



GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

Gümüşhane University Journal of Science and Technology Institute

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ YAYINI

PUBLISHED BY GÜMÜŞHANE UNIVERSITY SCIENCE AND TECHNOLOGY INSTITUTE



ISSN 2146-538X

CİLT/VOLUME: 3

SAYI/NUMBER: 1

YIL/YEAR: 2013

Gümüşhane University Science and Technology Institute Bağlarbaşı Mahallesi 29100 Gümüşhane/TURKEY
gufbed@gumushane.edu.tr Tel: 0 456 233 75 36 Faks: 0 456 233 74 27



Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Published by Gümüşhane University Science and Technology Institute

Cilt/Volume: 3 Sayı/Number: 1 Yıl/Year: 2013

Altı ayda bir yayınlanır/ *Published twice a year*

ISSN 2146-538X



Sahibi/Owner

Doç. Dr. Temel BAYRAK

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Adına

On the behalf of Gümüşhane University Science and Technology Institute

Editörler/Editorial Board

Doç. Dr. Temel BAYRAK

Yrd. Doç. Dr. Serhat DAĞ

Yrd. Doç. Dr. Cemalettin BALTACI

Yrd. Doç. Dr. Hakan BOLAT

Dergi Sekreteryası/Secretarial

Yrd. Doç. Dr. Enver AKARYALI

Arş. Gör. Leyla ÇÖL

Arş. Gör. Çağla Melisa KAYA

Arş. Gör. Seda Nur TURAN

Kapak Tasarım/Cover Design

Öğr. Gör. Sinan ÇAKMAK

Yönetim Yeri/ Place of Management

Adres/Address

Gümüşhane University Science and Technology Institute

Bağlarbaşı Mahallesi 29100 Gümüşhane/TURKEY

Tel: (+90) 456 233 75 36 **Faks:** (+90) 456 233 74 27

URL:<http://fbe.gumushane.edu.tr/gufbedergi.html>

E-mail:gufbed@gumushane.edu.tr

Yayın Türü/ Publication Type

Yaygın süreli ve hakemli/ Common term and refereed

Basım Yeri / Printing House

Gümüşhane University Science and Technology Institute

Bağlarbaşı Mahallesi 29100 Gümüşhane/TURKEY

Yayın Tarihi/ Publication Date

31.01.2013

Hakemli bir dergi olan Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi yılda iki kez online olarak yayınlanmaktadır. Akademik usullere uygun atıf yapmak suretiyle Dergide yapılan çalışmalardan yararlanılabilir. Bu dergide yayınlanan çalışmaların bütün sorumluluğu yazarlara aittir.



Danışma Kurulu/Advisory Board

Prof. Dr. Mehmet ARSLAN-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Turan BATAR- Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Fikri BULUT-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN-Uludağ Üniversitesi
Prof. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU-Hacettepe Üniversitesi
Prof. Dr. Halim MUTLU-Osmangazi Üniversitesi
Prof. Dr. Mualla YALÇINKAYA-Karadeniz Teknik Üni.
Prof. Dr. Tahsin YOMRALIOĞLU-Istanbul Teknik Üni.
Doç. Dr. Vecihi AKSAKAL-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Mustafa ATASOY-Aksaray Üniversitesi
Doç. Dr. Temel BAYRAK-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Bahri BAYRAM-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Günay ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Özşen ÇORUMLUOĞLU-Gümüşhane Üni.
Doç. Dr. Abdurrahman DOKUZ-Gümüşhane Üni.
Doç. Dr. Saffet ERDOĞAN-Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Yener EYÜBOĞLU-Karadeniz Teknik Üni.
Doç. Dr. Zülfü GÜROKAK-Fırat Üniversitesi
Doç. Dr. Abdullah KAYGUSUZ-Gümüşhane Üni.
Doç. Dr. Ramazan LİVAOĞLU-Uludağ Üniversitesi
Doç. Dr. Salim Serkan NAS-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Selçuk REİS- Aksaray Üniversitesi
Doç. Dr. Selim ŞEN-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Ali YALÇIN- Aksaray Üniversitesi
Doç. Dr. Şükrü YETGİN-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Özcan YİĞİT-Çanakkale 18Mart Üniversitesi
Doç. Dr. Mehmet ALKAN-Zonguldak Karaelmas Üni.
Doç. Dr. İsmet SEZER-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Mehmet ÇETE-Erciyes Üniversitesi
Doç. Dr. Recep NİŞANCI-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Mustafa ACAR-Aksaray Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Enver AKARYALI-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Selahattin ALBAYRAK-Gümüşhane Üni.
Yrd. Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. İbrahim ASRİ-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Yusuf AŞIK-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Zekeriya AYDIN-Namık Kemal Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Hamit AYDIN-Zonguldak Karaelmas Üni.
Yrd. Doç. Dr. Emre AYDINÇAKIR-Gümüşhane Üni.
Yrd. Doç. Dr. Bilge BAHAR-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Cemalettin BALTACI-Gümüşhane Üni.
Yrd. Doç. Dr. Serkan BEKİROĞLU-Yıldız Teknik Üni.
Yrd. Doç. Dr. Osman BİCAN-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Oğuz BURNAZ-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Hakan BOLAT-Gümüşhane Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Hasan Tahsin BOSTANCI-Gümüşhane Üni.
Yrd. Doç. Dr. Tufan ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Zafer ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇAVDAR-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Özlem ÇAVDAR-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Kemal ÇELİK-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Necati ÇELİK-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇULLU-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Serhat DAĞ-Gümüşhane Üniversitesi.
Yrd. Doç. Dr. Fatih DÖNER-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. İbrahim DÜZGÜN- Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Çiğdem SAYDAM EKER-Gümüşhane Üni.
Yrd. Doç. Dr. Hediye ERDOĞAN-Aksaray Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Ahmet GÖKDOĞAN-Gümüşhane Üni.
Yrd. Doç. Dr. Ali GÜNDOĞDU-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Özgün KALKIŞIM-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Musa KARALP-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. S. Mustafa KARABIDAK- Gümüşhane Üni.
Yrd. Doç. Dr. Orhan KARPUZ-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Aşşın KAYA-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Elif Çelenk KAYA-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Abdullah KAYGUSUZ-Gümüşhane Üni.
Yrd. Doç. Dr. Kemal KUVVET-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Nafiz MADEN-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Melih OKCU-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Zuhale OKCU-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Korhan ÖZGAN-Karadeniz Teknik Üni.
Yrd. Doç. Dr. Ertekin ÖZTEKİN-Gümüşhane Üni.
Yrd. Doç. Dr. Serkan ÖZTÜRK-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. S. Beyza Ö. SARIKAYA-Gümüşhane Üni.
Yrd. Doç. Dr. Barış SEVİM-Yıldız Teknik Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Ferkan SİPAHİ-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Birol ŞAHİN-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Emine TANIR- Karadeniz Teknik Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Yener TOP-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Osman ÜÇÜNCÜ-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Alaaddin VURAL-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Faruk YILDIRIM- Karadeniz Teknik Üni.
Yrd. Doç. Dr. Mustafa YILDIRIM-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Volkan YILDIRIM-Karadeniz Teknik Üni.
Yrd. Doç. Dr. Hilal YILDIZ-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Halil YOLCU-Gümüşhane Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Abdurrahman ONARAN-Gümüşhane Üni.
Dr. Kamil TEKE-Hacettepe Üniversitesi

