1,2,4)
d2	1208	38.7	42.5	6.5	-	Ahlat, Van, Bitlis, Muş (4)
d2	1245	38.74	42.5	5	VII	Ahlat, Van, Bitlis, Muş (1,2,4)
d2	1275	38.8	42.5	6.8	-	Ahlat, Van (4)
d3	1276	38.9	42.9	5	VIII	Ahlat, Erciş, Van (1, 2, 4)
d3	1282	38.9	42.9	5	-	Ahlat, Erciş (2,4)
d4	1439	38.6	42.3	?	VI	Van, Bitlis, Muş, Nemrut Bölgesi (1, 2, 4)
d5	1441	38.35	42.1	5	VIII	Van, Bitlis, Muş, Nemrut Bölgesi (1, 2, 4)
d6	1646	38.3	43.7	5	VI	Van (3, 4)
d7	1647	39.15	44	?	IX	Van, Tebriz, Muş, Bitlis (2, 4)
d8	1648	38.3	43.5	6.8	VIII	Hoşap, Van (2, 3, 4)
-	1685	?	?	?	VI	Van (2)
-	1692	?	?	?	?	Van, Aras Çukuru (2)
d9	1696	39.1	43.9	7.1	IX	Van (4)
d1	1701	38.5	43.4	5	VIII	Van (1, 2, 3)

Tablo 2.3 (devam):

d1	1701	38.5	43.4	5	VII	Van (2, 3, 4)
d1	1704	38.5	43.4	5	VII	Van (1, 2, 3, 4)
d10	1715	38.4	43.9	6.7	VIII	Van, Erciş (1, 2, 3, 4)
d11	1791	39.0	43.7	?	VI	Van, Tebriz, Erzurum (1)
d12	1871	38.0	43.0	6.9	VII	Van (1, 2, 4)
d1	1881	38.5	43.3	7.3	X	Van, Bitlis, Muş, Nemrut Bölgesi (2, 4)
d1	1894	38.47	43.3	-	V	Van (2)
d1	1900	38.47	43.3	5.2	VI	Van (2)

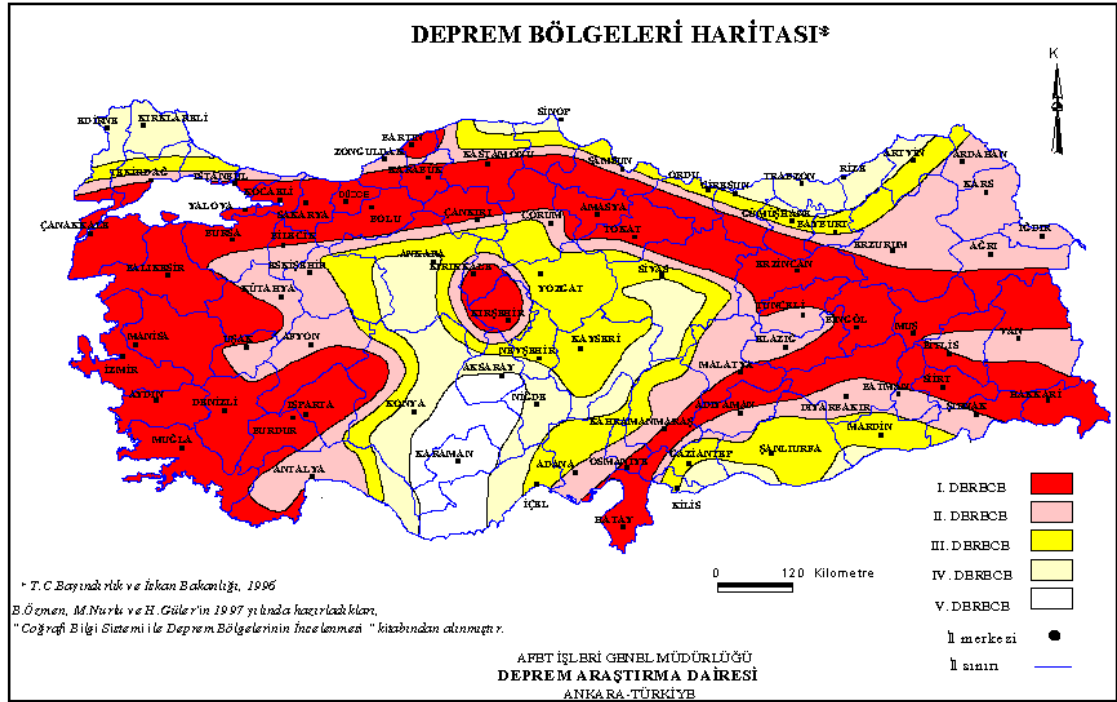


Şekil 2.6: Van Gölü Havzası'nda meydana gelen tarihsel depremleri gösteren harita.

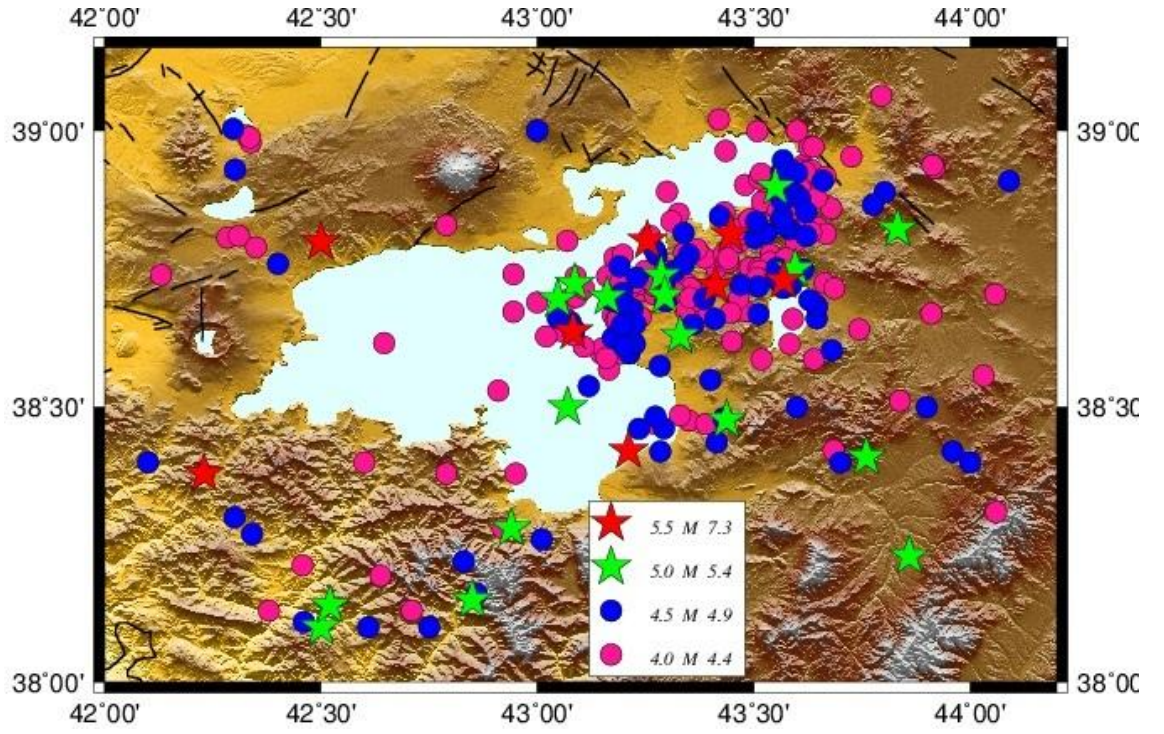
2.2.3.2. Aletsel Dönem

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 (Şekil 2.7). Bölgede aletsel dönem içerisinde meydana gelen, büyüklüğü $M \geq 4.0$ olan depremler Şekil 2.8'deki haritada görülmektedir. Tablo 2.3'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 magnitüdü 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. Son

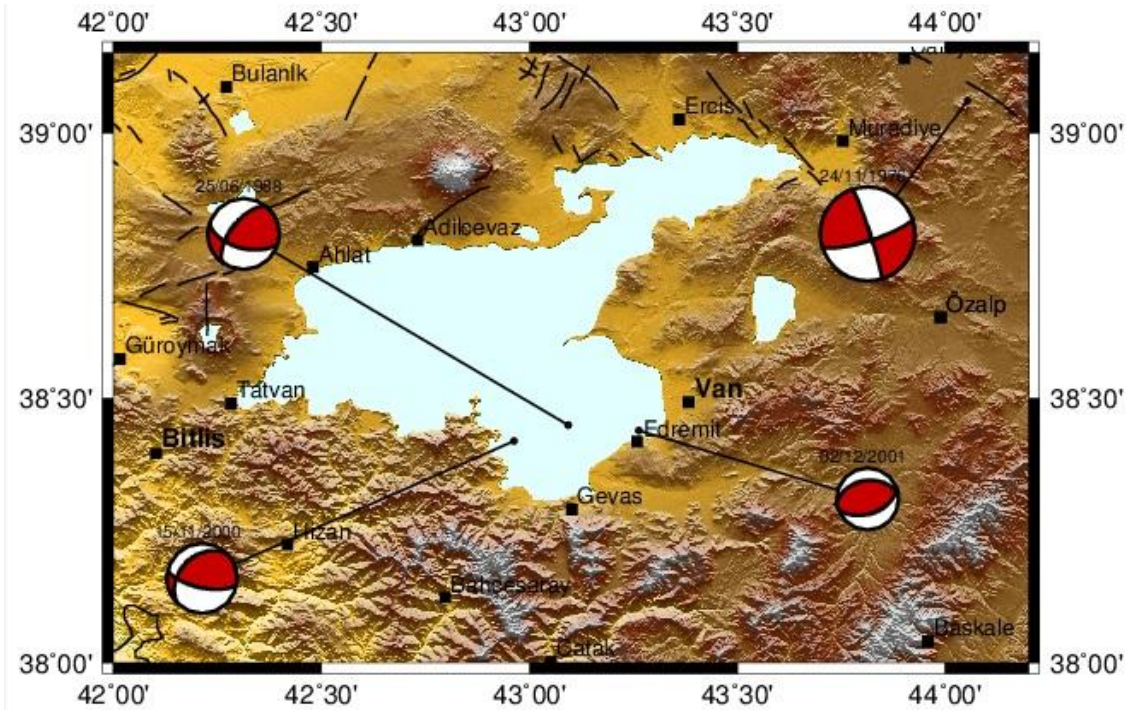
yıllarda meydana gelen bazı depremlerin odak mekanizması çözümleri incelenmiş ve Şekil 2.9’da gösterilmiştir. Buna göre; 02.12.2001 tarihinde Edremit ilçesi yakınlarında meydana gelen 4.5 büyüklüğündeki depremin odak mekanizması çözümüne bakıldığında hareketin neredeyse saf bindirme bileşenli olduğu görülür. Depremin bindirme bileşenli doğrultusu bölgede çokça rastlanan bindirme faylarının doğrultusuna yakındır (Özkaymak ve diğ., 2004). 15.11.2000 tarihinde Gevaş ilçesinde meydana gelen 5.7 büyüklüğündeki depremin odak mekanizması çözümünün doğrultu atımlı olduğu görülmektedir (Özkaymak ve diğ., 2004). 1988, 1999, 2000, 2001 ve 2003 yıllarında meydana gelen depremlerin odak mekanizması çözümleri ise çoğunlukla eğim atımlı ters faylanma göstermektedir. 25 Haziran 1988 yılında Van Gölü içinde meydana gelen 5.4 büyüklüğündeki depremin odak mekanizması çözümlemesi sol yanal bileşenli ters faylanma göstermektedir (Özkaymak ve diğ., 2004).



Şekil 2.7: Türkiye Deprem Bölgeleri (T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı).



Şekil 2.8: Van Gölü Havzası'nda aletsel dönemde meydana gelen $M \geq 4.0$ olan depremler.



Şekil 2.9: Van Gölü Havzası ve yakın çevresinde aletsel dönemde meydana gelen bazı depremlerin odak mekanizmaları (<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2015/deprem-verileri/moment-tensor-cozumleri/>).

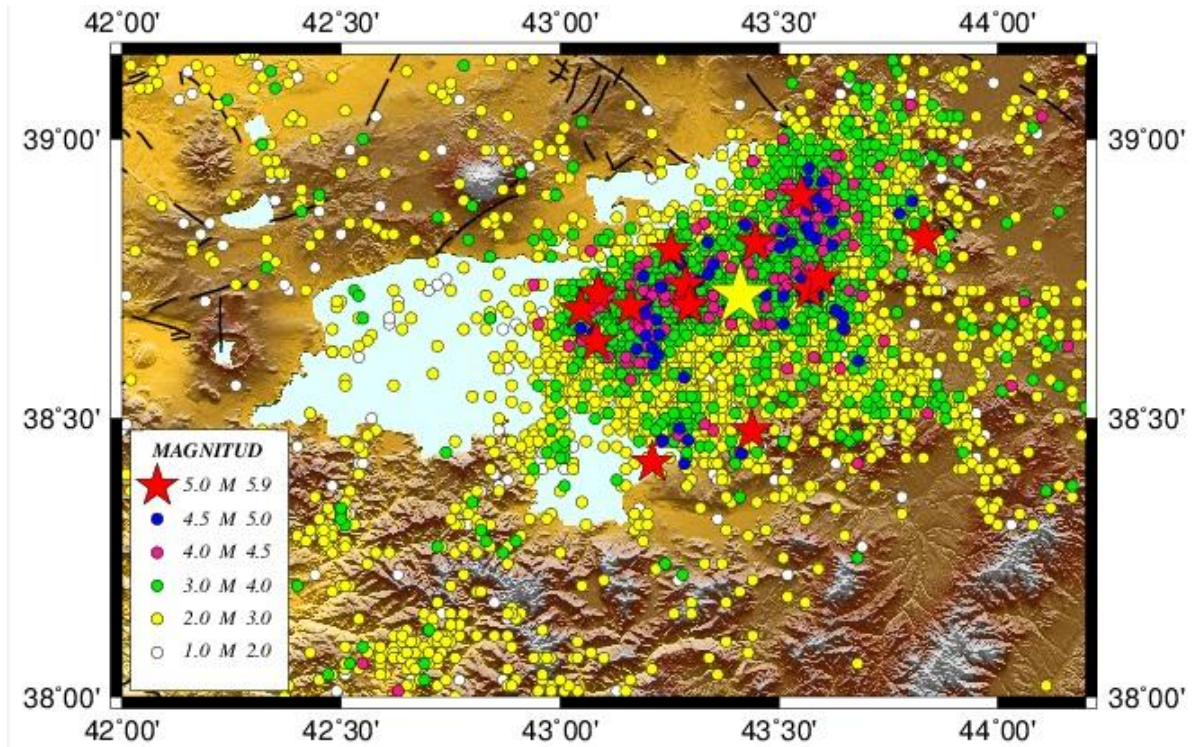
Tablo 2.4: Van gölü Havzası'nda aletsel dönemde meydana gelen $M_s \geq 5.0$ olan depremler (<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2015/deprem-verileri/deprem-katalogu/>).

<u>Tarih</u>	<u>Enlem</u>	<u>Boylam</u>	<u>M_s</u>	<u>M_b</u>	<u>Açıklama</u>
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)

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN ARTÇI DEPREM DİZİLERİ

Bu çalışmada kullanılan, 23 Ekim 2011 Van Depremi'ne ($M_w=7.2$) ait, 23.10.2011 - 28.07.2014 tarihleri arasında meydana gelen, büyüklüğü $1.0 \leq M \leq 5.9$ arasında değişen 9970 adet artçı şok verisi Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü deprem kataloğundan sağlanmıştır. Çalışma $38^{\circ}.00 - 39^{\circ}.15$ K enlemleri ile $42^{\circ}.00 - 44^{\circ}.20$ D boylamları arasında kalan Van Bölgesi'ni kapsamaktadır. Şekil 3.1'de bölgeye ait artçı depremlerin dış merkez dağılımları görülmektedir.



Şekil 3.1: 23 Ekim 2011 Van Depremi'ne ait artçı depremlerin dış merkez dağılımları (<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2015/deprem-verileri/deprem-katalogu/>).

3.2. GUTENBERG – RICHTER BAĞINTISI

Gutenberg – Richter bağıntısı, deprem oluşum sayısı – magnitüd ilişkisi olarakta bilinir. 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. Bu bağıntı, 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 magnitüdleri arasındaki ilişkiyi gösteren doğrunun eğimini verir. a katsayısının değeri, gözlem süresine ve incelenen alanının boyutuna göre değişir. 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). 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 olarakta değişik değerler alır. Bu çalışmada a ve b katsayılarını hesaplamak için En Küçük Kareler Yöntemi uygulanmıştır.

3.3. OMORİ BAĞINTISI

Omorî 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 azalırlar (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

C_1, 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. C_2 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).

3.4. b DEĞERİ

b değeri, Gutenberg - Richter bağıntısından elde edilir. Depremlerin magnitüdüleri ile oluşum sayılarının logaritmaları (Log N) arasındaki doğrunun eğimini verir. Deprem istatistik çalışmalarında kullanılan temel bir parametredir. Deprem oluşumunun fiziki ile ilgilidir (Mogi, 1962a; Scholz, 1968).

b değeri, fay zonlarındaki karmaşık bölgelerde küçüktür (Amelung ve King, 1997; Wiemer ve Wyss, 1997). Wiemer ve Katsumata (1999)'nın çalışmalarında b değerleri ile ana şok sırasında oluşan kırılma boyunca meydana gelen atımlar arasında doğrusal bir ilişki olduğu anlaşılmıştır. Buna göre; atım miktarının azaldığı yerlerde düşük b değerleri gözlenir (Çetin, 2004).

Heterojenite ve gerilim b değerini etkileyen iki önemli faktördür. b değerinin heterojenite ile yükseldiği ve gerilim ile ise ters orantılı olduğu saptanmıştır (Mogi, 1962a; Scholz, 1968). Ayrıca ısı akısındaki artışın da yüksek b değerlerine neden olduğu saptanmıştır (Warren ve Latham, 1970).

Yapılan bazı çalışmalarda b değerinin aynı yerlerde sabit olduğu görülmüştür (Riznichenko, 1968; Allen ve diğ., 1965). Bazı çalışmalarda ise b değerinin aynı yerde zamana göre değişiklik gösterdiği saptanmıştır (Ikegami, 1967; Healy ve diğ., 1968). Westerhaus ve diğ., (2002)'ne göre küçük b değerleri bölgede oluşacak bir depremin habercisi olabilirler.

Bu çalışmada b değerleri EKK Yöntemi ile hesaplanmıştır.

3.5. p DEĞERİ

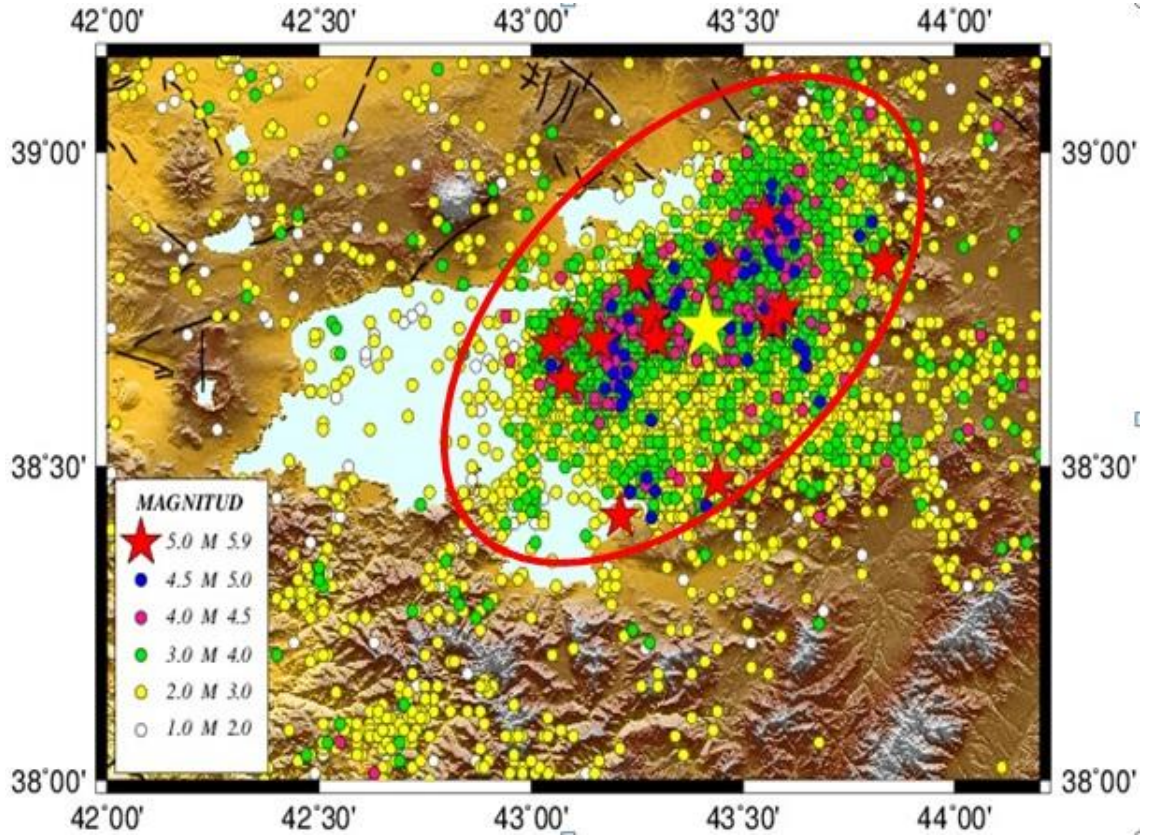
p değeri, artçı şokların üstel olarak azalım oranını belirtir ve artçı şok dizisinin fiziksel oluşumu ile ilgilidir (Kisslinger, 1996). Heterojenite, gerilme ve ısı akısına bağlı olarak bölgeden bölgeye değişim gösterir (Mogi, 1962a; Kisslinger ve Jones, 1991). Tsapanos (1992) ve Wiemer ve Katsumata (1999) çalışmalarında tektonik yapının ve ısı akısı değerinin p değerini etkilediğini saptamışlardır. Heterojeniteye bağlı olarak p değerinin değişebileceğini ve yüksek p değerlerinin ısı akısından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Hirata (1987), büyük p değerlerinin hızlı, düşük p değerlerinin ise yavaş bir artçı şok azalım oranını ifade ettiğini belirtmiştir. Kisslinger ve Jones (1991)'e göre p değeri $0.7 \leq p \leq 1.8$, Olsson (1999)'a göre $0.5 \leq p \leq 1.8$, Wiemer ve

Katsumata (1999)'a göre $0.6 \leq p \leq 1.4$, Guo ve Ogota (1997)'ye göre ise $0.9 \leq p \leq 1.8$ arasında değişmektedir.