İçindekiler/Contents

ÖZTÜRK S.; Türkiye Depremleri için Fraktal Dağılım D_c -Değeri ile Depremsellik Parametresi b -değeri Arasındaki İlişki Üzerine İstatistiksel Bir Değerlendirme.....1-15

YILDIZ T., KARAKULAK F.S.; İstanbul Balıkçılık Kıyı Yapılarının Mevcut Durumu.....16-28

Türkiye Depremleri için Fraktal Dağılım D_c -değeri ile Depremsellik Parametresi b -değeri Arasındaki İlişki Üzerine İstatistiksel Bir Değerlendirme

Serkan ÖZTÜRK*

Gümüşhane Üniversitesi, Müh. Fak. Jeofizik Müh. Böl., TR-29100, Bağlarbaşı, Gümüşhane.

Geliş tarihi/Received 25.09.2012

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 20.12.2012

Kabul tarihi/Accepted 31.12.2012

Özet

Jeolojik olaylar genellikle fraktal özellik gösterir. Fraktal özelliğe sahip bir sistemin veya sürecin temel özelliği, ölçekle değişmez oluşu veya kendine benzer oluşudur. Bu özelliğe sahip olan sistemler veya süreçler, bir güç yasası olarak fraktal boyut ile temsil edilebilirler. Depremselliğin fraktal boyutu ise deprem oluş sürecindeki düzensizliğin ve depremlerin yığılma özelliklerinin bir ölçüsüdür. Bu çalışmanın temel amacı, fraktal dağılım D_c -değeri ve depremsellik parametresi b -değeri ile ölçülendirilen zaman, uzay ve magnitüd dağılımlarındaki fraktal bir yapıya sahip olan depremselliğin doğasını araştırmaktır. Bu amaçla, aletsel dönemde 1970-2011 yılları arasında Türkiye’de meydana gelmiş olan 99737 depremi içeren katalog kullanılmıştır. Detaylı değerlendirme için, Türkiye 55 farklı sismik bölgeye ayrılmıştır. Sismik b -değerleri maksimum olasılık yöntemiyle ve D_c -değerleri de %95 güven sınırları içerisinde doğrusal regresyon kullanılarak hesaplanmıştır. Bu iki sismotektonik parametre arasındaki en uygun ve en güvenilir istatistiksel ilişkiyi belirleyebilmek için; (1) L_2 Norm veya En Küçük Kareler Yöntemi, (2) L_1 Norm veya En Küçük Toplamlı Mutlak Sapma, (3) Toplam En Küçük Kareler veya Ortogonal Regresyon ve (4) Robust Regresyon olmak üzere dört farklı yöntem test edilmiştir. Tüm regresyonlar için, ilişki katsayıları ile birlikte aşağıdaki doğrusal ilişkiler elde edilmiştir:

$$D_c = 2.41 - 0.29 * b, \text{ En Küçük Kareler için } (r=-0.82)$$

$$D_c = 2.42 - 0.29 * b, \text{ En Küçük Toplamlı Mutlak Sapma için } (r=-0.83)$$

$$D_c = 2.41 - 0.28 * b, \text{ Robust Regresyon için } (r=-0.81)$$

$$D_c = 2.44 - 0.30 * b, \text{ Ortogonal Regresyon için } (r=-0.85)$$

*Sonuç olarak, Ortogonal regresyon yöntemi kullanılarak Türkiye depremleri için D_c -değeri ile b -değeri arasında, güçlü bir negatif ilişkiye ($r=-0.85$) sahip $D_c = 2.44 - 0.30 * b$ ilişkisi elde edilmiştir. Bu ampirik ilişki literatürde mevcut olan bölgesel ilişkilerle uyumludur ve Türkiye depremleri için daha güncel ve daha güvenilir olarak önerilebilir.*

Anahtar kelimeler: Türkiye, Deprem, b -değeri, Fraktal dağılım, Regresyon, İlişki katsayısı.

* Serkan ÖZTÜRK, serkanozturk@gumushane.edu.tr, Tel: (456) 233 74 25

A Statistical Assessment on the Relationship between the Fractal Distribution D_c -value and Seismicity Parameters b -value for Turkey Earthquakes

Abstract

Geological events generally show fractal properties. The principle property of a system or process which has fractal property is scale invariance or self-similarity. The processes or systems having these properties can be represented by fractal dimension as a power law. Fractal dimension of seismicity is a measure of the complexity in the earthquake occurrence process and the clustering properties of earthquakes. The main purpose of this work is to investigate the nature of seismicity which has a fractal structure in time, space, and magnitude distributions, as quantified by the fractal distribution D_c -value and seismicity parameters b -value. For this purpose, earthquake catalogue consisting 99737 earthquakes occurred in Turkey in the instrumental period between 1970 and 2011 is used. For a detailed assessment, Turkey is divided into 55 different seismic zones. Seismic b -values are calculated by the maximum likelihood method and the D_c -values are obtained with 95% confidence limits by linear regression. In order to determine the most suitable and reliable statistical relation among these two seismotectonic parameters, four different methods as (1) L_2 or Least Squares Regression, (2) L_1 or Least Sum of Absolute Deviations Regression, (3) Total Least Squares or Orthogonal Regression and, (4) Robust Regression are tested. For all regressions, following linear relationships are obtained with their correlation coefficients:

$D_c = 2.41 - 0.29 * b$, for Least Squares Regression ($r = -0.82$)

$D_c = 2.42 - 0.29 * b$, for Least Sum of Absolute Deviations Regression ($r = -0.83$)

$D_c = 2.41 - 0.28 * b$, for Robust Regression ($r = -0.81$)

$D_c = 2.44 - 0.30 * b$, for Orthogonal Regression ($r = -0.85$)

Consequently, using Orthogonal regression method, the relationship of $D_c = 2.44 - 0.30 * b$ with a strong negative correlation ($r = -0.85$) is obtained between D_c -value and b -value for Turkey earthquakes. This empirical equation is accordance with the other regional relationships existing in literature and it can be suggested as more up-to-date and more reliable for Turkey earthquakes.

Key words: Turkey, Earthquake, b -value, Fractal distribution, Regression, Correlation coefficient.

1.Giriş

Türkiye sismik olarak oldukça aktif bir bölgededir ve bu nedenle deprem tehlike değerlendirmelerinde sismik değişimleri analiz etmek için istatistiksel ve fiziksel birçok çalışma yapılmıştır. Türkiye’de meydana gelen depremlerin fiziksel davranışlarını tanımlamak için önerilen çok sayıdaki istatistiksel modelin yanında, sismolojideki ölçekleme yasalarını ve bunların değişmeyen özelliklerini kullanarak dünyanın farklı bölgeleri içinde birçok araştırma yapılmıştır (örneğin; Kagan ve Knopoff, 1980; Mandelbrot, 1982; Hirata, 1989; Öncel vd. 1995; Caneva ve Smirnov, 2004; Öncel ve Wilson,

2007; Öztürk, 2011; Roy vd. 2011). Bununla birlikte, depremsellik ve fay dağılımı arasındaki olası ilişki ile ilgili çalışmalar sınırlıdır. Sismotektonik değişkenler arasında fraktal ilişkilerin deprem tehlikesi çalışmalarına olan potansiyel uygulamaları, temelde veri setlerinin fraktal nitelikleri arasındaki normal ve aykırı ilişkilere karşılık gelen tartışmalara dayanır. Dolayısıyla, bu ilişki modellerinin analizi ve haritalanması deprem riski ve mekanizmaları için farklı bir bakış açısı ortaya koyabilir (Öncel ve Wilson, 2002).