Bu çalışmadaki p değerleri, kümülatif deprem sayısının zamanla (gün) değişimi, günlük deprem sayısının logaritmasının zamanın logaritması ile değişimi ve ZMAP programı ile Maximum Likelihood Methodu (Wiemer, 2001) kullanılarak hesaplanmıştır.

4. BULGULAR

23 Ekim 2011 Van Depremine ($M_w=7.2$) ait $38^\circ.00 - 39^\circ.15$ K enlemleri ile $42^\circ.00 - 44^\circ.20$ D boylamları arasında kalan 9970 adet artçı şoku içeren deprem kataloğu oluşturulmuştur. Artçı deprem verileri, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından hazırlanan deprem kataloğundan sağlanmıştır. Bölgedeki artçı deprem etkiliğine ait magnitüd değerleri, birikimli deprem sayısı ve artçı şok sayısının zamanla değişimi incelenmiştir. Çalışmadaki şekiller GMT (Wessel ve Smith, 1998) programı ile çizilmiştir. Şekil 4.1’ de görülen bölgeye ait artçı depremlerin dış merkez dağılımlarına bakıldığında ana şok civarında, $38.40 - 39.00$ kuzey enlemleri ile $43.00 - 43.80$ doğu boylamları arasında kalan bölgede eliptik bir kümelenme gösterdiği görülmektedir. $38.40 - 39.00$ kuzey enlemleri ile $43.00 - 43.80$ doğu boylamları arasında kalan bu bölgede meydana gelen artçı depremlere $M_c=2.6$ kesme değeri uygulanarak; Gutenberg - Richter bağıntısından yararlanarak b değerleri, Değiştirilmiş Omori bağıntısından yararlanarak p değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca günlük deprem sayısının logaritmasının zamanın logaritmasıyla ilişkisi ($\log n(t).day^{-1} - \log(t)$) ve Maksimum Likelihood methodu (ZMAP) kullanılarak p değerlerinin zamanla azalimleri değerlendirilmiştir.

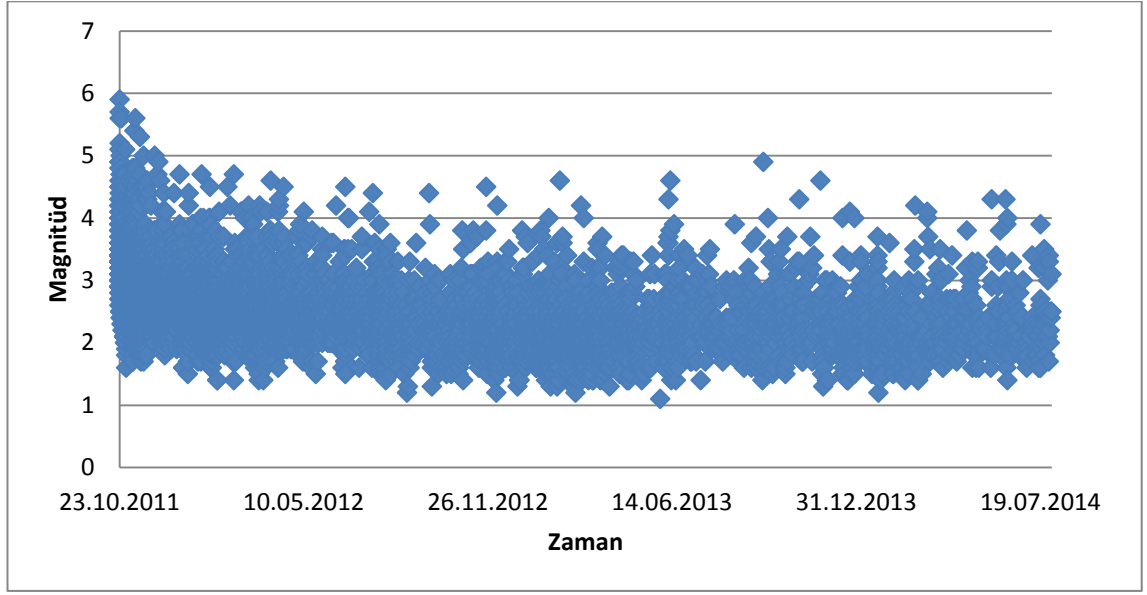


Şekil 4.1: 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı deprem dış merkez dağılımları
(<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2015/deprem-verileri/deprem-katalogu/>).

4.1. 23 EKİM 2011 VAN DEPREMİ ($M_w=7.2$) DEPREMSELLİK PARAMETRELERİNİN SAPTANMASI

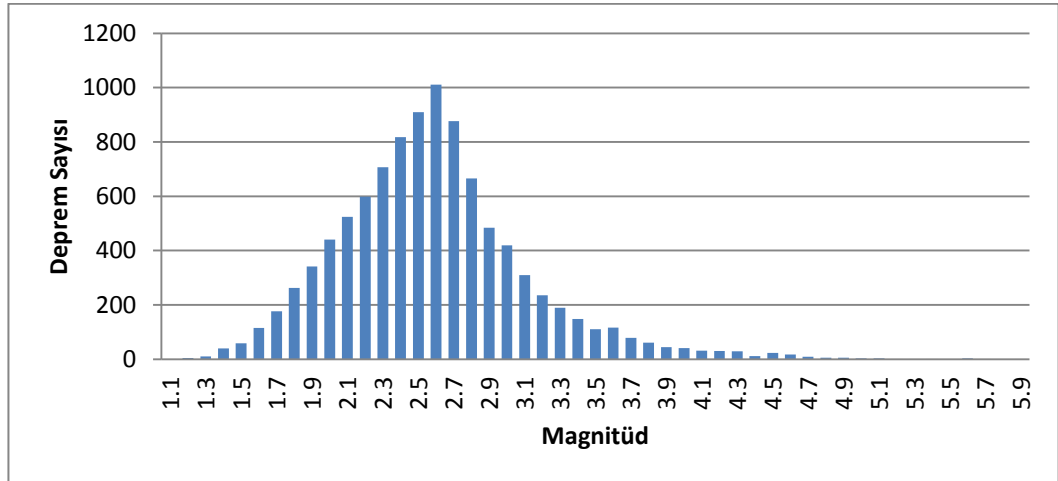
4.1.1. 38°.00 - 39°.15 K ENLEMLERİ İLE 42°.00 - 44°.20 D BOYLAMLARI ARASINDA KALAN BÖLGEDEKİ ARTÇI DEPREMLERİN İNCELENMESİ

23 Ekim 2011 Van Depremi'nden sonraki 46 aylık dönemde 38°.00 - 39°.15 kuzey enlemleri ile 42°.00 - 44°.20 doğu boylamları arasında kalan bölgede kaydedilen 9970 adet artçı şokun büyüklük değerleri Şekil 4.1'de görüldüğü gibi $1.1 \leq M \leq 5.9$ arasındadır.



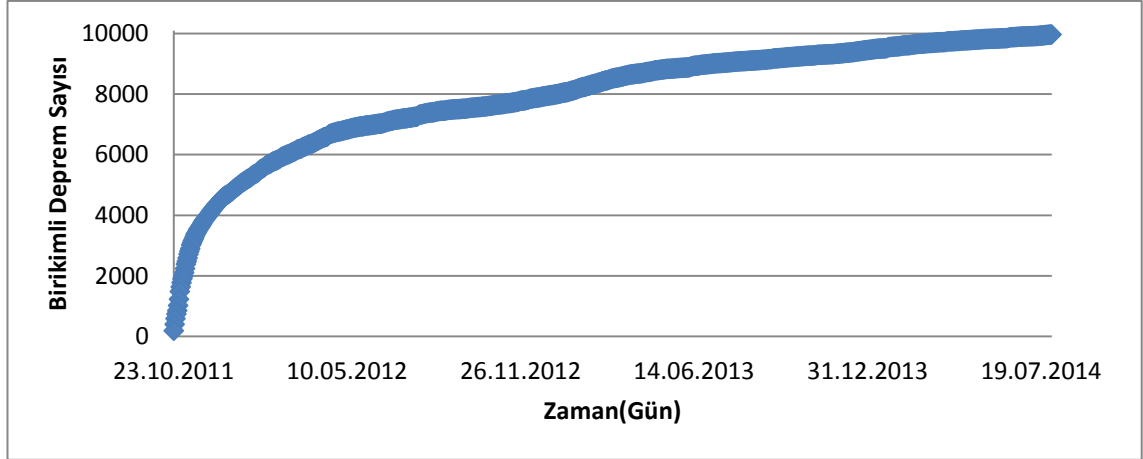
Şekil 4.2: 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı deprem etkinliği için zaman - magnitüd ilişkisi.

Ana şoktan sonraki 8 gün içerisinde meydana gelen $M \geq 4.0$ olan artçı şokların sayısı 103'tür. 46 aylık inceleme periyodunda $M \geq 4.0$ artçı deprem sayısı 217'dir. Şekil 4.3 incelendiğinde artçı şokların $2.0 \leq M \leq 3.0$ arasında yoğunlaştığı ve 2.6 magnitüdlü depremlerin maksimum sayıda olduğu görülmektedir.



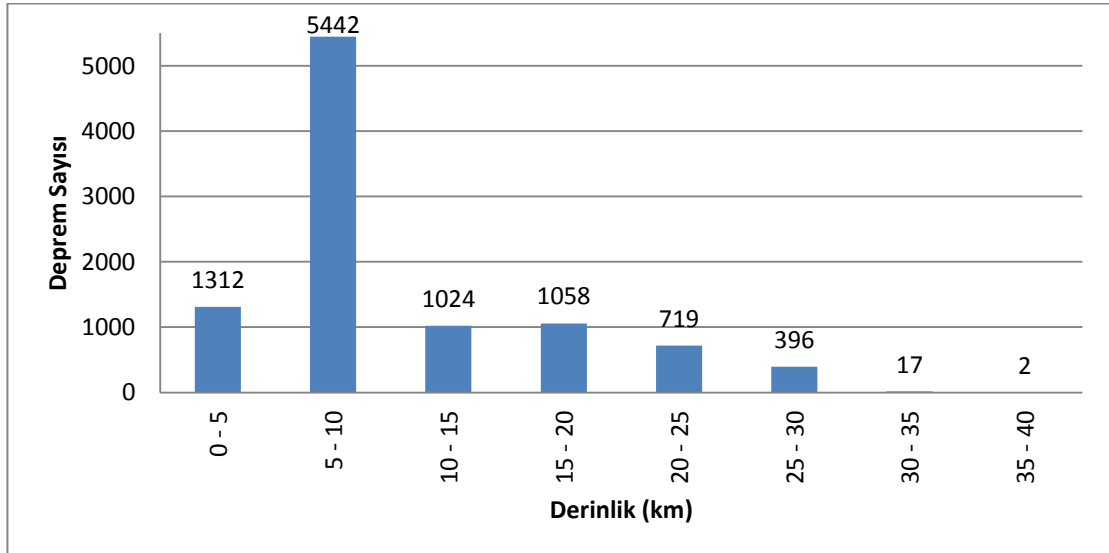
Şekil 4.3: 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı deprem sayısı - magnitüd ilişkisi.

Şekil 4.4’ te ise 46 aylık zaman diliminde artçı depremlerin birikimli sayılarının zamanla değişimi görülmektedir. Grafiğin eğimindeki azalma, artçı deprem sayısının zamanla azaldığını göstermektedir.



Şekil 4.4: 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı deprem etkinliği için birikimli deprem sayısının zamanla değişimi.

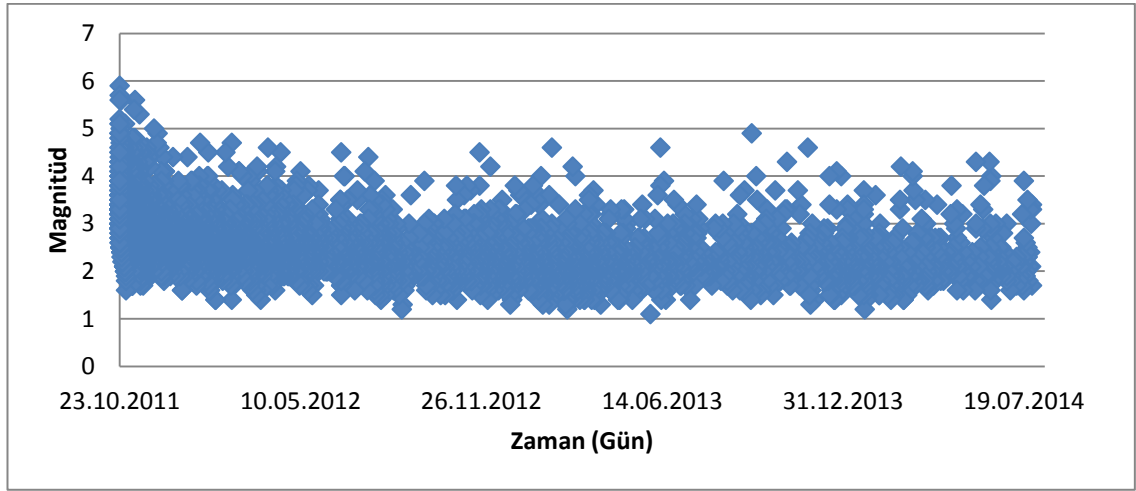
Şekil 4.5’te artçı depremlerin odak derinliği - deprem sayısı arasındaki ilişki görülmektedir. 5 - 10 km arasındaki derinlikte 5442 adet artçı deprem meydana gelmiştir.



Şekil 4.5: 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı şoklarının odak derinliği - deprem sayısı ilişkisi.

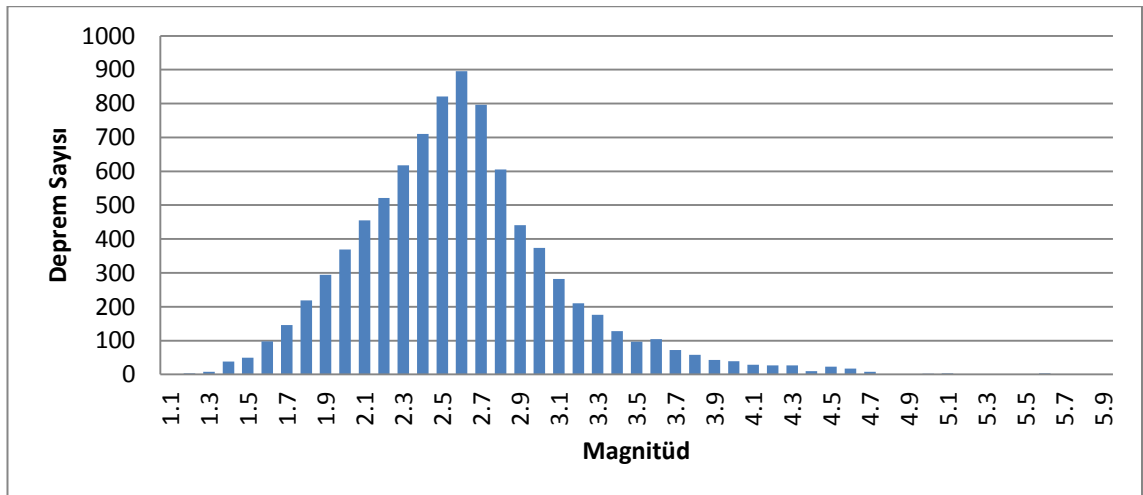
4.1.2. 38.40 - 39.00 KUZAY ENLEMLERİ İLE 43.00 - 43.80 DOĞU BOYLAMLARI ARASINDA KALAN BÖLGEDEKİ ARTÇI DEPREMLERİN İNCELENMESİ

23 Ekim 2011 Van Depremi'nden sonraki 46 aylık dönemde $38^{\circ}.40 - 39^{\circ}.00$ kuzey enlemleri ile $43^{\circ}.00 - 43^{\circ}.80$ doğu boylamları arasında kalan bölgede kaydedilen 8834 adet artçı şokun büyüklük değerleri Şekil 4.6'da görüldüğü gibi $1.1 \leq M \leq 5.9$ arasındadır.



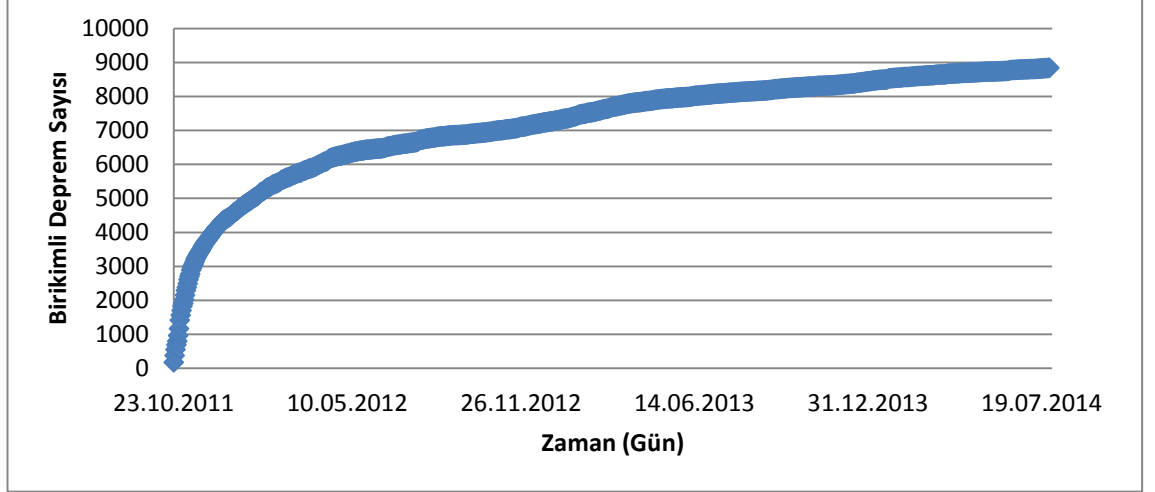
Şekil 4.6: 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı deprem etkinliği için zaman - magnitüd ilişkisi.

Şekil 4.7 incelendiğinde artçı şokların $2.0 \leq M \leq 3.0$ arasında yoğunlaştığı ve 2.6 magnitüdlü depremlerin maksimum sayıda olduğu görülmektedir.



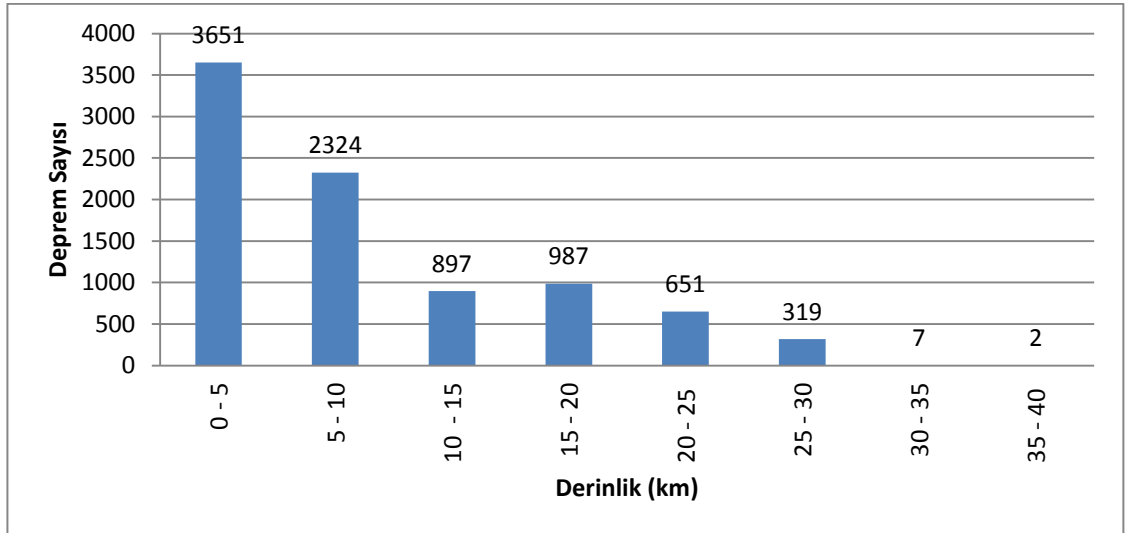
Şekil 4.7: 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı deprem sayısı - magnitüd ilişkisi.

Şekil 4.8’ de 46 aylık zaman diliminde artçı depremlerin birikimli sayılarının zamanla değişimi görülmektedir. Grafiğin eğimindeki azalma, artçı deprem sayısının zamanla azaldığını göstermektedir.



Şekil 4.8: 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı deprem etkinliği için birikimli deprem sayısının zamanla değişimi.

Şekil 4.9’da artçı depremlerin odak derinliği - deprem sayısı arasındaki ilişki görülmektedir. 0 - 5 km arasındaki derinlikte 3651 adet artçı deprem meydana gelmiştir.

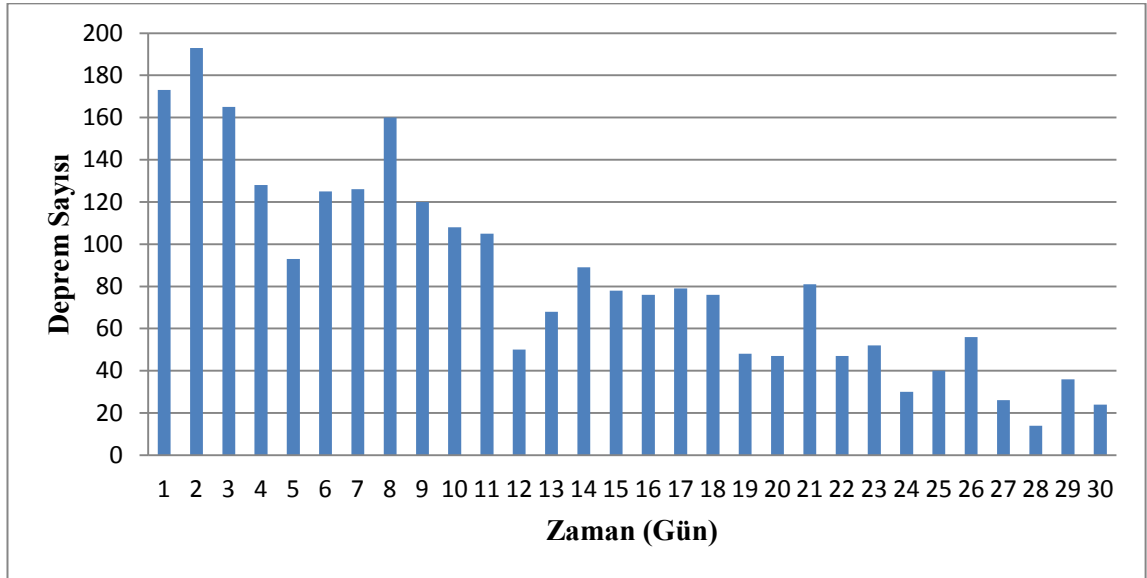


Şekil 4.9: 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı şoklarının odak derinliği - deprem sayısı ilişkisi.