Fraktal özellik fraktal boyut (D_c) ile temsil edilir. Fraktal boyut, sistemdeki veya veri

grubundaki karmaşıklığın bir ölçüsü olup anlamı kullanılan veriye ve uygulanan yöntemlere göre değişir. Fraktal kavramı son yıllarda arazide ve laboratuvarlarda gözlenen kırık sistemlerinin karmaşık yapısını açıklamakta kullanılmaktadır. Özellikle dağlar, nehirler, deniz girintisi, faylar gibi jeolojik yapıların ve depremler gibi doğal olayların incelenmesinde, fraktal geometri kavramı geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Kayaçlarda kırık sistemlerinin gelişmesi ve depremlerin oluşumu fraktal olayların tipik örneklerini oluştururlar. Ayrıca, yukarıda bahsedilen bir çok çalışma deprem oluşumunun uzay ve zaman dağılımlarının fraktal olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, sismik aktivite gösteren fay bölgeleri ölçek değişmez özelliği olan karmaşık sistemler olup, depremlerin uzay ve zaman dağılımlarını temsil eden fraktal boyut ile fay uzunluğu ve kaynak boyutunu temsil eden b -değeri arasında bir ilişki gözlenmektedir.

Fraktal boyutun zaman ve uzaydaki değişimleri güçlü depremlerin ön belirtisi olarak değerlendirilebilir. Sismik olarak aktif olan fay bölgeleri, deprem kaynak boyutunun veya fay uzunluğunun bir güç yasası ölçeği ve uzay-zamanda depremler arasındaki fraktal ilişki veya ölçek değişmezliği sergileyen karmaşık doğal sistemlerdir (Öncel vd. 1995). Dolayısıyla, depremselliğin istatistiksel ölçek ilişkilerinin büyük depremlerin kısa vadede belirlenmesine hassas olmasından dolayı bu çalışmada, Türkiye depremleri için fraktal boyut ile depremlerin boyut dağılımı arasında uygun ve güvenilir bir ampirik ilişki ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ayrıca, bu iki sismotektonik parametre arasındaki en uygun ilişkiyi belirleyebilmek için, *En Küçük Kareler Yöntemi*, *En Küçük Toplamlı Mutlak Sapma*, *Ortogonal Regresyon* ve *Robust Regresyon* gibi dört farklı yöntem test edilmiştir.

2. Kullanılan Deprem Verisi ve Sismik Kaynak Bölgeleri

Türkiye ve civarı için hem ulusal hem de uluslararası kaynaklardan elde edilebilecek birçok deprem kataloğu mevcuttur. Bu çalışmada kullanılan veri kaynağının 1970-2006 yılları arasındaki kısmı Öztürk'ten (2009) alınmıştır. Öztürk (2009), 1970-1973 yılları arasındaki

depremleri *International Seismological Centre* (ISC) kataloğundan, 1974-2006 yılları arasındaki veriyi ise *Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü*'nden (KOERI) derlemiştir. Bununla birlikte bazı bilinmeyen depremler için Öztürk (2009), *National Telemetric Earthquake Observatory Network* (TURKNET), *Incorporated Research Institutions for Seismology* (IRIS) ve *TÜBİTAK* gibi katalogları kaynak olarak kullanmıştır. Öztürk (2009), süre magnitudüne (M_D) göre homojen olan aletsel bir deprem kataloğu hazırlamıştır. Bu katalog, 1970-2006 yılları arasında Türkiye ve civarında meydana gelmiş olan 73530 depremi içermektedir. Bu kataloğa ek olarak, 2006-2011 yılları arasındaki veri için yine KOERI kataloğu kullanılmıştır.

Öztürk (2009), 1970-2006 yılları arasında homojen ve tam bir deprem kataloğu hazırlayabilmek için bazı ampirik ilişkiler kullanmıştır. KOERI, yerel depremler için süre magnitudünün hesaplanmadığı durumlarda genellikle yerel magnitud (M_L) hesaplar. 2006-2011 yılları arasında KOERI kataloğunda M_D 'nin bilinmediği durumlarda, Öztürk (2009) tarafından verilen ilişkiler kullanılarak M_D hesaplanmış ve bu zaman periyodu için Türkiye ve civarında 26207 deprem elde edilmiştir. Sonuç olarak, 1970-2011 yılları arasında Türkiye ve civar için M_D 'ye göre homojen olan ve 99737 depremi içeren bir katalog hazırlanmıştır (1970-2006 yılları arasındaki deprem kataloğunun hazırlanması ile ilişkili tüm detaylar Bayrak vd.'nde (2009) bulunabilir).