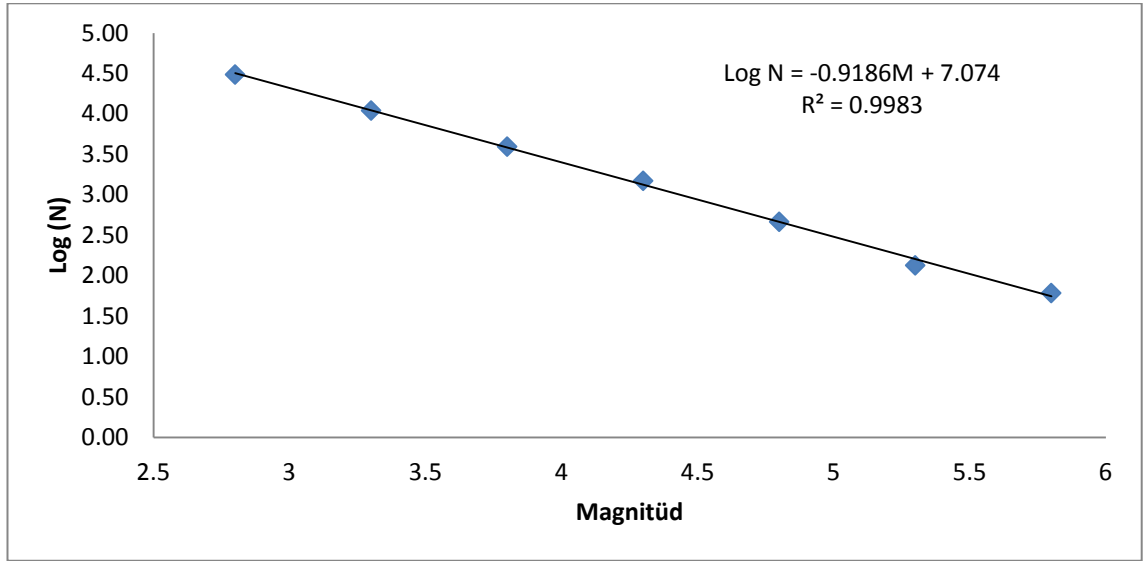
4.2. 23 EKİM 2011 VAN DEPREMİ (MW = 7.2) ARTÇI ŞOKLARINA AİT b ve p PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

23 Ekim 2011 Van Depremi'ne ait 38°.40 - 39°.00 kuzey enlemleri ile 43°.00 - 43°.80 doğu boylamları arasındaki bölgede meydana gelen artçı deprem dizisi, ana şoktan sonraki 30, 50, 100, 200, 450, 750 ve 1010 günlük zaman aralıklarıyla $M_c = 2.6$ kesme değeri uygulanarak incelenmiş ve b ile p parametrelerinin değişimleri değerlendirilmiştir.

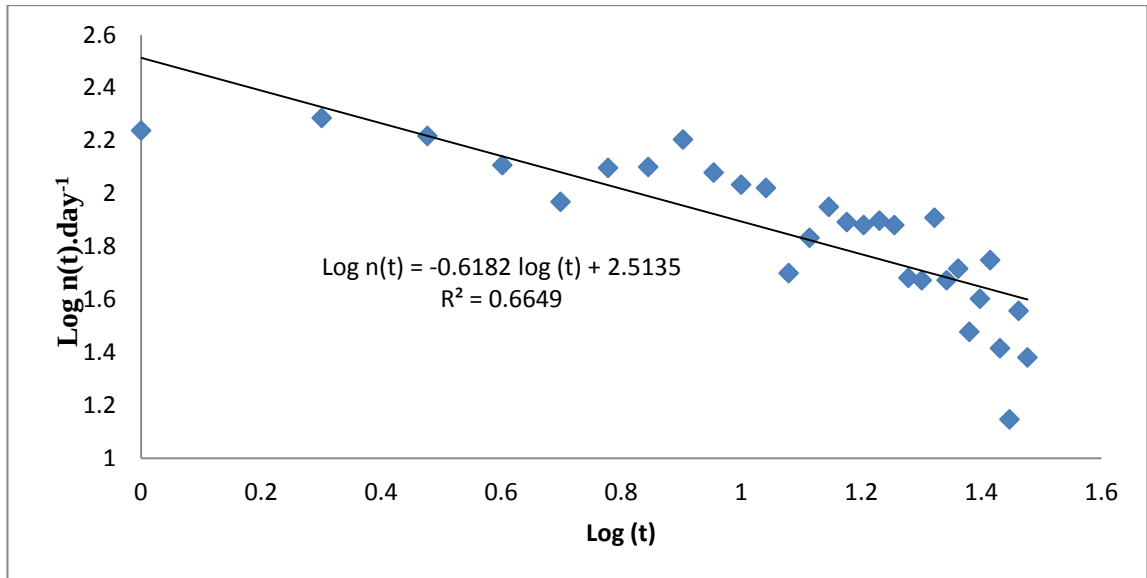
Ana şoktan sonraki 30 gün içerisinde büyüklüğü $2.6 \leq M \leq 5.9$ arasında değişen 2513 adet artçı deprem meydana gelmiştir. Şekil 4.10' da deprem sayısının zamana göre değişimi, Şekil 4.11'de deprem oluş sayısı - magnitüd ilişkisi, Şekil 4.12, 4.13 ve 4.14'te ise artçı deprem etkinliğinin zamanla azalım oranını ifade eden, $\log n(t).day^{-1} - \log(t)$, birikimli deprem sayısı - zaman (gün) ilişkileri ve ZMAP programı ile hesaplanmış p parametresi gösterilmiştir.



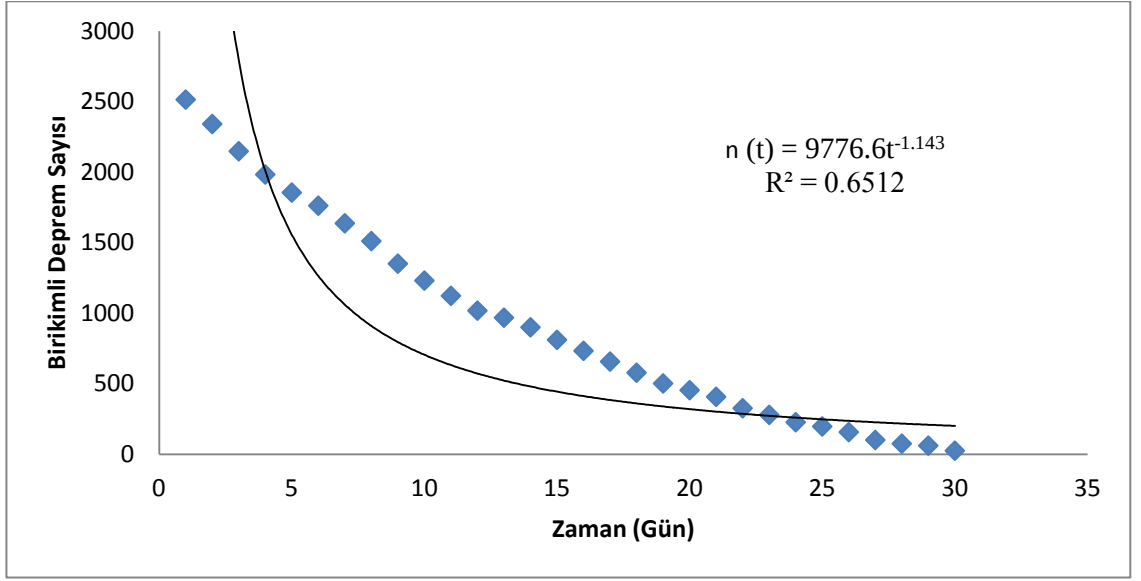
Şekil 4.10: 23.10.2011 - 21.11.2011 tarihleri arasında deprem sayısının zamana göre değişimi.



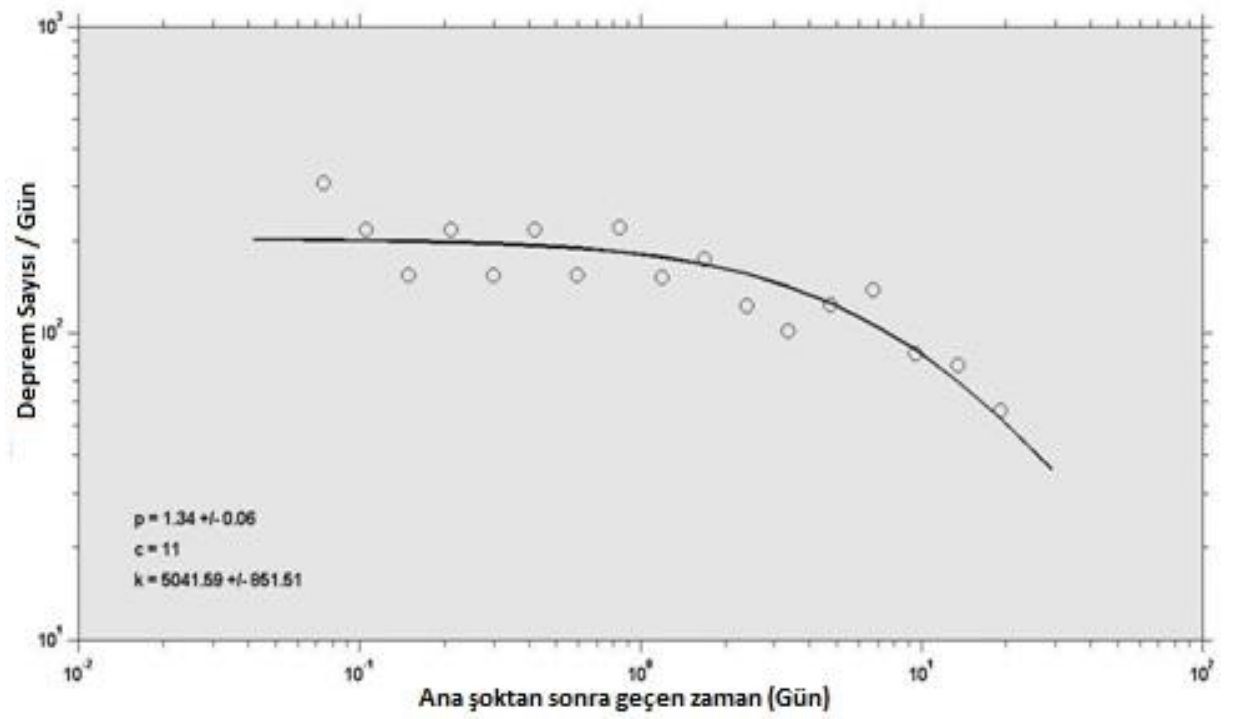
Şekil 4.11: 23.10.2011 - 21.11.2011 arası deprem oluş sayısı - magnitüd ilişkisi.



Şekil 4.12: 23 Ekim 2011 - 21.11.2011 tarihleri arasında artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.

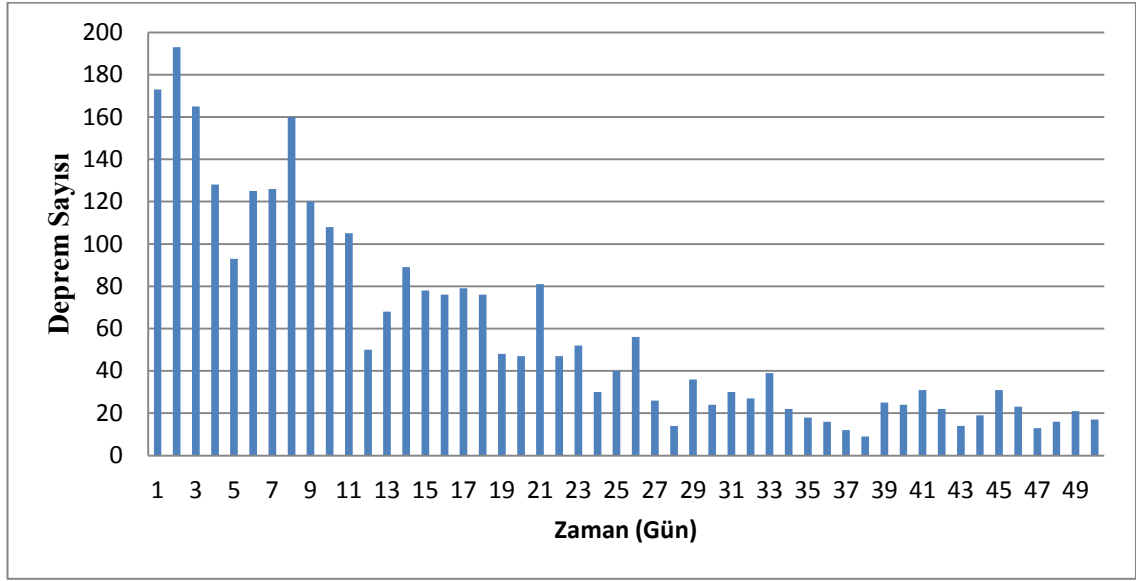


Şekil 4.13: 23 Ekim 2011 - 21.11.2011 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.

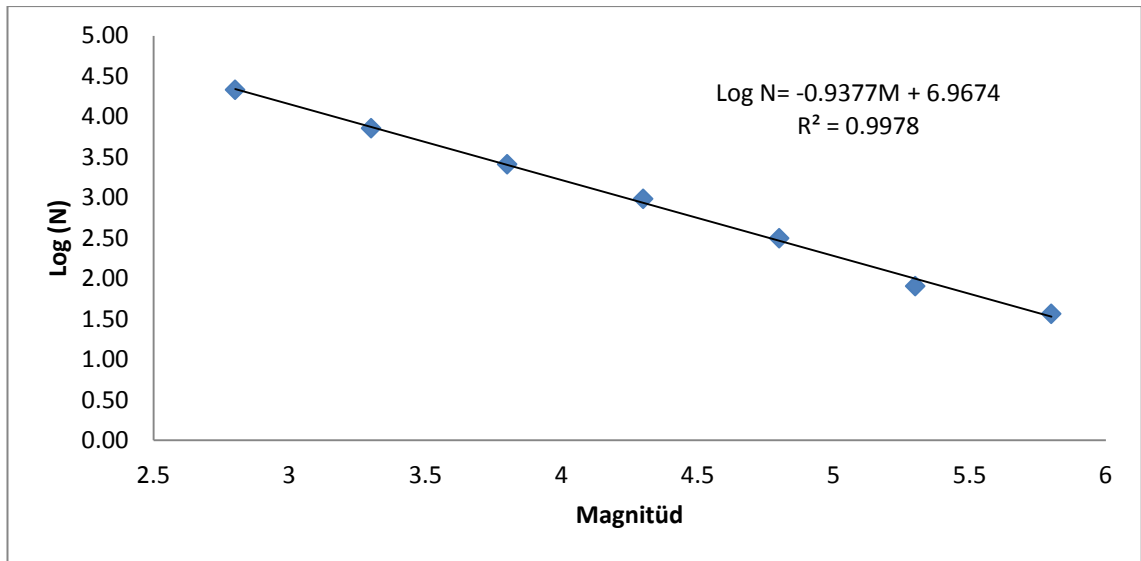


Şekil 4.14: 23 Ekim 2011 - 21.11.2011 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.

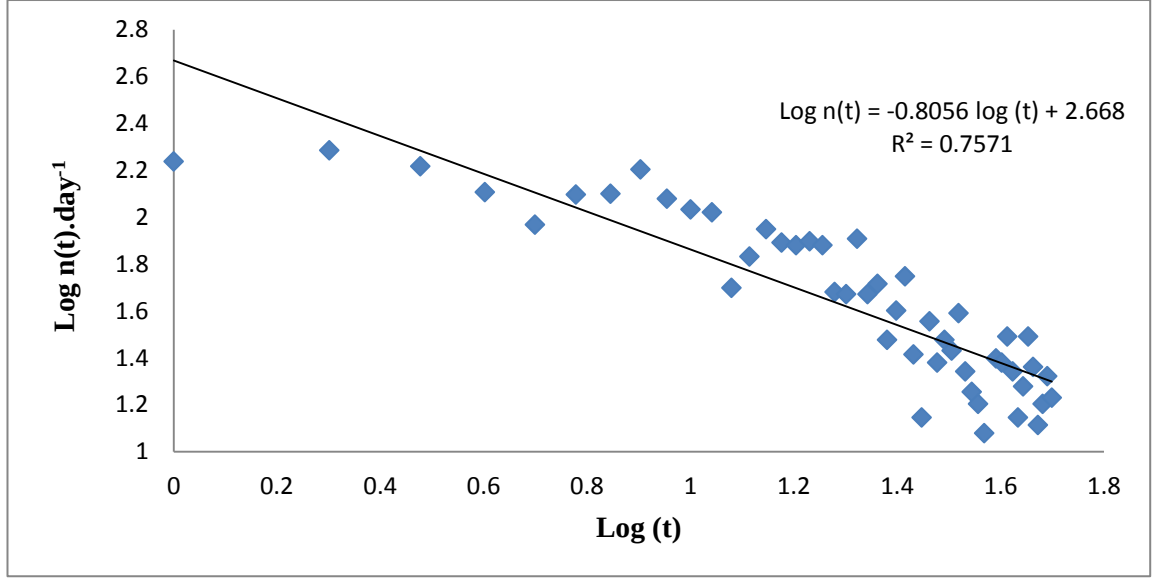
Ana şoktan sonraki 50 gün içerisinde büyüklüğü $2.6 \leq M \leq 5.9$ arasında değişen 2942 adet artçı deprem meydana gelmiştir. Şekil 4.15'te deprem sayısının zamana göre değişimi, Şekil 4.16'da deprem oluş sayısı - magnitüd ilişkisi, Şekil 4.17, 4.18 ve 4.19'da ise artçı deprem etkinliğinin zamanla azalış oranını ifade eden, $\log n(t) \cdot \text{day}^{-1} - \log(t)$, birikimli deprem sayısı - zaman (gün) ilişkileri ve ZMAP programı ile hesaplanmış p parametresi gösterilmiştir.



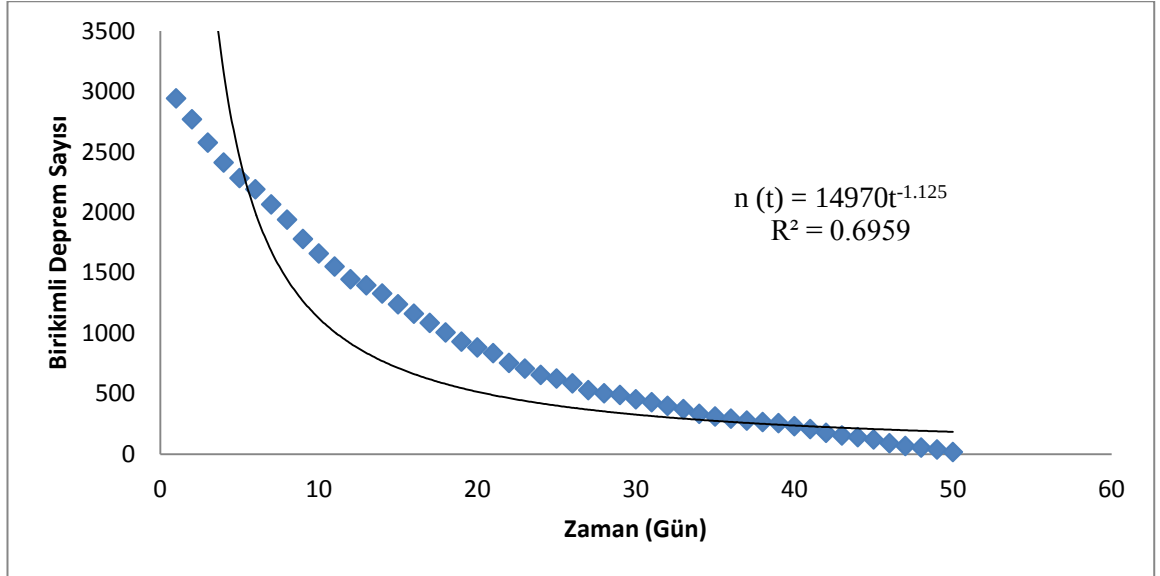
Şekil 4.15: 23.10.2011 - 11.12.2011 tarihleri arasında deprem sayısının zamana göre değişimi.



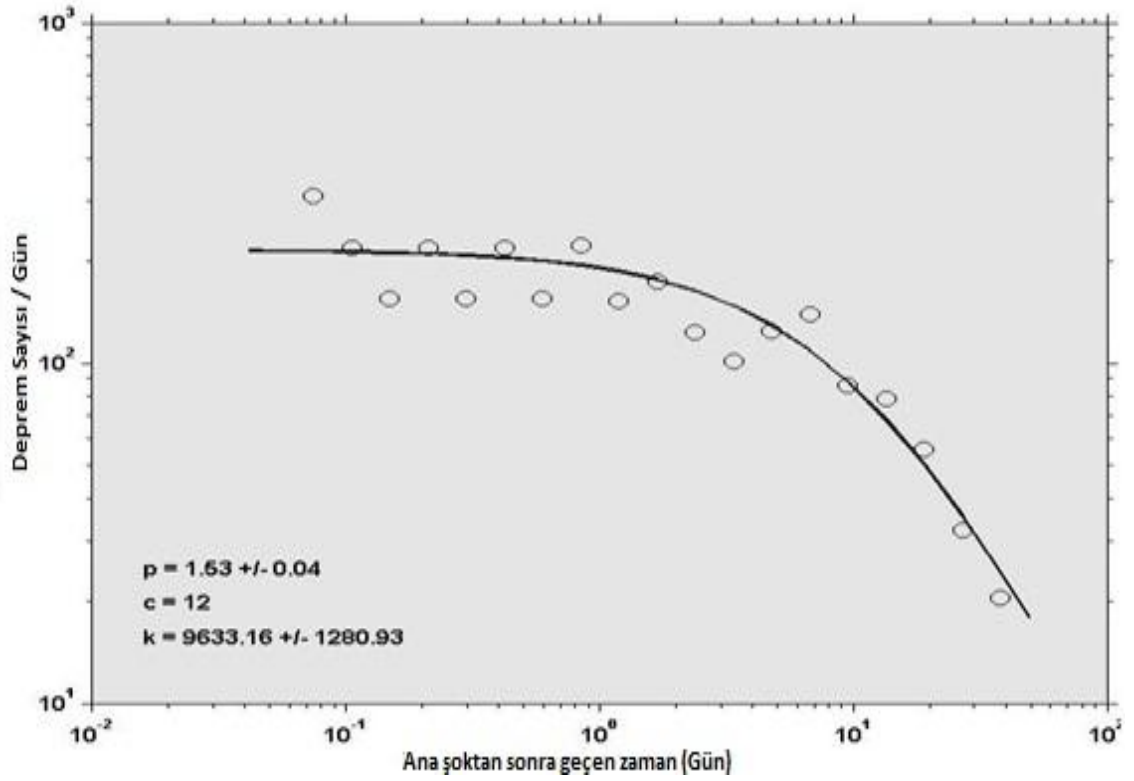
Şekil 4.16: 23.10.2011 - 11.12.2011 arası deprem oluş sayısı - magnitüd ilişkisi.



Şekil 4.17: 23 Ekim 2011 - 11.12.2011 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.

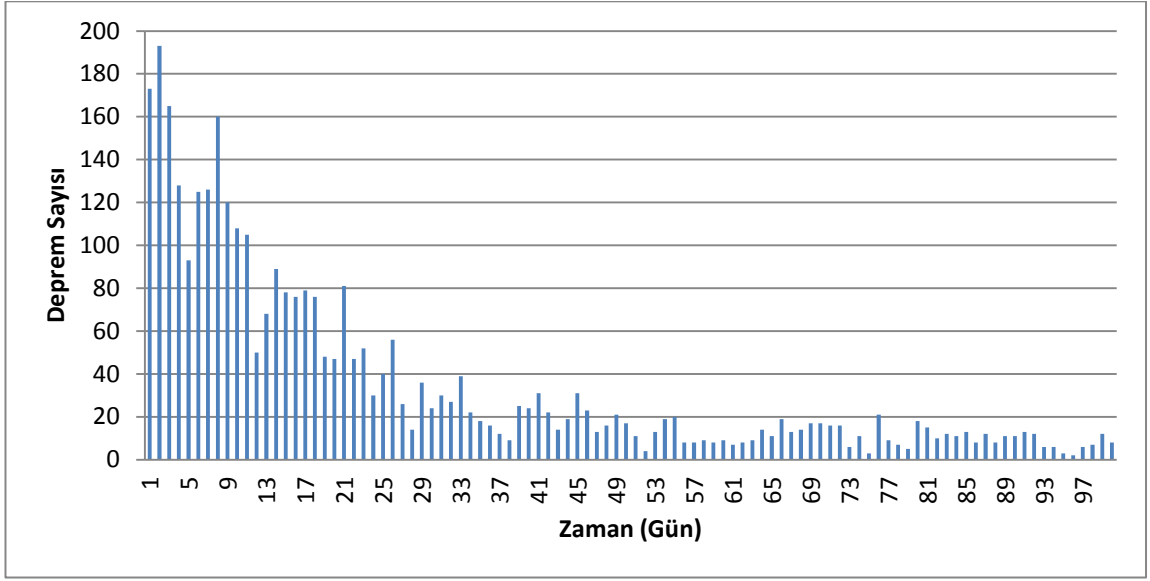


Şekil 4.18: 23 Ekim 2011 - 11.12.2011 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.

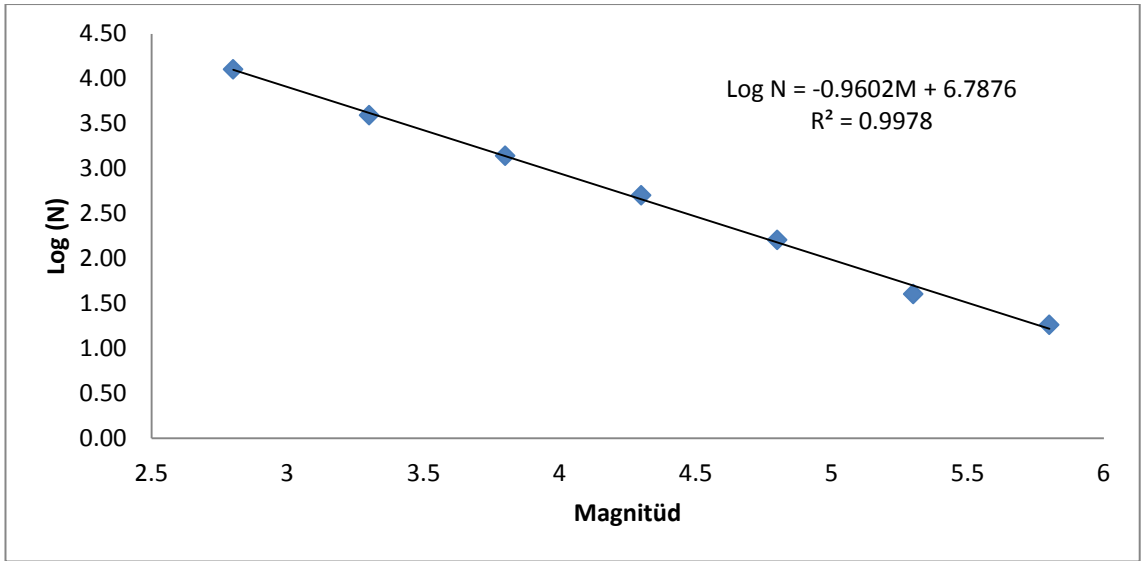


Şekil 4.19: 23 Ekim 2011 - 11.12.2011 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.

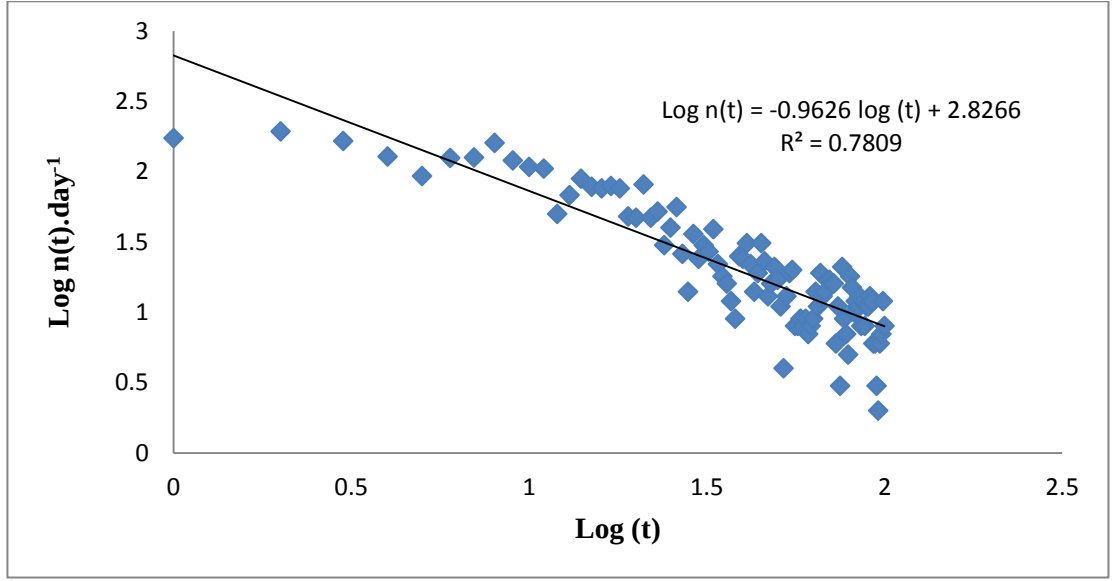
Ana şoktan sonraki 100 gün içerisinde büyüklüğü $2.6 \leq M \leq 5.9$ arasında değişen 3478 adet artçı deprem meydana gelmiştir. Şekil 4.20’de deprem sayısının zamana göre değişimi, Şekil 4.21’de deprem oluş sayısı - magnitüd ilişkisi, Şekil 4.22, 4.23 ve 4.24’te ise artçı deprem etkinliğinin zamanla azalım oranını ifade eden, $\log n(t) \cdot \text{day}^{-1} - \log(t)$, birikimli deprem sayısı - zaman (gün) ilişkileri ve ZMAP programı ile hesaplanmış p parametresi gösterilmiştir.



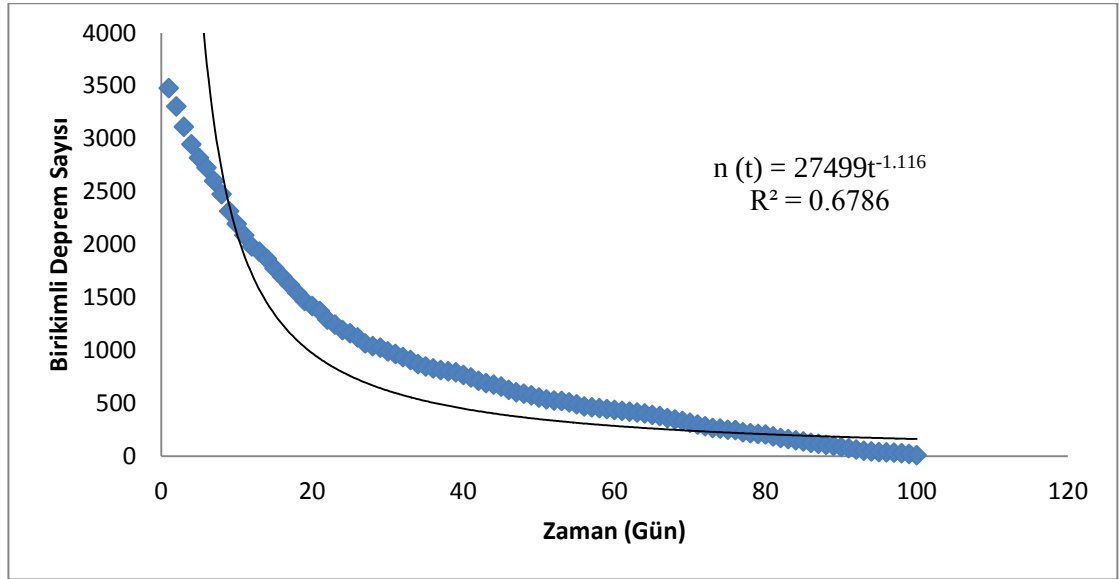
Şekil 4.20: 23.10.2011 - 30.01.2012 tarihleri arasında deprem sayısının zamana göre değişimi.



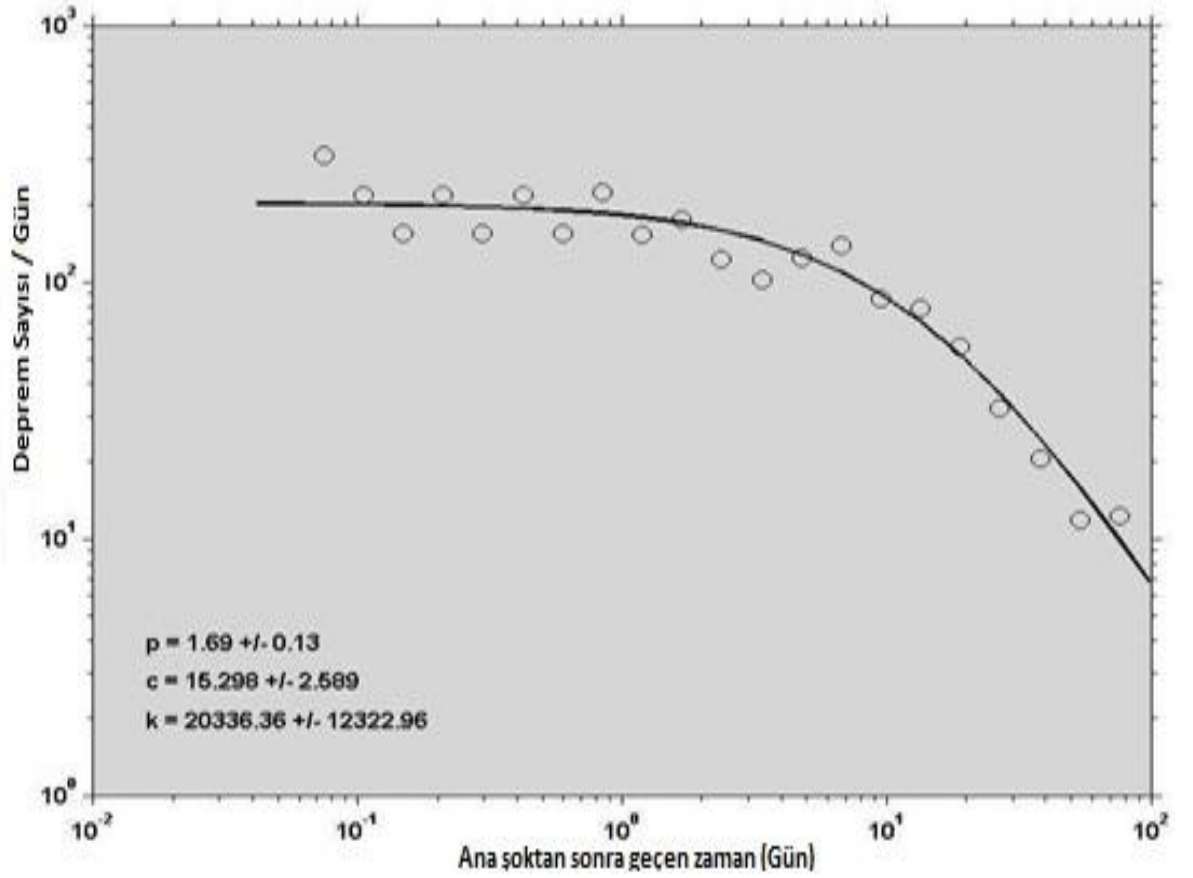
Şekil 4.21: 23.10.2011 - 30.01.2012 arası deprem oluş sayısı - magnitüd ilişkisi.



Şekil 4.22: 23 Ekim 2011 - 30.01.2012 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.

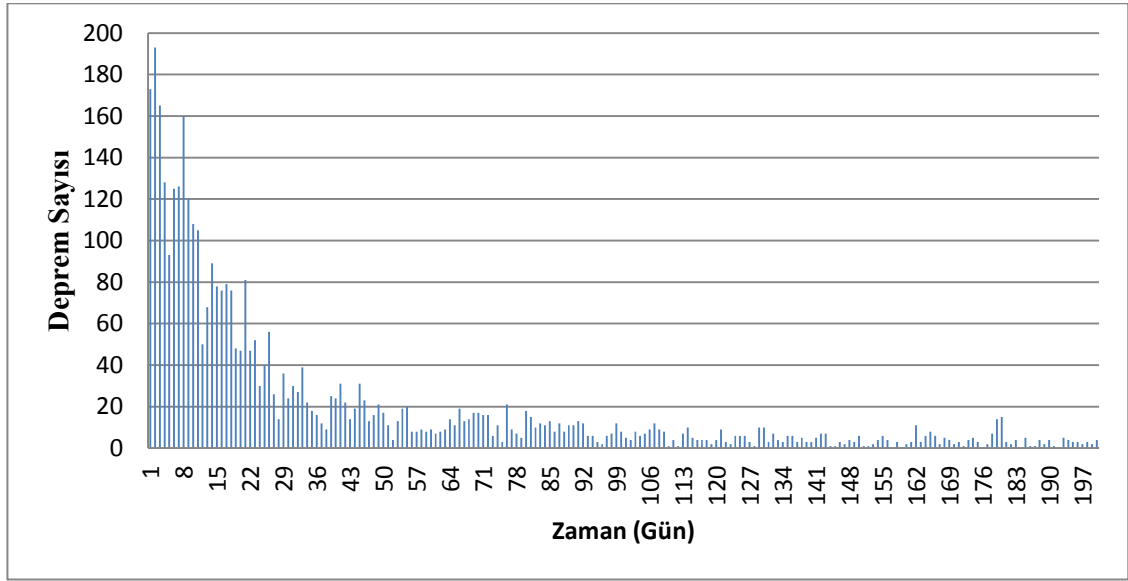


Şekil 4.23: 23 Ekim 2011 - 30.01.2012 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.

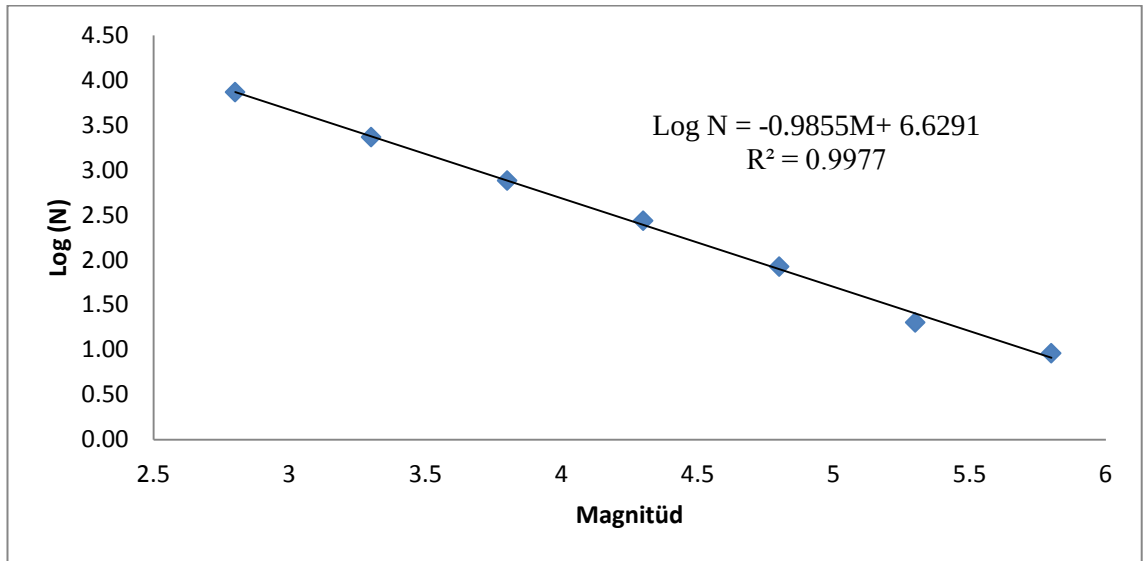


Şekil 4.24: 23 Ekim 2011 - 30.01.2012 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.

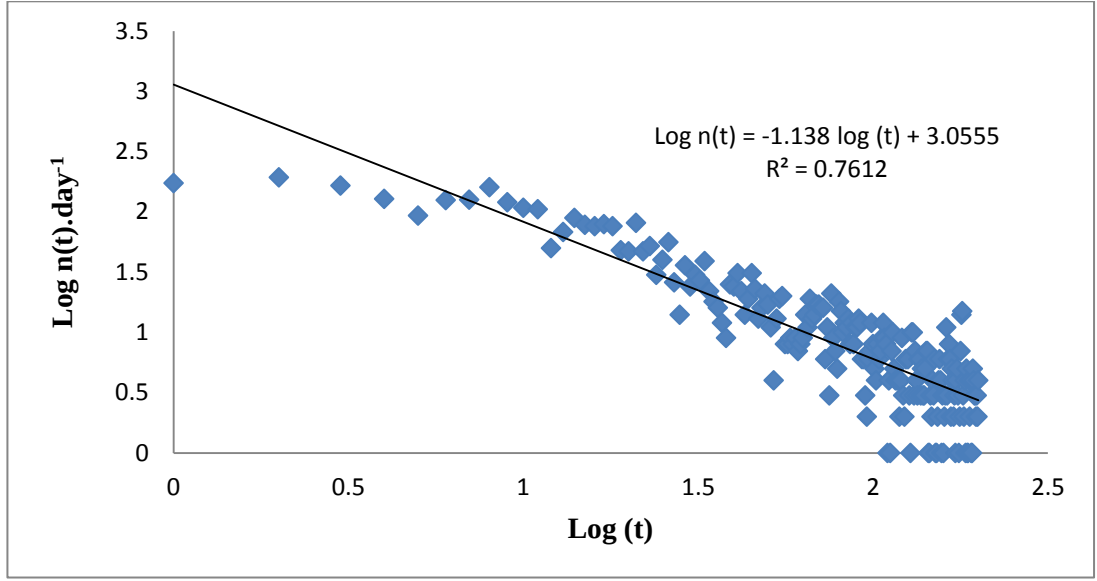
Ana şoktan sonraki 200 gün içerisinde büyüklüğü $2.6 \leq M \leq 5.9$ arasında değişen 3910 adet artçı deprem meydana gelmiştir. Şekil 4.25'te deprem sayısının zamana göre değişimi, Şekil 4.26'da deprem oluş sayısı - magnitüd ilişkisi, Şekil 4.27, 4.28 ve 4.29'da ise artçı deprem etkinliğinin zamanla azalım oranını ifade eden, $\log n(t) \cdot \text{day}^{-1} - \log(t)$, birikimli deprem sayısı - zaman (gün) ilişkileri ve ZMAP programı ile hesaplanmış p parametresi gösterilmiştir.



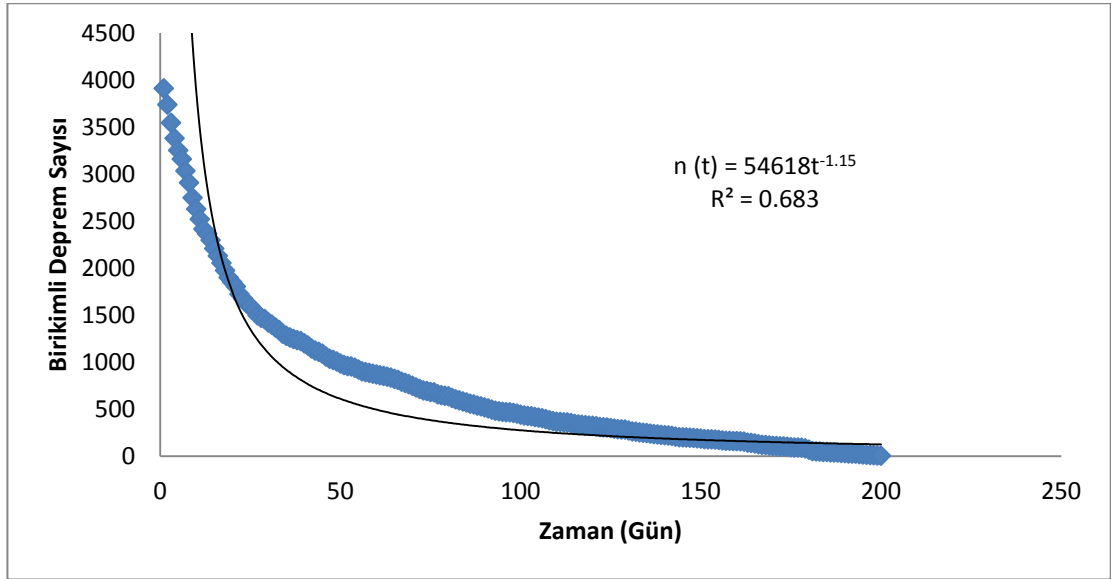
Şekil 4.25: 23.10.2011 - 09.05.2012 tarihleri arasında deprem sayısının zamana göre değişimi.