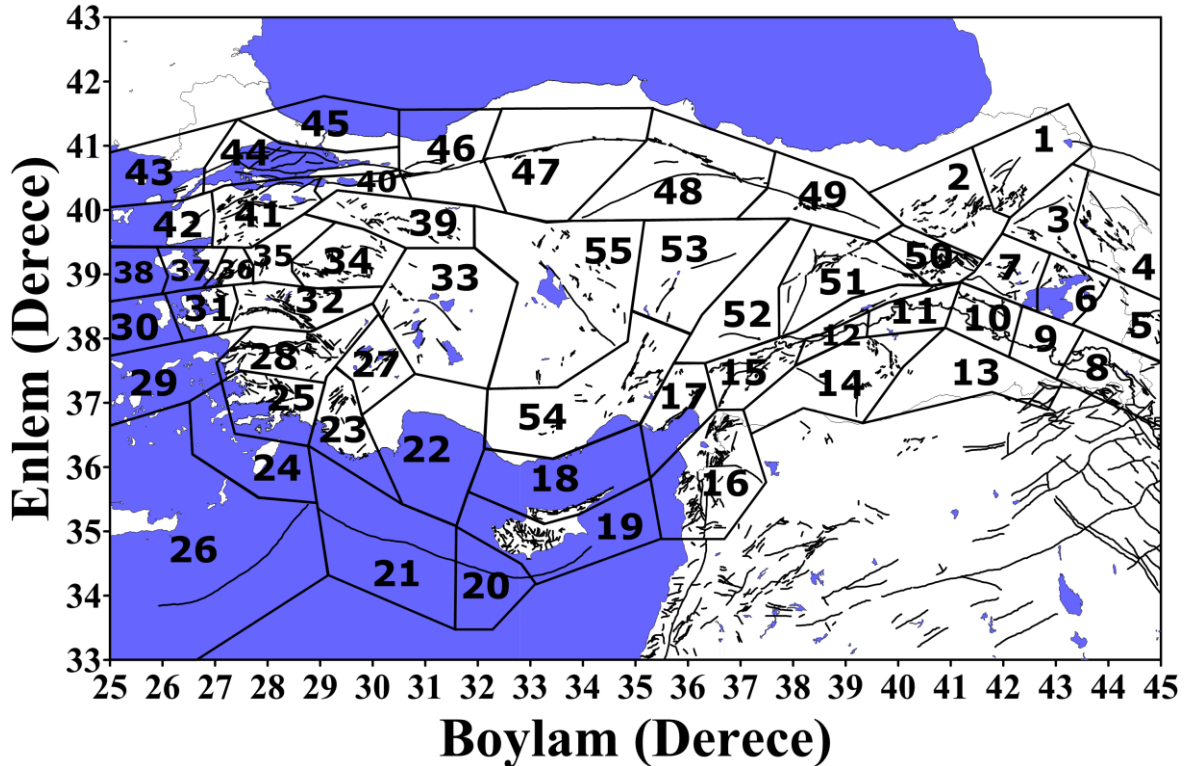
Bir sismik kaynak bölgesi, sismik olarak homojen bir alanı tanımlar. İdeal bir sismik kaynak bölgesi tanımlaması, paleosismolojik, jeoloji, tektonik, tarihsel ve aletsel depremselliğin ve düşünülen bölgenin diğer neotektonik özelliklerinin tam olarak anlaşılmasını gerektirir. Sismik kaynak bölgeleri, sıkça iki temel özellik kullanılarak belirlenebilir: (i) bölgenin sismik profili ve (ii) tektonik yapısı (Erdik vd. 1999). Birçok araştırmacı deprem tehlikesi çalışmaları için tektonik bölgelendirmenin oldukça yaygın bir yöntem olduğunu ifade etmiş ve Türkiye'yi içeren çok

sayıda bölgelendirme çalışması farklı araştırmacılar tarafından yapılmıştır (örneğin; Jiménez vd., 2001; Kayabalı, 2002; Erdik vd. 1999; Bayrak vd. 2009).

Bu çalışmadaki sismik kaynak bölgeleri, temel olarak Bayrak vd., (2009) ve Erdik vd., (1999) tarafından yapılan tektonik bölgelendirme çalışmalarına dayalı olarak belirlenmiştir. Erdik vd., (1999) tüm deprem verisini kullanarak ve farklı araştırmacılar tarafından yapılan bölgelendirme çalışmalarını dikkate alarak Türkiye için 37 sismik kaynak bölgesi tanımlamıştır. Bununla birlikte Bayrak vd., (2009), depremlerin episantr dağılımları ile birlikte mevcut tektonik yapıları haritalayarak, 1977-2002 yılları arasında Türkiye’de meydana gelmiş büyük depremlerin TÜBİTAK tarafından verilen odak mekanizması çözümlerini ve Türkiye için yapılan farklı bölgelendirme çalışmalarını dikkate alarak Türkiye için 24 farklı kaynak bölgesi tanımlamışlardır. Sonuç olarak, bu çalışmalar ve magnitudü 4.0 veya daha büyük olan depremlerin episantr dağılımlarının birlikte çizimi ile mevcut tektonik

yapılar ve odak mekanizması çözümleri de dikkate alınarak, diğer çalışmalardan farklı olarak Türkiye ve civarı için yeni bir tektonik bölgelendirme yapılmış ve Şekil 1’de görüldüğü gibi Türkiye 55 farklı kaynak bölgeye ayrılmıştır.