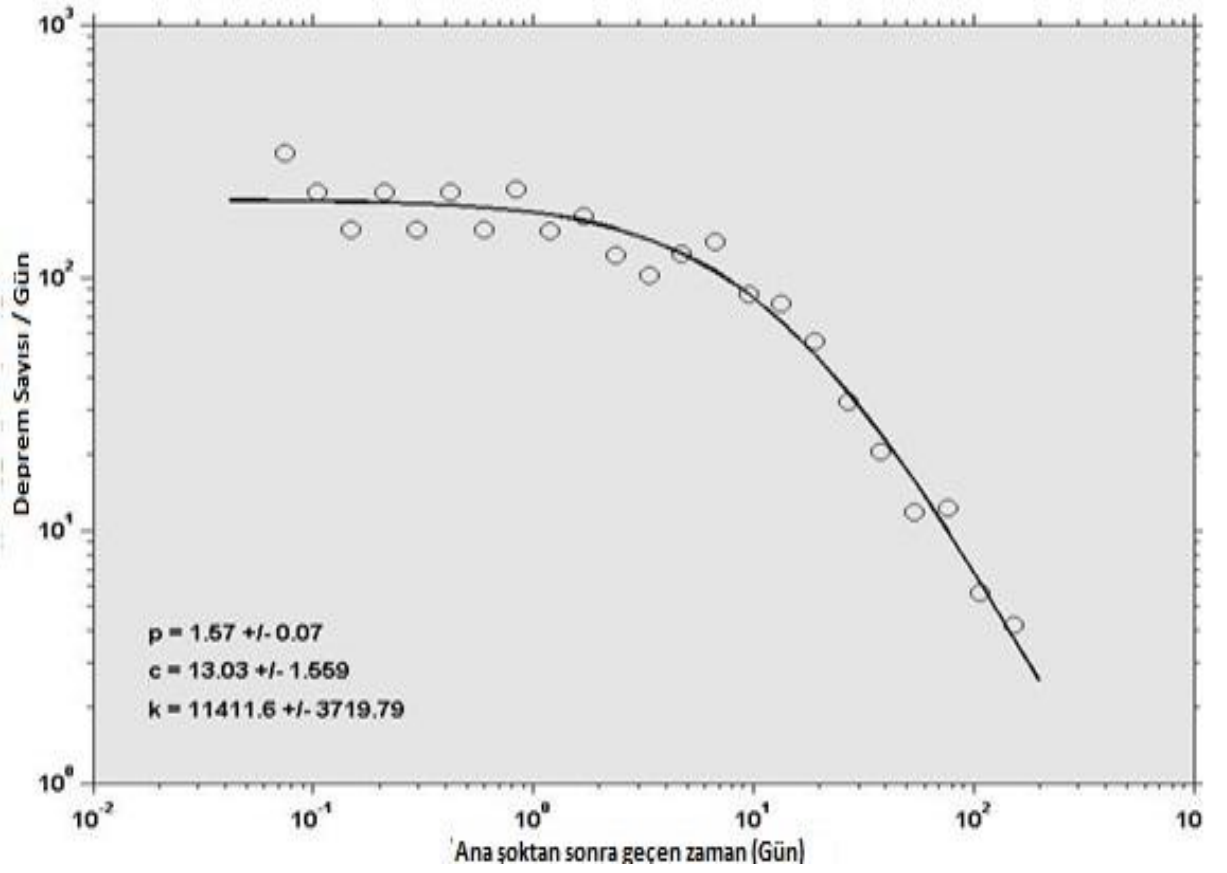
Şekil 4.26: 23.10.2011 - 09.05.2012 arası deprem oluş sayısı - magnitüd ilişkisi.



Şekil 4.27: 23 Ekim 2011 - 09.05.2012 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.

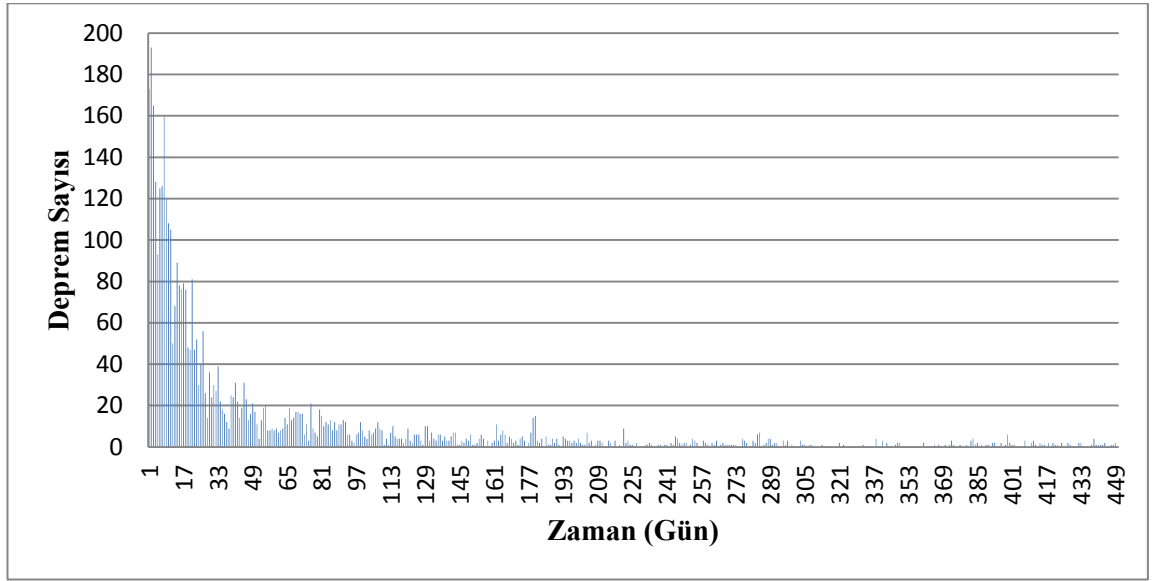


Şekil 4.28: 23 Ekim 2011 - 09.05.2012 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.

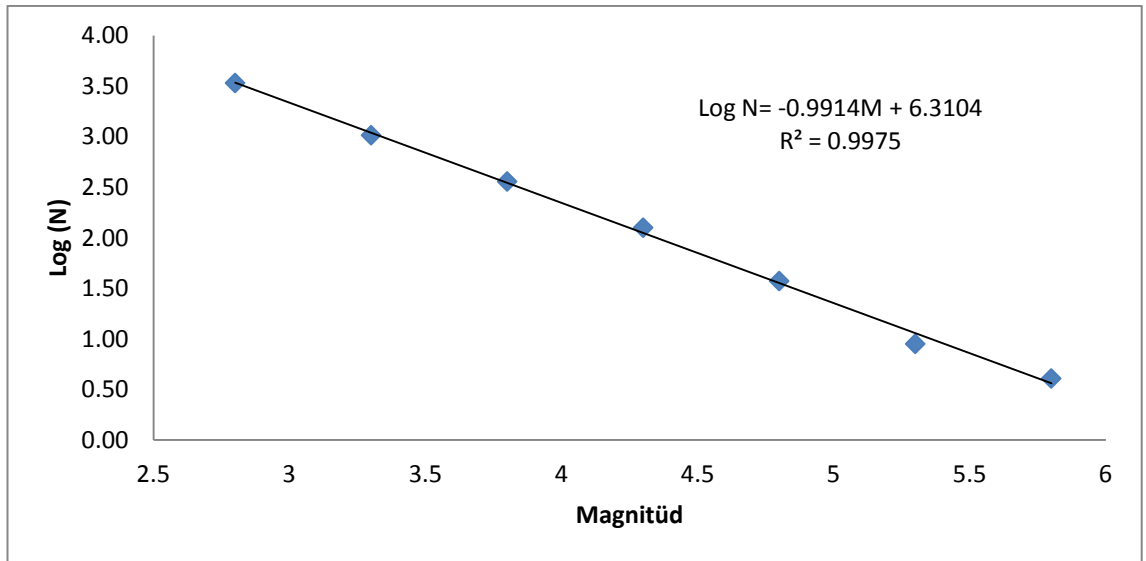


Şekil 4.29: 23 Ekim 2011 - 09.05.2012 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.

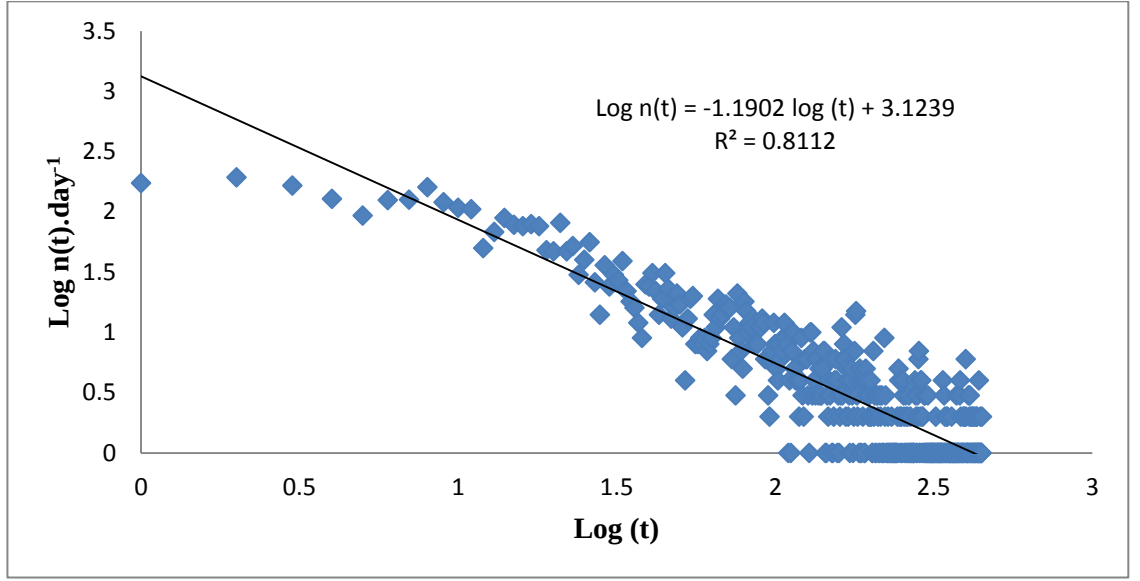
Ana şoktan sonraki 450 gün içerisinde büyüklüğü $2.6 \leq M \leq 5.9$ arasında değişen 4183 adet artçı deprem meydana gelmiştir. Şekil 4.30'da deprem sayısının zamana göre değişimi, Şekil 4.31'de deprem oluş sayısı - magnitüd ilişkisi, Şekil 4.32, 4.33 ve 4.34'te ise artçı deprem etkinliğinin zamanla azalım oranını ifade eden, $\log n(t) \cdot \text{day}^{-1} - \log(t)$, birikimli deprem sayısı - zaman (gün) ilişkileri ve ZMAP programı ile hesaplanmış p parametresi gösterilmiştir.



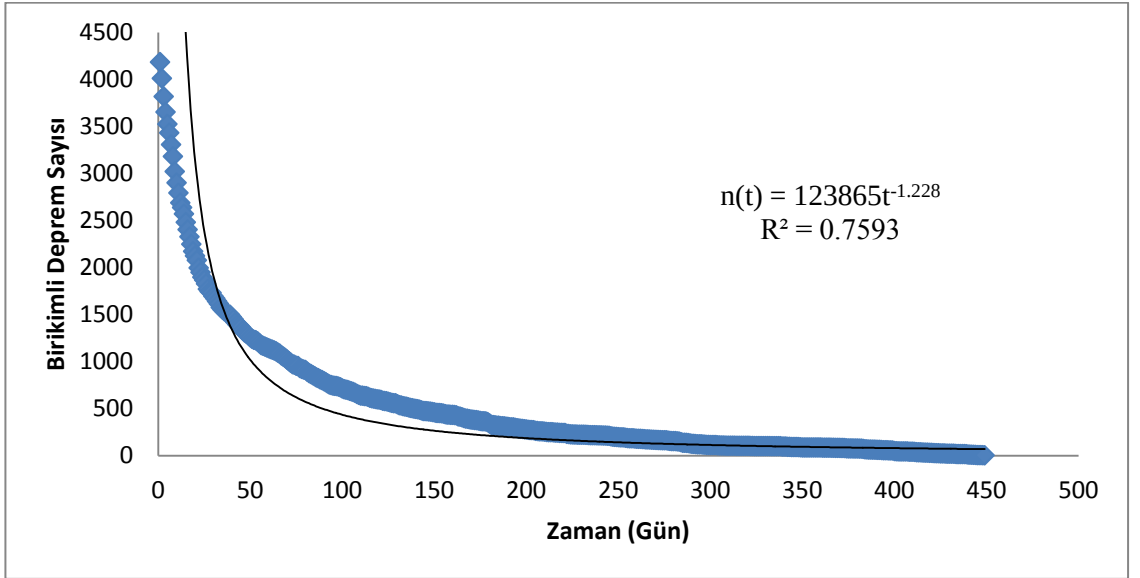
Şekil 4.30: 23.10.2011 - 14.01.2013 tarihleri arasında deprem sayısının zamana göre değişimi.



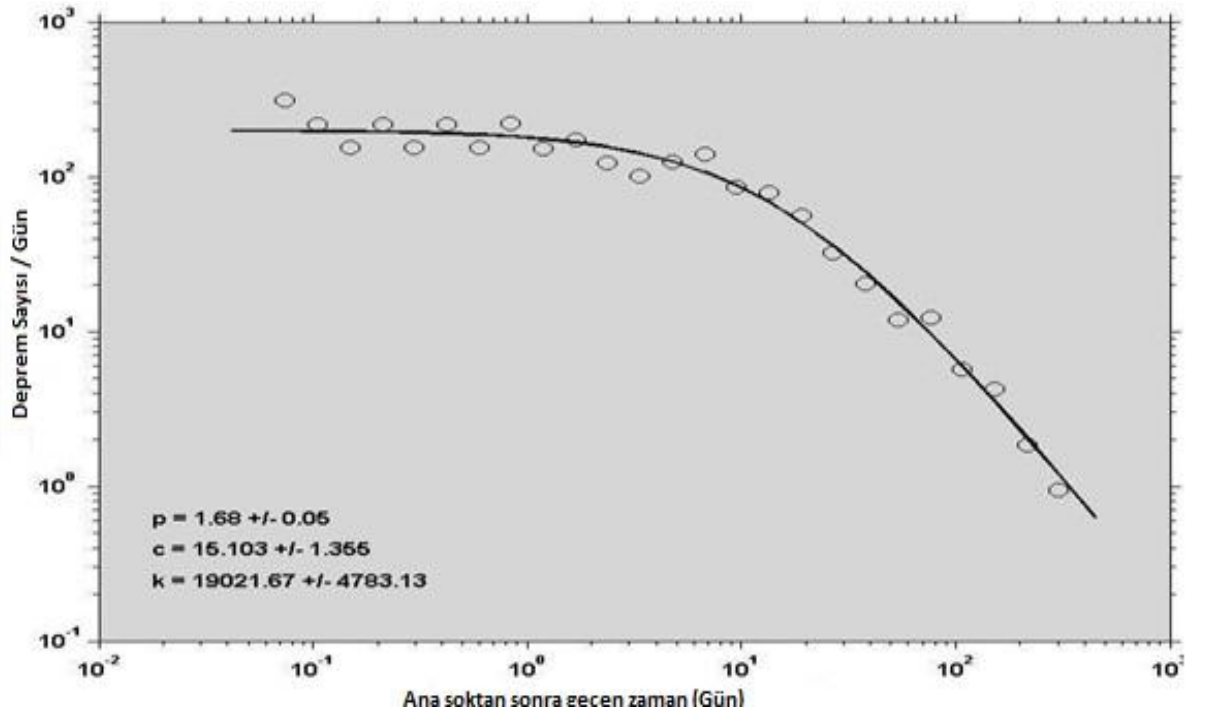
Şekil 4.31: 23.10.2011 - 14.01.2013 arası deprem oluş sayısı - magnitüd ilişkisi.



Şekil 4.32: 23 Ekim 2011 - 14.01.2013 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.

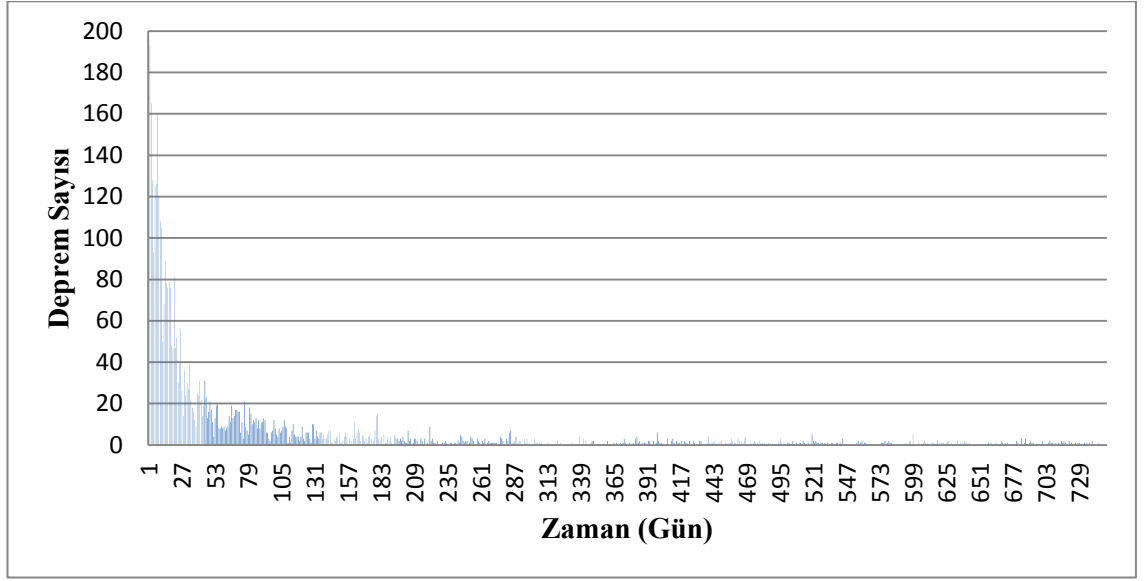


Şekil 4.33: 23 Ekim 2011 - 14.01.2013 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.

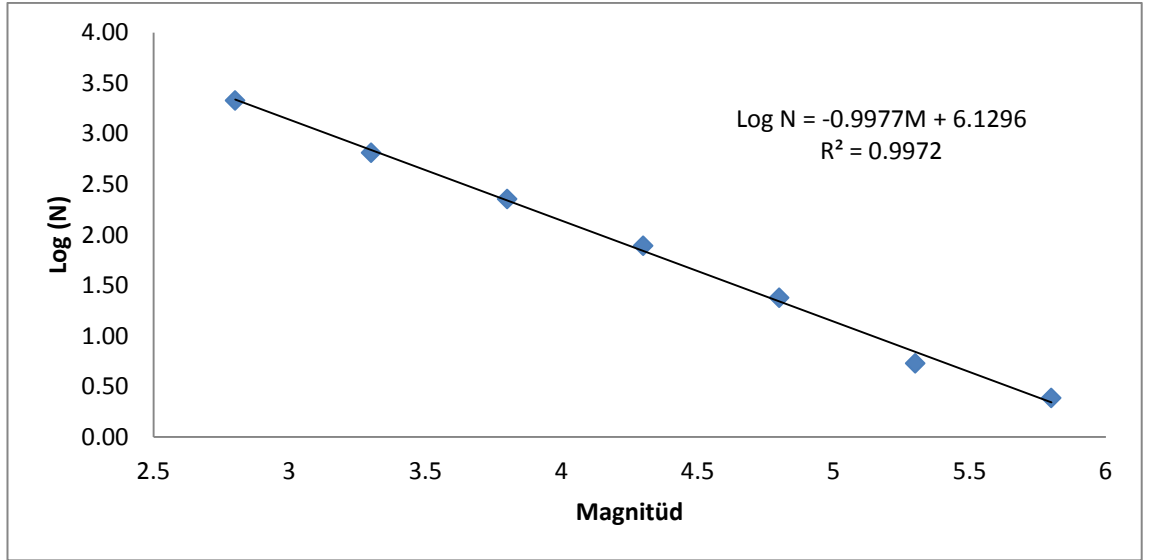


Şekil 4.34: 23 Ekim 2011 - 14.01.2013 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.

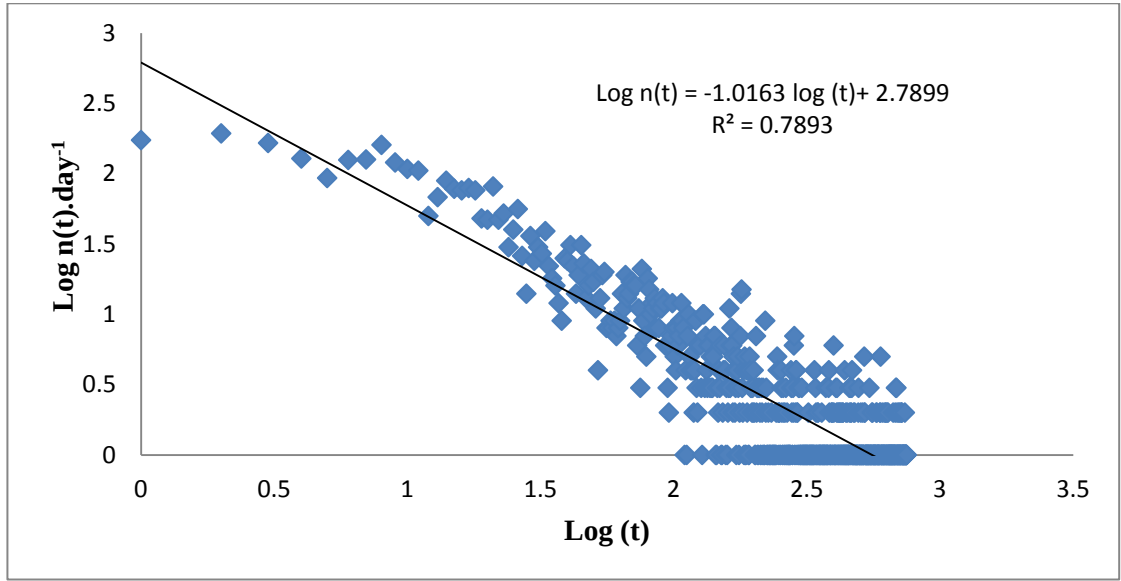
Ana şoktan sonraki 750 gün içerisinde büyüklüğü $2.6 \leq M \leq 5.9$ arasında değişen 4374 adet artçı deprem meydana gelmiştir. Şekil 4.35'te deprem sayısının zamana göre değişimi, Şekil 4.36'da deprem oluş sayısı - magnitüd ilişkisi, Şekil 4.37, 4.38 ve 4.39'da ise artçı deprem etkinliğinin zamanla azalım oranını ifade eden, $\log n(t) \cdot \text{day}^{-1} - \log(t)$, birikimli deprem sayısı - zaman (gün) ilişkileri ve ZMAP programı ile hesaplanmış p parametresi gösterilmiştir.



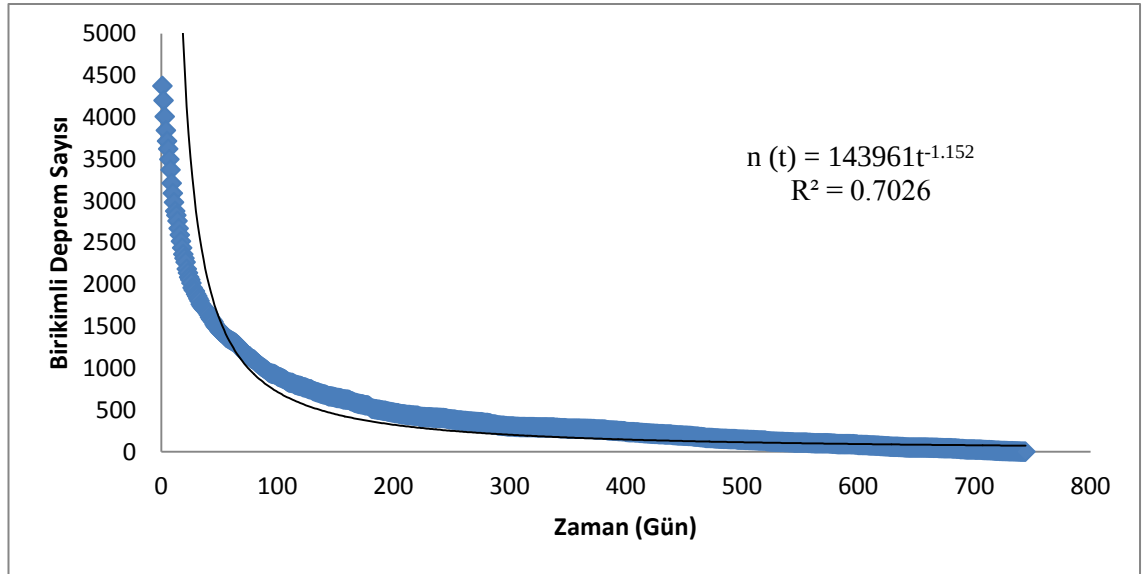
Şekil 4.35: 23.10.2011 - 10.11.2013 tarihleri arasında deprem sayısının zamana göre değişimi.



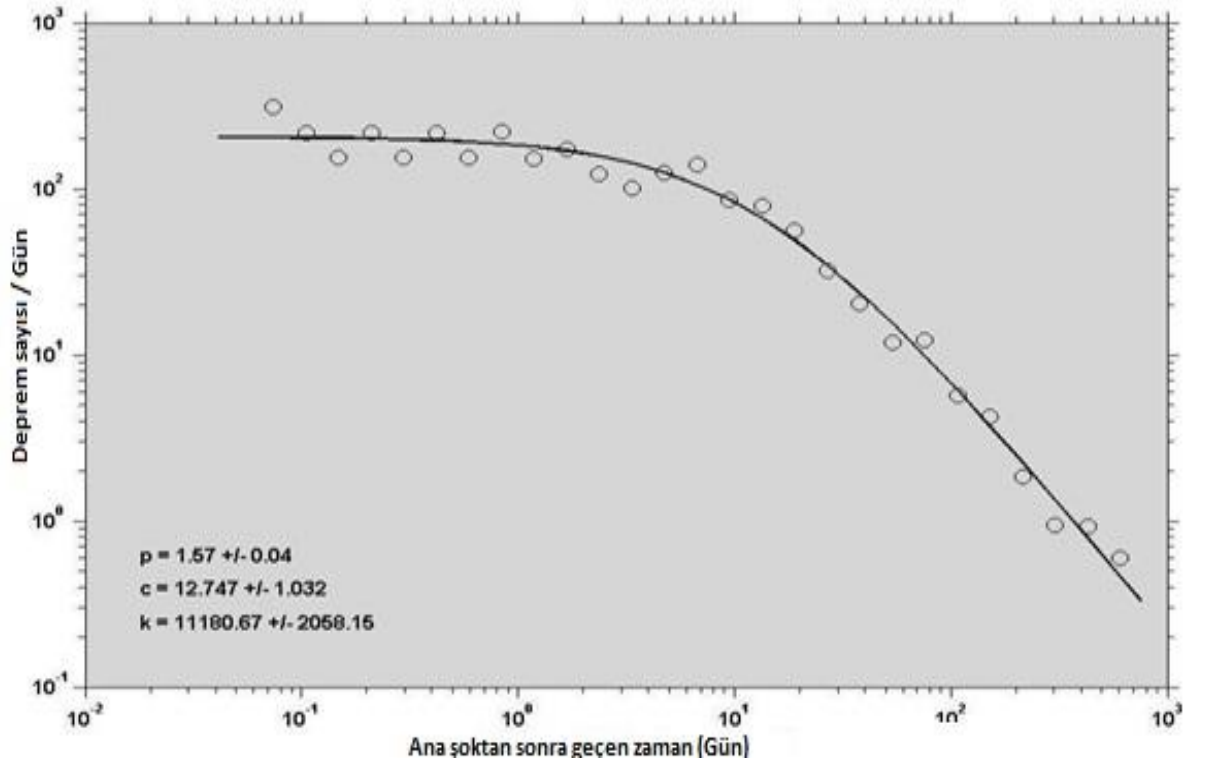
Şekil 4.36: 23.10.2011 - 10.11.2013 arası deprem oluş sayısı - magnitüd ilişkisi.



Şekil 4.37: 23 Ekim 2011 - 10.11.2013 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.

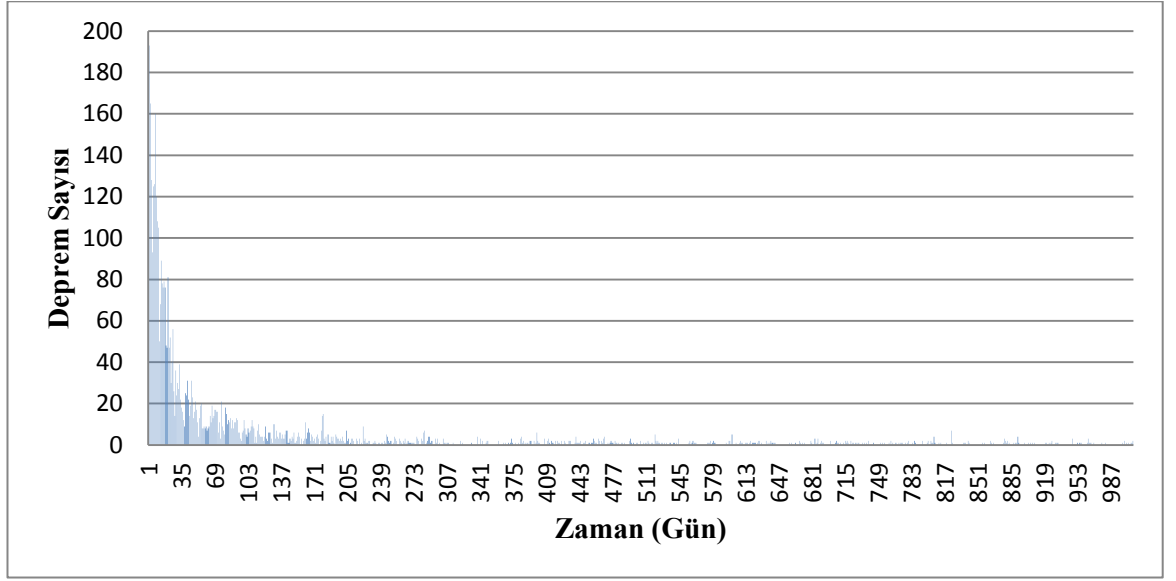


Şekil 4.38: 23 Ekim 2011 - 10.11.2013 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.

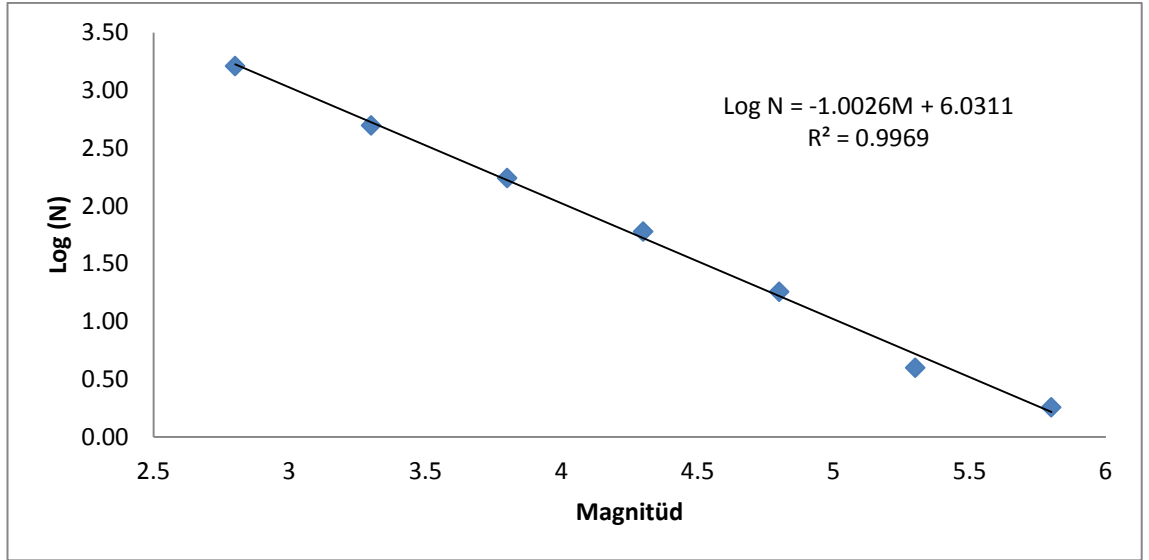


Şekil 4.39: 23 Ekim 2011 - 10.11.2013 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.

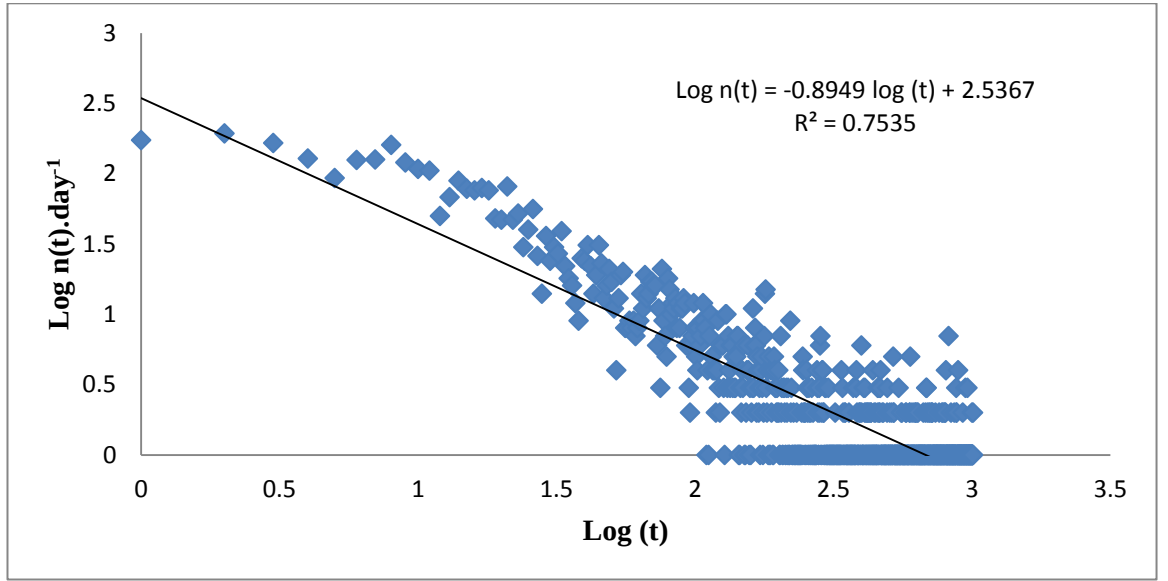
Ana şoktan sonraki 1010 gün içerisinde büyüklüğü $2.6 \leq M \leq 5.9$ arasında değişen 4487 adet artçı deprem meydana gelmiştir. Şekil 4.40'ta deprem sayısının zamana göre değişimi, Şekil 4.41'de deprem oluş sayısı - magnitüd ilişkisi, Şekil 4.42, 4.43 ve 4.44'te ise artçı deprem etkinliğinin zamanla azalım oranını ifade eden, $\log n(t) \cdot \text{day}^{-1} - \log(t)$, birikimli deprem sayısı - zaman (gün) ilişkileri ve ZMAP programı ile hesaplanmış p parametresi gösterilmiştir.



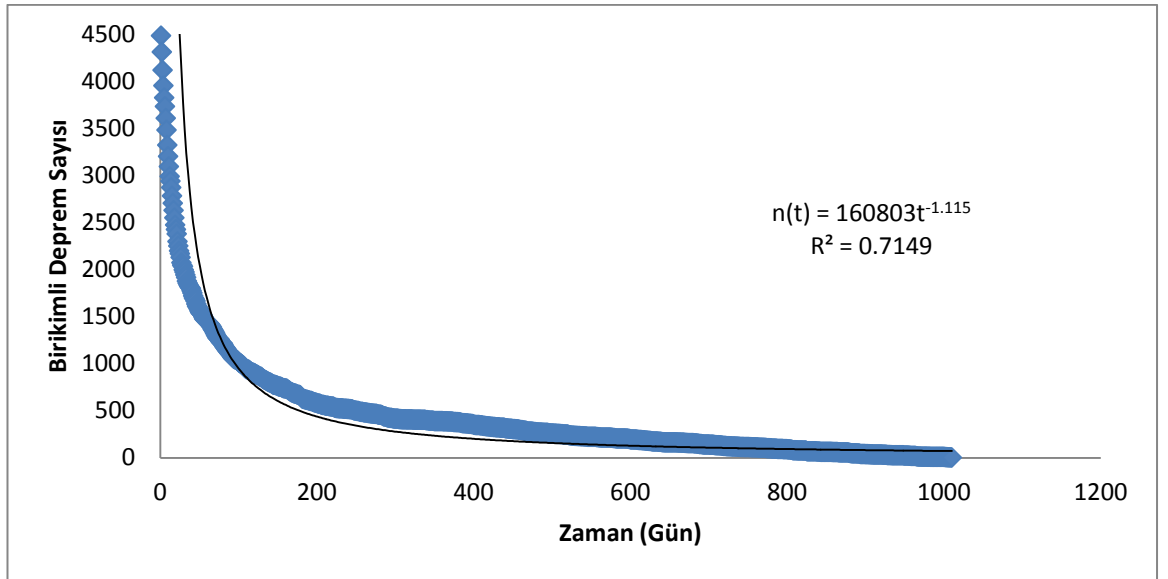
Şekil 4.40: 23.10.2011 - 28.07.2014 tarihleri arasında deprem sayısının zamana göre değişimi.



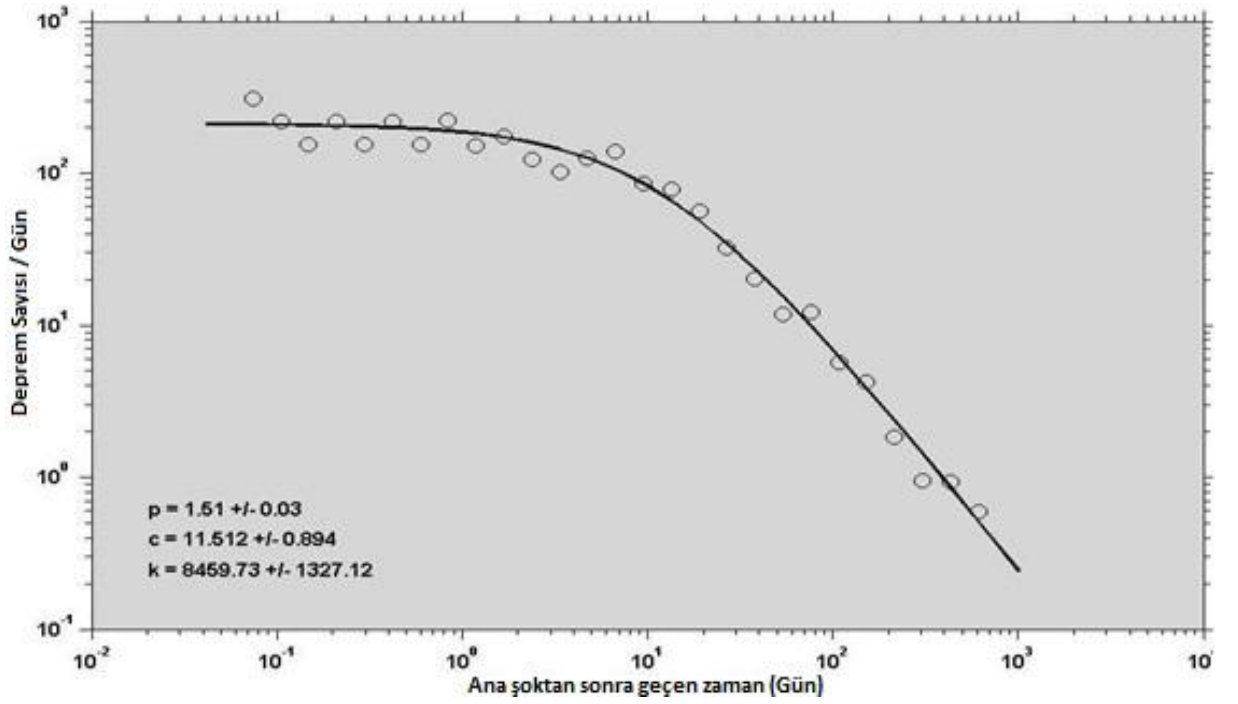
Şekil 4.41: 23.10.2011 - 28.07.2014 arası deprem oluş sayısı - magnitüd ilişkisi.



Şekil 4.42: 23 Ekim 2011 - 28.07.2014 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.



Şekil 4.43: 23 Ekim 2011 - 28.07.2014 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.

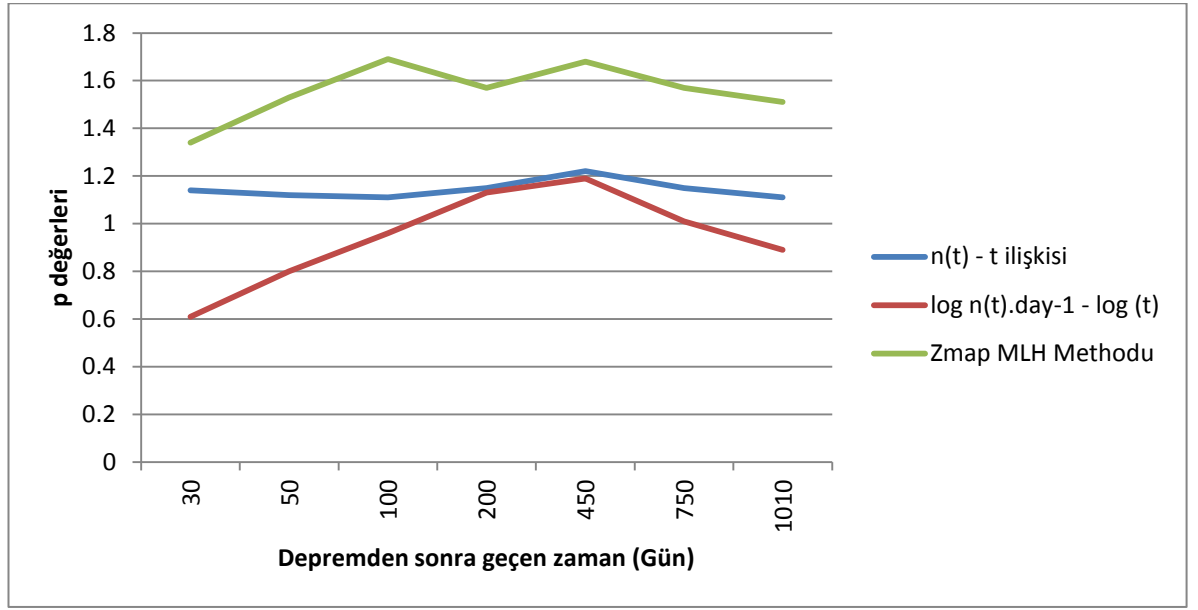


Şekil 4.44: 23 Ekim 2011 - 28.07.2014 tarihleri arası artçı deprem etkinliğinin zamanla azalımı.

Tablo 4.1’de 23 Ekim 2011 Van Depremi’nden sonraki 30, 50, 100, 200, 450, 750 ve 1010 gün için hesaplanan b ve p değerleri görülmektedir. Şekil 4.45’te ise farklı yöntemlerle hesaplanan p değerlerinin değişim grafiği yer almaktadır.

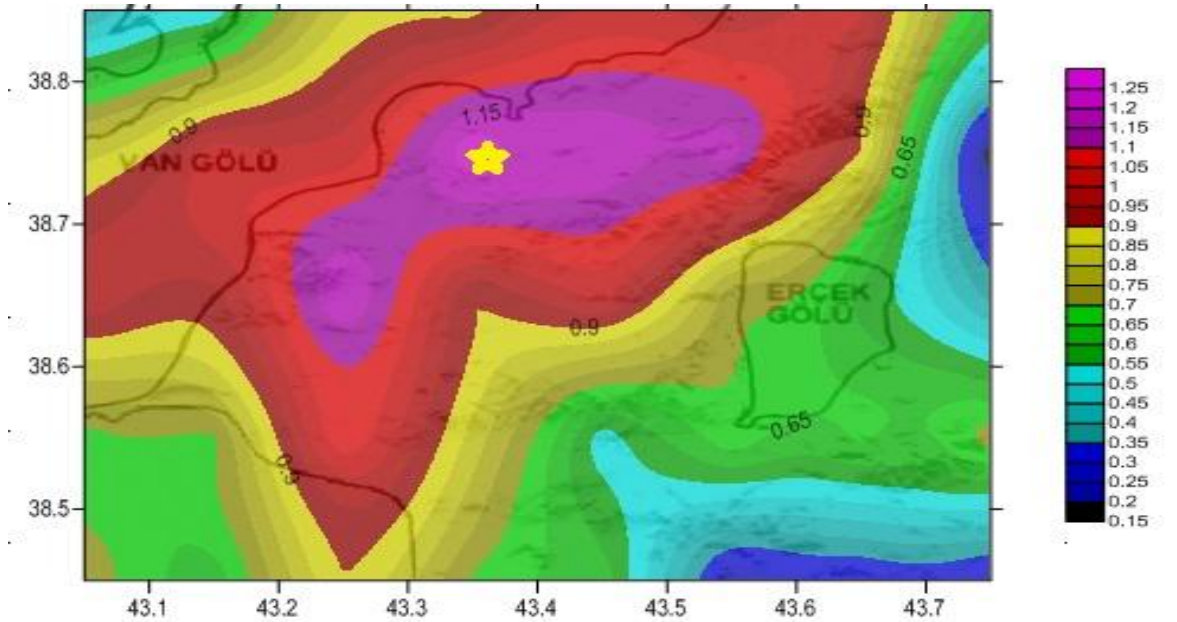
Tablo 4.1: 23 Ekim 2011 Van Depremi’nden sonraki 30, 50, 100, 200, 450, 750 ve 1010 gün için hesaplanan b ve p değerleri.