Bayrak vd.’nde (2009) verilen ve aynı bölgeler içerisine düşen farklı tektonik yapıları detaylı olarak analiz edebilmek için, diğer çalışmalardan farklı olarak daha küçük yeni bölgeler tanımlanmıştır. Bununla birlikte, her bir bölgedeki deprem sayısı analizler için yeterlidir. 1-55 arasındaki sayılarla numaralandırılmış olan sismik kaynak bölgeleri tektonik yapıları ile birlikte Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’de, her bir bölge için sismotektonik parametrelerin hesaplanmasında kullanılan deprem sayıları ile birlikte deprensellik parametresi b -değeri ve fraktal dağılım D_c -değerleri de verilmiştir. Ayrıca, b ve D_c -değerlerinin hesaplanması için kullanılan şekiller örnek temsil etmesi açısından yalnızca 1. Bölge için Şekil 2a ve 2b’de verilmiştir.



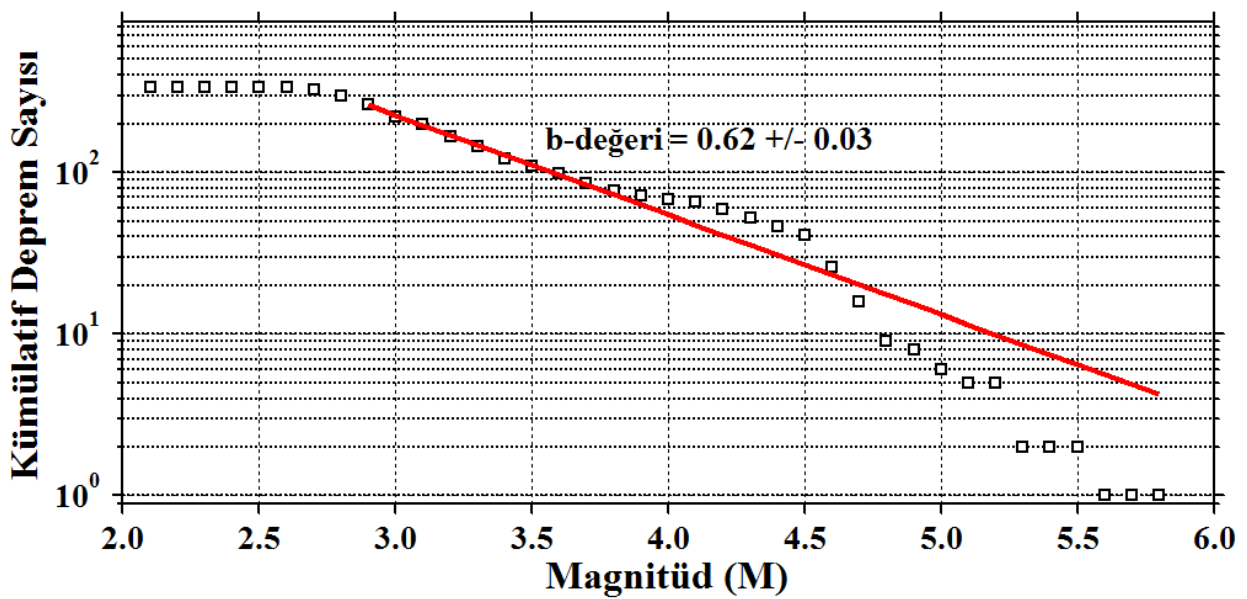
Şekil 1. Türkiye ve civarındaki aktif fay sistemleri ve sismik kaynak bölgeleri. Ana tektonik yapılar Şaroğlu vd.’nden (1992) değiştirilerek alınmıştır.

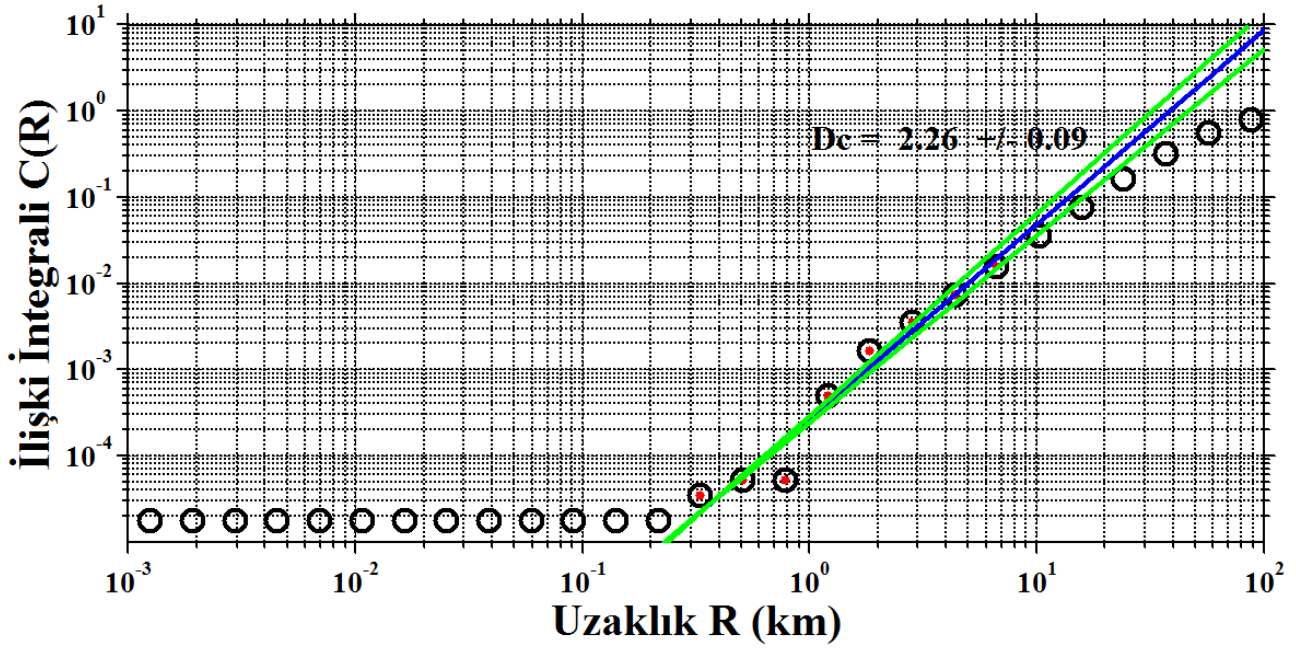
Tablo 1. Türkiye ve civarındaki 55 sismik kaynak bölgesi için deprem sayılarıyla birlikte sismotektonik parametreler b ve D_c -değerleri.

Bölge	Tektonik Yapı	Deprem Sayısı	b -değeri	D_c -değeri
1	Kuzey Doğu Anadolu Fay Zonu (KDAFZ)	338	0.62±0.03	2.26±0.09
2	(Horosan Fayı, Dumlu ve Çobandede Fay Zonları)	1234	1.05±0.03	2.08±0.07
3	Ağrı, Tutak, Balıklıgöl ve Kağızman Fayları (ATBKF)	219	0.86±0.06	2.30±0.04
4	Iğdır, Doğubeyazıt ve Çaldıran Fayaları (IDÇF)	268	0.63±0.03	2.23±0.02
5	Başkale, Erciş, Muradiye ve Süphan Fayları (BEMSF)	159	0.98±0.09	2.09±0.03
6	Hasan Timur Fay Zonu (HTFZ)	350	0.95±0.05	2.12±0.03
7	Malazgirt ve Bulanık Fayları (MBF)	320	1.13±0.07	2.08±0.04
8		442	1.05±0.06	2.08±0.04
9	Bitlis-Zagros Bindirme Zonu (BZBZ)	238	0.77±0.05	2.28±0.01
10	(Kavakbaşı Fayı, Muş Bindirme Zonu)	116	1.21±0.10	2.03±0.01
11	Yüksekova-Şemdinli Fay Zonu)	254	0.63±0.04	2.28±0.05
12		251	0.83±0.06	2.25±0.05
13	Karacadağ Genişleme Bölgesi	110	1.17±0.04	2.00±0.03
14	(KGB)	510	1.49±0.08	1.94±0.04
15	Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)	2272	0.96±0.02	2.11±0.06
16	Ölü Deniz Fay Zonunun Bir Bölümünün	298	0.84±0.05	2.31±0.06
17	Bağlantı Noktası ve DAFZ	1118	0.93±0.04	2.12±0.03
18	Kıbrıs'ın Kuzey Kısmı	179	1.61±0.05	2.00±0.03
19	Kıbrıs Yayınının Doğu Kısmını İçeren	369	1.20±0.07	2.07±0.02
20	Güney Kesimi	340	1.28±0.05	1.99±0.04
21	Kıbrıs Yayınının Batı Kısmı	350	1.05±0.07	2.10±0.03
22		1161	1.15±0.05	2.10±0.02
23	Acıgöl, Dinar ve Çivril Fayları (ADÇF)	2154	1.36±0.09	2.06±0.04
24	Muğla ve Rodos Bölgesi	1534	1.64±0.09	1.94±0.04
25		5392	1.38±0.09	1.97±0.03
26	Ege Yayı	1914	1.38±0.09	2.21±0.03
27	Burdur Fay Zonu (BFZ)	1787	1.01±0.02	2.15±0.05
28	Büyük ve Küçük Menderes	3428	1.24±0.08	2.02±0.04
29	Grabenleri (BKMG)	1408	1.34±0.07	2.08±0.04
30	Aliağa ve Dumlupınar Fayları (ADF) ve	926	1.30±0.07	2.08±0.04
31	Zeytindağ-Bergama Fayları (ZBF)	3770	1.13±0.02	2.10±0.07
32	Alaşehir ve Gediz Grabenleri (AGG)	1782	1.24±0.06	2.03±0.02
33	Sultandağı, Beyşehir ve Tatarlı Fayları (SBTF)	3252	1.35±0.05	2.05±0.04