<u>Zaman (Gün)</u>	<u>b değeri</u>	<u>$\log n(t).day^{-1} - \log (t)$</u>	<u>$n(t) - t$</u>	<u>ZMAP</u>
30	0.9186	0.61	1.14	1.34
50	0.9377	0.80	1.12	1.53
100	0.9602	0.96	1.11	1.69
200	0.9855	1.13	1.15	1.57
450	0.9914	1.19	1.22	1.68
750	0.9977	1.01	1.15	1.57
1010	1.0026	0.89	1.11	1.51



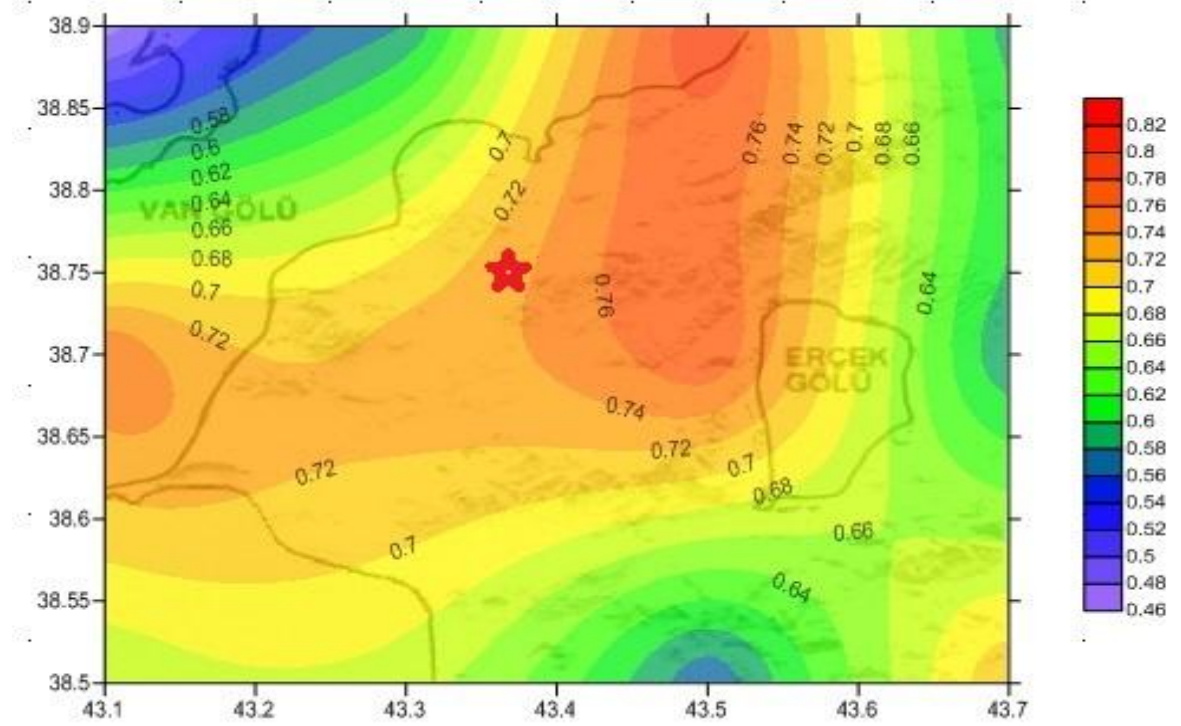
Şekil 4.45: Farklı yöntemlerle hesaplanan p değeri değişim grafiği.

Artçı depremlerin eliptik kümelenme gösterdiği 38.40 - 39.00 K enlemleri ile 43.00 - 43.80 D boylamları arasında kalan bölge 0.10 derece aralıklarla gridlenip kümülatif deprem sayısı - zaman (gün) ilişkisi ile p değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4.46'da Surfer 10 programı ile çizilen p değeri dağılım haritası görülmektedir. Ana şok yıldız sembolü ile gösterilmiştir



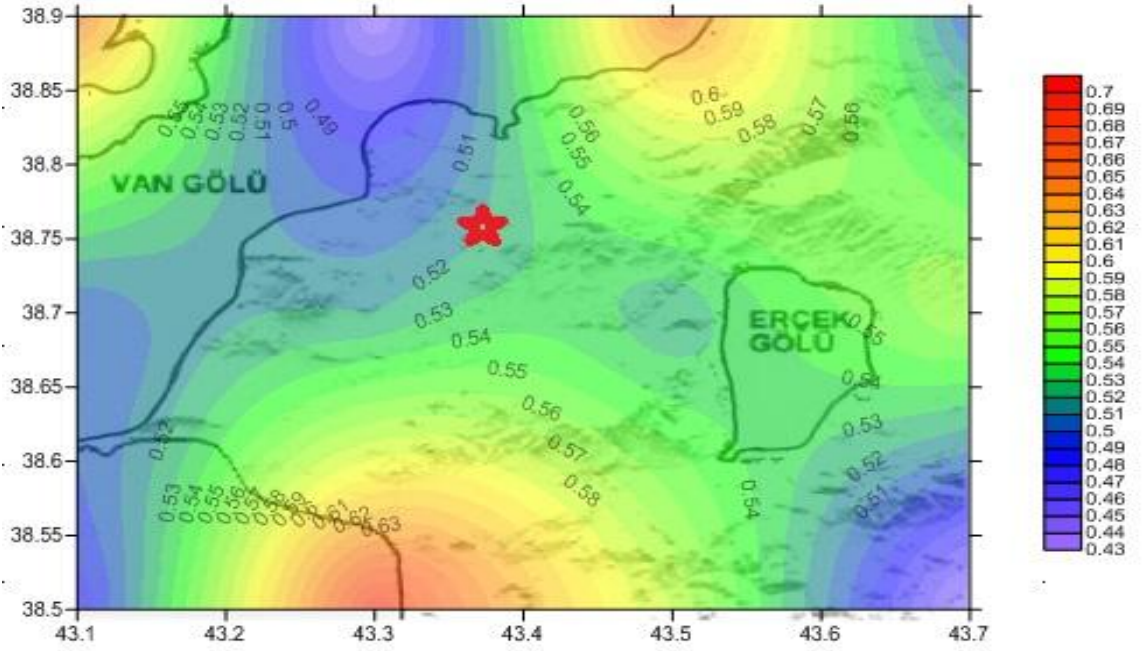
Şekil 4.46: 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı şoklarının 1010 gün içerisindeki azalım oranını gösteren p değeri dağılım haritası.

38.50- 38.90 K enlemleri ile 43.10 - 43.70 D boylamları arasında kalan bölge 0.10 derece aralıklarla gridlenip Gutenberg - Richter bağıntısı ile b değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4.47'de Surfer 10 programı ile çizilen b değeri dağılım haritası görülmektedir. Ana şok yıldız sembolü ile gösterilmiştir.



Şekil 4.47: 23 Ekim 2011 Van Depremi artçı şoklarına ait, 1010 günlük süre için hesaplanan b değerlerinin dağılım haritası.

38.50- 38.90 K enlemleri ile 43.10 - 43.70 D boylamları arasında kalan bölgede 0.10 derece gridleme yapılarak, 01.01.1900 - 22.10.2011 tarihleri arasında meydana gelen deprem verileri ile Gutenberg - Richter bağıntısından yararlanarak b değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4.48'de Surfer 10 programı ile çizilen b değeri dağılım haritası görülmektedir. Ana şok yıldız sembolü ile gösterilmiştir.



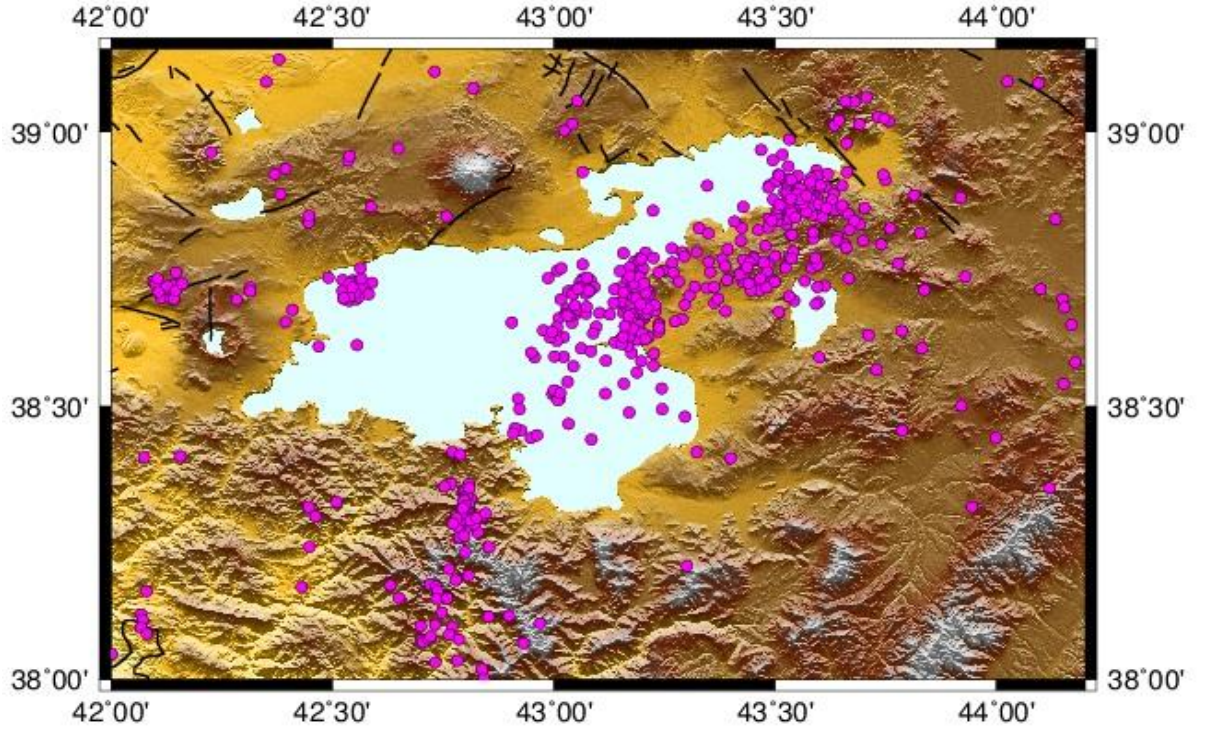
Şekil 4.48: 01.01.1900 - 22.10.2011 tarihleri arasındaki deprem verilerinden hesaplanan b değerleri dağılım haritası.

23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen ana şoktan 28.07.2014 tarihine kadar büyüklüğü $1.1 \leq M \leq 5.9$ arasında değişen 9970 adet artçı şok meydana gelmiştir. Şekil 4.49'da 0.20 derece aralıklarla gridlenmiş inceleme alanı haritasında artçı şokların sayısal dağılımı görülmektedir. Haritada ana şokun yeri yıldız sembolü ile belirtilmiştir.



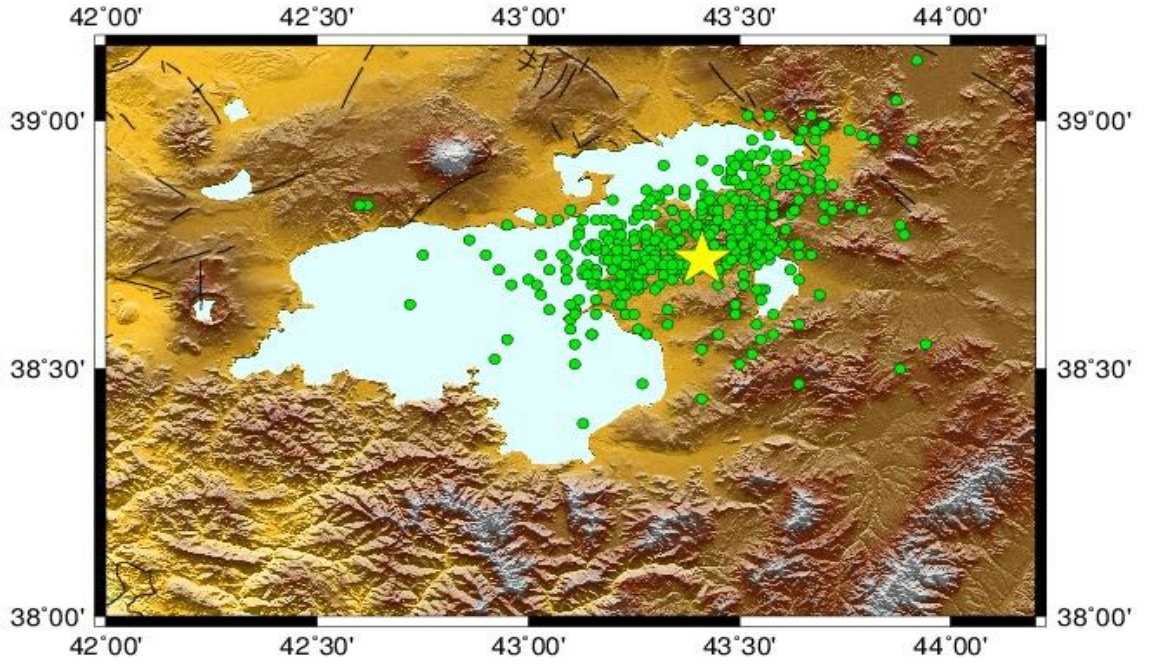
Şekil 4.49: 23 Ekim 2011 Van Depremi'nin gözlem süresi içindeki artçı şoklarının sayısal dağılımı.

Gözlem periyodundan sonra 28.07.2014 - 07.05.2015 tarihleri arasında bölgede meydana gelen büyüklüğü $M \geq 1.0$ olan depremlerin dış merkez dağılımları Şekil 4.50'de görülmektedir. Bu haritaya bakarak gözlem periyodundan sonra da artçı deprem aktivitesinin devam ettiğini söyleyebiliriz.

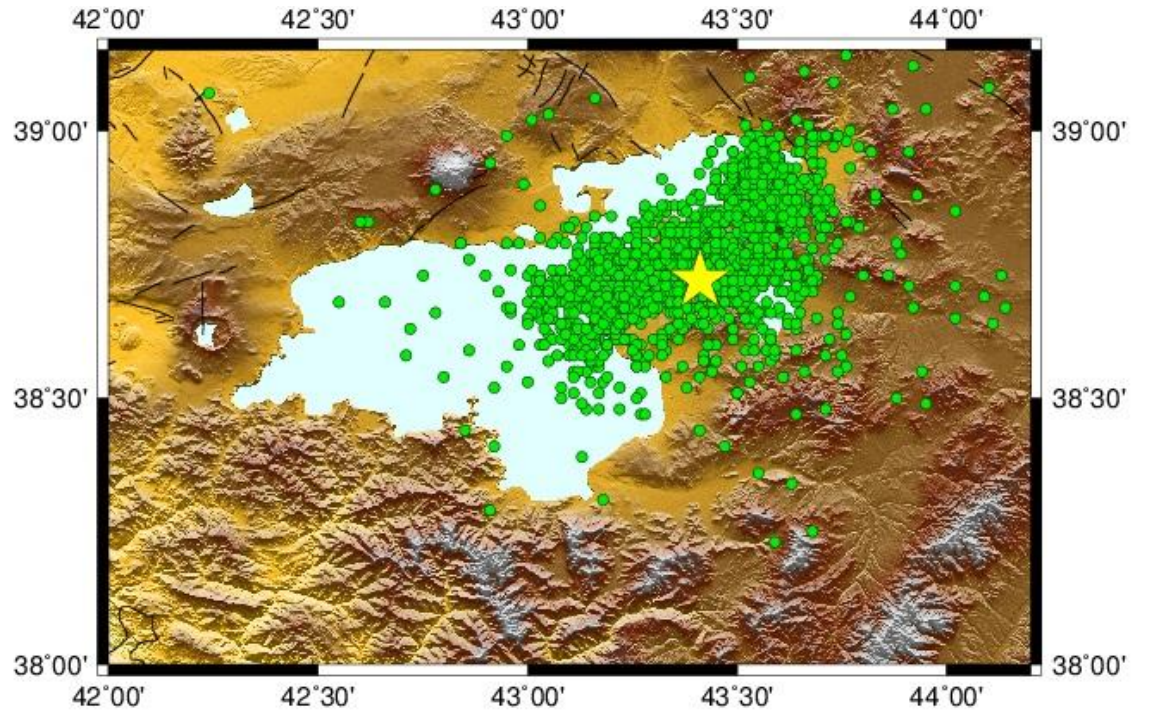


Şekil 4.50: 28.07.2014 - 07.05.2015 tarihleri arasında meydana gelen artçı depremlerin dış merkez dağılımları.

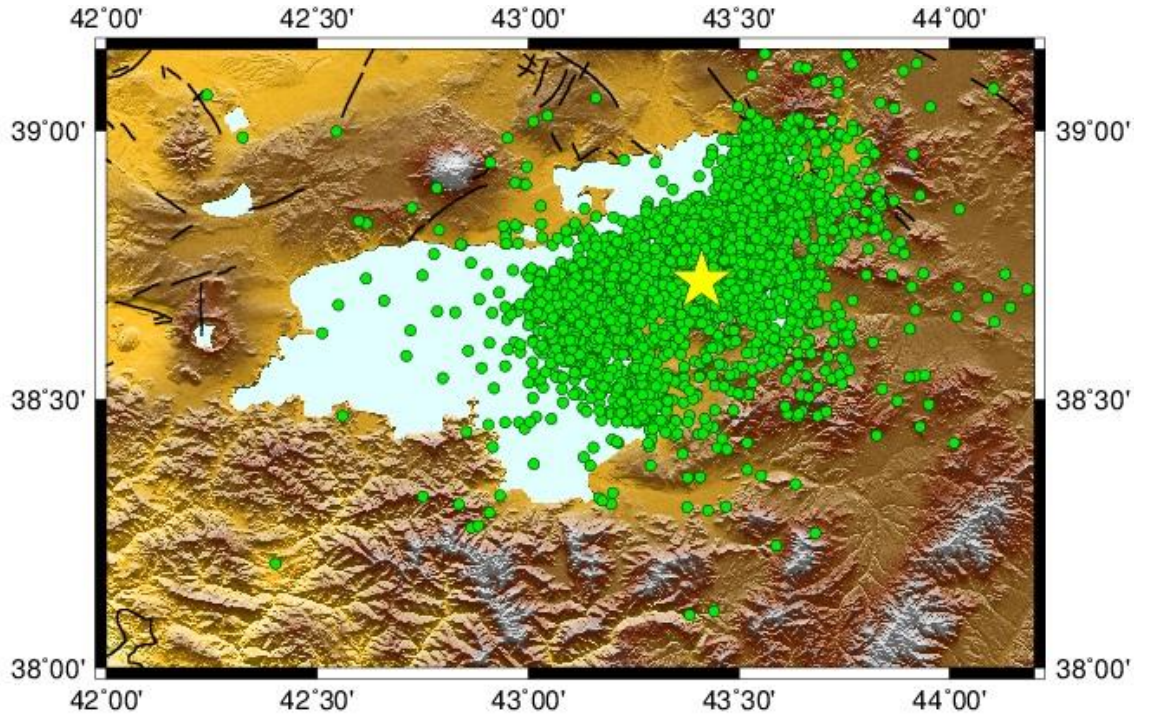
23 Ekim 2011 günü meydana gelen ana şoku izleyen artçı depremlerin 4 günlük, 10 günlük ve bir aylık dağılımları harita üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.51, Şekil 4.52, Şekil 4.53). Altuncu Poyraz ve diğ., (2011)'nin , artçı şokların güneye doğru ilerlediği saptamasına uygun bir sonuç elde edilmiştir. Deprem verileri www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2015/deprem-verileri/deprem-katalogu/ adresinden alınmıştır.



Şekil 4.51: 23.10.2011-26.10.2011 tarihleri arasında meydana gelen artçı depremlerin dış merkez dağılımları.

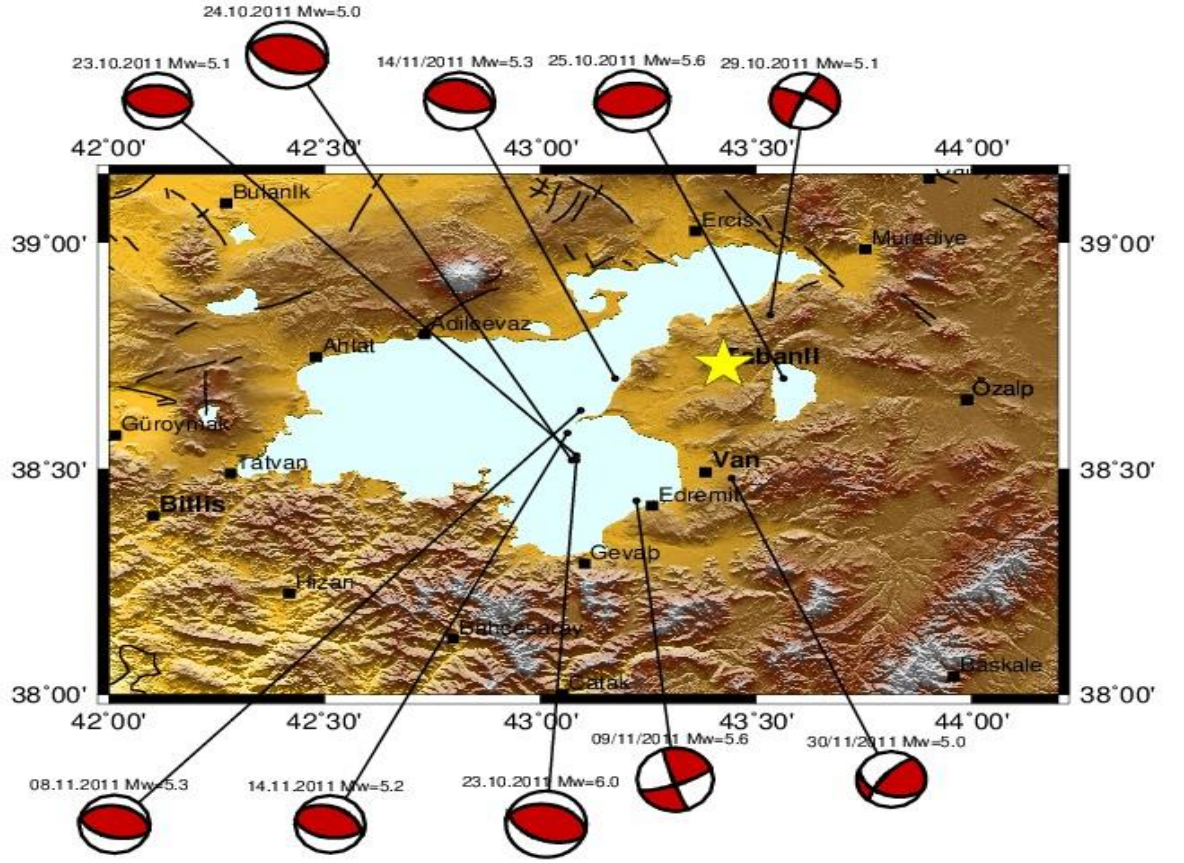


Şekil 4.52: 23.10.2011- 01.11.2011 tarihleri arasında meydana gelen artçı depremlerin dış merkez dağılımları.



Şekil 4.53: 23.10.2011- 23.11.2011 tarihleri arasında meydana gelen artçı depremlerin dış merkez dağılımları.

23 Ekim 2011’de meydana gelen ana şoku izleyen $M \geq 5$ olan büyük şokların odak mekanizması çözümleri Şekil 4.54’te görülmektedir. Odak mekanizması çözümlerine bakıldığında özellikle ters faylanmaların etkin olduğu görülür. Bu da bölgenin sıkışma rejimi etkisi altında olduğunu düşündürmektedir.



Şekil 4.54: 23 Ekim 2011 Van Depremi'nden sonra meydana gelen $M \geq 5.0$ olan büyük şoklar (<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2015/deprem-verileri/moment-tensor-cozumleri/>).

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, 23 Ekim 2011 Van Depremi'ne ait artçı şokların b ve p değerlerinin uzaysal ve zamansal değişimleri incelenmiştir. Ayrıca inceleme alanında meydana gelen büyük artçı şokların ve ana şokların odak mekanizması çözümlemeleri değerlendirilerek bölgedeki faylanma ve sismik etkinlik değerlendirilmiştir.

Büyüklüğü $M \geq 5.0$ olan depremlerin odak mekanizması çözümlerine bakıldığında doğrultu atımlı ve ters faylanmalar görülmektedir. Bu da bölgedeki sismik aktivitenin bir çok faya bağlı olduğunu gösterebilir. Özellikle ters faylanmalar bölgenin sıkışma rejiminin etkisi altında olduğunu düşündürmektedir. Bölgedeki sismik etkinlik farklı faylanmalara bağlı depremler nedeniyle oldukça karmaşıktır. İnceleme periyodunda meydana gelen 23 Ekim 2011 Van Depremi'ne ait 9970 adet artçı depremin dağılımına bakıldığında artçı şokların ana şok dış merkezi civarında KD - GB uzanımlı yer aldığı görülür. Bu dağılım, Utsu (1961), Savage ve Meyer (1985)'in "artçı şokların, ana şok dış merkezi etrafında eliptik bir kümelenme göstermesi artçı şokların genel karakteristiği olarak düşünülebilir" fikrini desteklemektedir. Ana şoktan sonraki 4 gün, 10 gün ve 1 aylık artçı şok dış merkez dağılımları incelendiğinde ise artçı şokların güneye doğru ilerlediği görülmüştür. Bu durum hareketin yönünün güneye doğru olduğunu gösterebilir. Bölgede meydana gelen artçı depremlerin odak derinliği dağılımları incelendiğinde ise 6754' ünün 0 - 10 km derinliğinde meydana geldiği görülmüştür. Bu bilgiye dayanarak depremlerin kabukta meydana geldiği ve depremlerin oluştuğu zonun derin olmadığı söylenebilir.

23 Ekim 2011 Van Depremi'ne ait artçı şok dizisi 30, 50, 100, 200, 450, 750 ve 1010 günlük periyodlarla incelendiğinde 38.40 - 39.00 K enlemleri ile 43.00 - 43.80 D boylamları arasında kalan bölge için $M \geq 2.6$ olan artçı deprem verileri ile $0.91 \leq b \leq 1.00$ arasında değişen ve zamanla artan b değerleri elde edilmiştir. b değerinin zaman içindeki artışı bölgedeki etkin gerilmenin zamanla azalmakta olduğunu düşündürmektedir. Aynı zamanda yükselen b değerlerinin bölgedeki heterojenite ve ısı akısındaki değişime bağlı olduğu düşünülebilir. 38.50- 38.90 K enlemleri ile 43.10 - 43.70 D boylamları arasındaki alanın, 1010 gün için $M \geq 1.0$ olan deprem verileri ile

hesaplanan b değerleri bölgesel dağılımına bakıldığında; $0.46 \leq b \leq 0.82$ arasında değiştiği ve yüksek b değerlerinin ana şok dış merkezi civarında, artçı deprem aktivitesinin yüksek olduğu yerlerde hesaplandığı görülmüştür. Bu durum Wiemer ve Katsumata, (1999), Zhao ve Wu, (2008), Wiemer, (2002), De Gori, (2012)'nin "büyük ana şoklardan sonra meydana gelen artçı şoklarla hesaplanan b değerleri ana şok civarında yüksektir" saptamasına uygundur. Azalan etkin gerilme sebebiyle bu bölgelerde büyük artçı şokların meydana gelmeyeceği söylenebilir. 38.50- 38.90 K enlemleri ile 43.10 - 43.70 D boylamları arasındaki alanın kuzeybatısında düşük b değerleri hesaplanmıştır. Düşük b değerleri gözlenen bu bölgelerde gerilmenin yüksek olduğu söylenebilir. Aletsel dönemin başlangıcından 23 Ekim 2011 Van Depremi'ne kadar olan sürede meydana gelen deprem verileriyle hesaplanan b değerlerinin dağılımına bakıldığında, 23 Ekim 2011 Van Depremi'nin meydana geldiği ve artçı şoklarının eliptik kümelenme gösterdiği bölgede b değerinin, depremden sonra hesaplanan b değerlerinden düşük olduğu görülmektedir. Bu bilgiye dayanarak 23 Ekim 2011 Van Depremi öncesinde bölgedeki etkin gerilmenin yüksek olduğu söylenebilir. Gözlem periyodundan sonra 07.05.2015 tarihine kadar bölgede meydana gelen artçı depremlerin dağılımına bakıldığında ise artçı şokların eliptik kümelenme gösterdiği alanda yoğun olmakla beraber artçı deprem aktivitesinin devam ettiği görülür. 30, 50, 100, 200, 450, 750 ve 1010 günlük periyodlar için, 38.40 - 39.00 K enlemleri ve 43.00 - 43.80 D boylamları arasında kalan bölgede meydana gelen, ana şok dış merkezi etrafında eliptik kümelenme gösteren artçı depremlerin, zamanla azalım oranını gösteren p değerleri Değiştirilmiş Omori bağıntısı ve farklı yöntemlerle de hesaplanıp bulunan değerler karşılaştırılmıştır. Hesaplamalar kümülatif deprem sayısı - zaman (gün) ilişkisi, günlük deprem sayısının logaritmasının zamanın logaritması ile değişimi ve ZMAP programı ile Maximum Likelihood Methodu kullanılarak yapılmıştır. Kümülatif deprem sayısının zamanla değişimine göre hesaplanan p değerleri $1.11 \leq p \leq 1.22$ arasında, günlük deprem sayısının logaritmasının zamanın logaritması ile değişimine göre hesaplanan p değerleri $0.61 \leq p \leq 1.19$ arasında ve ZMAP Maksimum Likelihood Methodu ile hesaplanan p değerleri ise $1.34 \leq p \leq 1.69$ arasında değişmektedir. Utsu (1995), Omori formülünün veya Değiştirilmiş Omori formülünün artçı şok azalım eğrilerine tam uyum göstermediği ve artçı şok aktivitesinin zamanla düzenli olarak azalmadığı karmaşık durumlar olduğunu belirtmiştir. Omori (1900) ise, 10 Ağustos ve 12 Ağustos 1898 Fukuoka Depremi artçı şoklarının zamanla

hızlı bir şekilde azalırken, aynı bölgede 1900 yılında meydana gelen depremin artçı şok aktivitesinin zamanla artış eğilimi gösterdiğini saptamıştır. Bu bilgilere benzer şekilde bizim de farklı yöntemlerle hesapladığımız p değerlerinin 30, 50, 100, 200, 450, 750 ve 1010 günlük periyodlarla değişim grafiği incelendiğinde; p değerlerinin zaman zaman arttığı ve gözlem periyodunun sonuna doğru ise azalmaya başladığı görülmektedir. p değerlerinin dağılım haritasına bakıldığında ise ana şok dış merkezi etrafında yüksek p değerlerinin hesaplandığı görülmektedir. Aynı zamanda bu bölgeler yüksek b değerlerinin hesaplandığı bölgelerdir. Bu bilgilere dayanarak ana şok dış merkezi civarındaki bölgelerde gerilmenin ve artçı depremlerin zamanla hızlı bir şekilde azaldığı söylenebilir. Yüksek b ve p değerlerinin gözlemlendiği bölgelerde alüvyon, kırıntılı kayalar ve yer yer kireç taşı gözlenmektedir. Bayrak ve Öztürk (2004), düşük hıza sahip alüvyon malzemenin yüksek b ve p değerlerine neden olabileceğini belirtmişlerdir. Gözlem periyodundan sonra 07.05.2015 tarihine kadar meydana gelen depremlerin dış merkez dağılımlarına bakıldığında ise ana şok dış merkezi civarında artçı şok aktivitesinin devam ettiği görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abercrombie, R.E ve Mori, J., 1996, Occurrence patterns of foreshocks to large earthquakes in the western United States, *Nature*, 381, 303-307.
- 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.
- Agnew, D.C. ve Jones, L.M., 1991, Prediction probabilities from foreshocks, *Journal of Geophysical Research*., 96, 11959-11971.
- Aksoy, E., 1988, *Van İli Doğu-Kuzeydoğu Yöresinin Stratigrafisi ve Tektoniği*, Doktora Tezi basılmamış, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Allen, C.R., St Amand, P., Richter, C.F. ve Nordquist, J.M., 1965, Relationship between seismicity and geologic structure in the Southern California region, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 55, 753.
- Altuncu Poyraz, S., Şengül, M.A. ve Pınar, A., 2011, 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., 1995, *The seismicity of Turkey and adjacent Areas: A historical review, 1500–1800*, Eren Publishing & Booktrade, İstanbul.
- 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.
- Amelung, F. Ve King, G., 1997, Earthquake scaling laws for creeping and non-creeping faults, *Geophysical Research. Letter*, 24, 507-510.
- 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.

- Biju-Duval, B., Dercourt, J. ve Le Pichon, X., 1978, *From the Tethys ocean to the Mediterranean sea : a plate tectonic model of the evolution of the Western alpine system*; Biju-Duval, B. ve Montadert, L. (eds), *Structural History of the Mediterranean Basins de*, Editions Teehnip, Paris, 143-164.
- Çetin, C., 2004, *Marmara Bölgesi'nde Artçı Depremlerin İstatistiksel Analizi*, Yüksek Lisans, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Chen, Y., Liu, J. ve Ge, H., 1999, Pattern Characteristics of Foreshock Sequences, *Pure and Applied Geophysics*, 155 (2-4), 395-408.
- Degens, E.T. ve Kurtman, F., 1978, *The Geology of Lake Van*. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayını, Ankara, ISBN:169.
- De Gori, P., Lucente, F.P., Lombardi, A.M., Chiarabba, C., ve Montuori C., 2012, Heterogeneities along the 2009 L'Aquila normal fault inferred by the b-value distribution, *Geophysical Research Letter*, 39, 10.1029/2012GL052822.
- Dewey, J.W., 1976, Seismicity of Northern Anatolia, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 66, 843-868.
- Dewey J. ve Şengör, C., 1979, Aegean and Surrounding Regions Complex Multiplate and Continuum Tectonics in a Convergent Zone, *Geological Society of America Bulletin*, 90, 84-92.
- 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.
- Drakatos, G. ve Latoussakis, J., 2001, A Catalog of Aftershock Sequences in Greece (1971- 1997): Their Spatial and Temporal Characteristics, *Journal of Seismology*, 5, 137-145.
- 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.
- Felzer, K.R., Becker, T.W., Abercrombie, R.E ve Ekström, G., 2002, Triggering of the 1999 $M_w = 7.1$ Hector Mine Earthquake by Aftershocks of the 1992 $M_w = 7.3$ Landers Earthquake, *Journal of Geophysical Research*, 107, B9, 10.1029/2001JB000911.

- Frohlich, C., 1987, Aftershocks and Temporal Clustering of Deep Earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, 92, 13944-13956.
- Frohlich, C. ve Davis, S., 1993, Teleseismic b values: or, much ado about 1.0, *Journal of Geophysical Research*, 98, 631-644.
- 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.
- Guo, Z. ve Ogata, Y., 1997, Statistical Relations between the Parameters of Aftershocks in Time, Space, and Magnitude, *Journal of Geophysical Research*, 102 (2), 2857-2873.
- Gutenberg, R. ve Richter, C. F., 1954, Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 32, 163-191.
- Güner, Y., 1984, Nemrut yanardağının jeolojisi, jeomorfolojisi ve volkanizmanın evrimi, *Jeomorfoloji Dergisi*, 12, 23-65.
- Healy, J. H., Rubey, W.W., Griggs, D.T. ve Raleigh, C.B, 1968, The Denver earthquakes, *Science*, 161, 1301-1310.
- Hirata, T., 1987, Omori's Power Law Aftershock sequences of Microfracturing in Rock Fracture Experiment, *Journal of Geophysical Research*, 92(7), 6215-6221.
- Ikegami, R., 1967, On the secular variation of magnitude-frequency relation of earthquakes, *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 45, 327-338.
- JMO (2011), Van (Tabanlı - Edremit)Depremleri Raporu, Jeoloji Mühendisleri Odası Raporu, Ankara, 52.
- 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.
- Kayal, J.R., 2008, *Microearthquake Seismology and Seismotectonics of South Asia*, Capital Publishing Company, India, ISBN: 978-1-4020-8179-8.
- Ketin, İ., 1977, Van Gölü ile İran Sınırı Arasındaki Bölgede Yapılan Jeoloji Gözlemlerinin Sonuçları Hakkında Kısa bir Açıklama, *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 20-2, 79-85.

- Kisslinger, C., 1996, Aftershocks and Fault-Zone Properties, *Advances in Geophysics*, 38, 1-36.
- Kisslinger, C. ve Jones, L.M., 1991, Properties of Aftershock Sequences in Southern California, *Journal of Geophysical Research*, 96, 11947-11958.
- Kılıç, S., 2006, *Türkiye’de İki Farklı Artçı Deprem Zonundaki Sismisite Parametrelerinin Uzaysal ve Zamansal Değişimi*, Yüksek Lisans, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- 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.
- 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.
- Lahn, E., 1949, Seismological investigations in Turkey, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 39, 67-71.
- Le Pichon, X. ve Angelier, J., 1981, The Aegean Sea, *Philosophical Transactions of the Royal Society London*, 300, 357- 372.
- Liu, Z. R., 1986, Earthquake frequency and prediction, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 74, 255-265.
- Maeda, K., 1999, Time Distribution of Immediate Foreshocks Obtained by a Stacking Method, *Pure and Applied Geophysics*, 155, 381-394.
- Marcellini, A., 1997, *Physical Model of Aftershock temporal Behavior*, *Tectonophysics*, 277, 137-146.
- McKenzie D.P., 1972, Active Tectonics of the Mediterranean region, *Geophysical Journal Royal Astronomical Society*, 30 (2), 109-185.
- Mogi, K., 1962, Study of the Elastic Shocks Caused by the Fructure of Heterogeneous Materials and its Relation to the Earthquake Phenomena, *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, Tokyo, 40, 125-173.
- Mogi, K., 1963, Some discussions on aftershocks, foreshocks and earthquake swarms the fracture of a semi infinite body caused by an inner stress origin and its relation to the earthquake phenomena, *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 41, 615-658.
- Mogi, K., 1967, Regional Variation of Aftershock Activity, *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, Tokyo, 46, 175-203.

- Mogi, K., 1969, Some features of the recent seismic activity in and near Japan II. Activity before and after great earthquakes, *Earthquake Research Institute Bulletin*, 47, 395 - 417.
- Ogata, Y., 2001, Increased probability of large earthquakes near aftershock regions with relative quiescence, *Journal of Geophysical Research*, 106, 8729-8744.
- Ogata, Y., Jones, L.M. ve Toda, S., 2003, When and where the aftershock activity was depressed: contrasting decay patterns of the proximate large earthquakes in southern California, *Journal of Geophysical Research*, 108(6), 2318.
- Olsson, R., 1999, An Estimation of the Maximum b value in the Gutenberg-Richter Relation, *Geodynamics*, 27, 547-552.
- Omori, F., 1894, Investigation of Aftershocks, *Japanese Imperial Earthquake Investigation Committee*, 2, 103-139.
- Omori, F., 1900, Note on the Fukuoka Earthquake of August 10th and 12th, 1898, *Japanese Imperial Earthquake Investigation Committee*, 32, 47-54.
- Oswalt, F., 1912, Armenian, Handbuch der regionalen Geologie. H. 10. Heidelberg.
- Özkaymak, Ç., 2003, Van Şehri ve Yakın Çevresinin Aktif Tektonik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi (basılmamış), Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özkaymak, C., Yurur, T. ve Kose, O., 2004, An example of intercontinental active collisional tectonics in the Eastern Mediterranean region (Van, eastern Turkey). *5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology*, 14-20 April 2004, Thessaloniki, Greece, Proceedings Book, 591-593.
- Özdemir, Y., Karaoğlu, Ö., Tolluoğlu, Ü. ve Güleç, N., 2006, Volcanostratigraphy and petrogenesis of the Nemrut stratovolcano (East Anatolian High Plateau): the most recent postcollisional volcanism in Turkey, *Chemical Geology*, 226, 189-211.
- Özdemir, Y., Blundy, J. 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.
- Reasenber, P. ve Jones, L.M., 1989, Earthquake Hazard after a Mainshock in California, *Science*, 243, 1173-1176.
- Riznichenko, J.V., 1968, On quantitave determination and mapping of seismic activity, *An open Access Journal of the Europen Geosciences Union*, 12, 227-237.

- Sağlam, A., 2003, *Van Gölü Dogusu ve Güneydogusunda Yüzeyleyen Van Formasyonunun Stratigrafisi, Paleontolojisi ve Çökelme Ortamları*, Yüksek Lisans tezi (basılmamış), Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Savage., M. K. ve Meyer, R. P., 1985, Aftershocks of an M=4.2 Earthquake in Hawaii and Comparision with Long- Term Studies of the Same Volume, *Bulletin of the Seismological Society of America* 75 (3), 759-777.
- Shcherbakov, R., Turcotte, D.L. ve Rundle, J.B., 2005, Aftershock Statistics, *Pure and Applied Geophysics*, 162, 1051-1076.
- 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, 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., 1979, The North Anatolian Transform Fault: Its Age, Offset and Tectonic Significance, *Journal of the Geological Society of London*, 136, 269-282.
- 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., 1980, Principles of Turkey's Neotectonics, *Turkish Geological Association Conference*, 2, 40.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981, Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach, *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- 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.

- Tsapanos, T.M., 1992, Considerations on the Global seismic Sequences:The Second and The Third Largest Aftershocks, *Geophysical Journal International*, 111, 630-636.
- Tüysüz, O. ve Erturaç, K., 2005, Karlıova'da 7'lik deprem beklentisi, *Cumhuriyet Bilim Teknik Dergisi*, 939, 16-17.
- Ussing, N.V.J., Pjeturss, W.D., Smith, C., Gagel, P., Marshall, P., Lemoine, R., Douville, A F., Stahl, F., Oswald, E., Blackwelder, G.A.F. ve Molengraaff, W.A.J.M., 1912, Armenian Handbuch der regionalen Geologie, *Bulletin of the American Geographical Society*, 47, 463-464.
- 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., 1971, Aftershock and Earthquake Statis (III): Analyses of the Distribution of Earthquakes in Magnitude, Time,and Space with Special Consideration to clustering characteristics of Earthquake Occurance(1), *Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University. Series VII (Geophys.)*, 3, 379-441.
- 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.
- Wang, H., 1994, On the corelation of observed Gutenberg-Richter's b value and Omori's p value for aftershocks, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84(6), 2008-2011.
- Warren, N.W. ve Latham, G.V., 1970, An experimental study of thermally induced microfracturing and its relation to volcanic seismicity, *Journal of Geophysical Research*, 75, 4455-4464.
- Wessel, P., ve Smith, W.H.F., 1998, New, improved version of the Generic Mapping Tools released, *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 79, 579.
- Westerhaus, M., Wyss, M., Yılmaz, R. ve Zschau, J., 2002, Correlating Variations of b values and crustal deformations during the 1990s may have Pinpointed the rupture initiation of the Mw =7.4 Izmit earthquake of 1999 August 17, *Geophysical Journal International*, 148, 139-152.
- Wiemer, S. ve Wyss, M., 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.
- Wiemer, S., Gerstenberger, M. ve Hauksson, E., 2002, Properties of the aftershock sequence of the 1999 Mw 7.1 Hector Mine earthquake: Implications for aftershock hazard, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(4), 1227-1240.
- 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.
- Zhao, Y. Z., ve Wu, Z.L., 2008, Mapping the b-values along the Longmenshan fault zone before and after the 12 May 2008, Wenchuan, China, Ms 8.0 earthquake, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, 1375-1385.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı	Burçin Didem TAMTAŞ
Uyruğu	T.C
Doğum tarihi, Yeri	30.04.1981, Muş
Telefon	0 533 747 31 09
E-mail	burcin.tamtas@istanbul.edu.tr

Eğitim

Derece	Kurum/Anabilim Dalı/Programı	Yılı
Yüksek Lisans	İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü/ Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı	
Lisans	İstanbul Üniversitesi	2012
Lise	Pertevniyal Lisesi	1998