Tablo 1'in devamı

34	Kütahya ve Simav Grabenleri	10328	1.15±0.01	2.08±0.05
35	(KSG)	8036	1.62±0.04	2.03±0.05
36		6422	1.93±0.05	1.95±0.07
37	Soma ve Bakırçay Grabenleri (SBG)	1710	1.65±0.08	2.04±0.05
38		1168	1.18±0.04	2.06±0.05
39	Eskişehir, İnönü-Dodurga ve Kaymaz Fayları (EİDKF)	2527	1.41±0.03	1.98±0.05
40	Manyas ve Ulubat Fayları (MUF)	1432	1.44±0.03	2.04±0.04
41	Yenice-Gönen ve Sarıköy Fayları (YGSF)	4220	1.41±0.04	2.03±0.04
42	Etili Fayı (EF)	1398	1.65±0.07	1.92±0.04
43	Kuzey Anadolu Fay Zonunun	1378	1.10±0.07	2.10±0.06
44	Marmara Kısmı	7859	1.26±0.02	2.05±0.03
45	(MKAFZ)	1430	1.35±0.07	2.05±0.03
46	Düzce Fayı (DF)	2011	1.02±0.03	2.14±0.05
47	İsmetpaşa Segmenti (IS)	1684	1.38±0.09	2.04±0.05
48	Yağmurlu-Ezinepazarı Fay Zonu (YEFZ)	1369	1.04±0.03	2.10±0.04
49	Kuzey Anadolu Fay Zonunun Doğu Kısmı (DKAFZ)	794	1.03±0.05	2.13±0.03
50	(Bingöl-Karakoçan, Sancak-Uzunpınar Fay Zonları)	2236	0.87±0.07	2.28±0.06
51	Ovacık ve Malatya Fay Zonu (OMFZ)	1340	1.20±0.04	2.05±0.03
52	Sürgü Fayı (SF)	577	1.06±0.05	2.06±0.03
53	Orta Anadolu Fay Zonu (OAFZ)	659	1.27±0.05	1.99±0.03
54	(Yakapınar-Göksun ve Yıldızeli Fay Zonları)	738	1.25±0.04	2.02±0.03
55	Tuzgözü Fay Zonu (TFZ)	2178	1.19±0.03	2.03±0.06

Şekil 2a. 1. Bölge için magnitüd-kümülatif deprem sayısı ilişkisi ve *b*-değeri.



Şekil 2b. 1. Bölge için standart sapma ile birlikte (yeşil çizgiler) fraktal dağılım D_c -değeri.

3. Sismotektonik Parametrelerin Tanımlanması

Depremlerin uzay ve zamanda, enerjilerine göre düzensiz olarak dağılım gösterdikleri iyi bilinir. Doğal olayların geometrilerinin fraktal tanımının (Mandelbrot, 1982) ortaya konulmasından sonra, deprensellik gibi çoğu karmaşık uzay-zaman olgularının tanımlanabileceği ve güç yasası ölçekleriyle birlikte fraktal parametreler açısından yorumlanabileceği ifade edilmiştir (Öncel vd. 1995). Bu bölümde, depremlerin b -değeri ve fraktal boyut D_c -değerinin hesaplanması ile ilgili yöntemlerden kısaca bahsedilecektir.

3.1. Depremlerin Magnitüd-Frekans Dağılımları (Sismotektonik b -değeri)

Depremlerin magnitüd dağılımlarının modellenmesi Gutenberg-Richter yasası (G-R) ile yapılır (Gutenberg ve Richter, 1944). Depremlerin magnitüd-deprem sayısı ilişkisi aşağıdaki gibi verilir:

$$\log_{10} N(M) = a - bM \quad (1)$$

Burada $N(M)$; magnitüdü M 'den büyük ve eşit olan depremlerin kümülatif sayısıdır. b

parametresi depremlerin boyut dağılımının eğimini tanımlarken, a parametresi ise deprensellik veya deprem üretme oranı ile ilişkilidir.

b -değeri, deprenselliğin boyut-ölçek özelliklerinin tanımlanmasındaki en önemli istatistiksel parametrelerden biridir. b -değeri bölgeden bölgeye kabaca 0.3-2.0 arasında değişir. Bununla birlikte, ortalama olarak b -değerinin bölgesel ölçek tahminleri yaklaşık olarak 1'e eşittir (Frohlich ve Davis, 1993). Birçok faktör b -değerinin normalden farklılık göstermesine neden olabilir. Düşük b -değerli bölgeler ana şoktan sonra muhtemelen yüksek uygulamalı kayma gerilmesi altındayken, yüksek b -değerli bölgeler kayma meydana gelen alanlarla ilişkilidir. Bundan farklı olarak, yüksek b -değerleri, çoklu kırık alanlarının önemine işaret eden artan jeolojik karmaşıklığa sahip bölgelerle ilişkilidir. Sonuç olarak, düşük b -değeri kırıklı ortamlardaki düşük heterojeniteyle, büyük gerilme ve yamulma, büyük deformasyon hızı ve büyük faylarla ilişkilidir (Bayrak ve Öztürk, 2004).

Herhangi bir bölgedeki b -değerini hesaplamak için birçok yöntem mevcuttur. Fakat b -değerlerinin tahmini için en güçlü ve yaygın

olarak kullanılan yöntem maksimum olasılık yöntemidir (Aki, 1965):

$$b = 2.303 / (\bar{M} - M_{\min} + 0.05) \quad (2)$$

Burada \bar{M} ; ortalama magnitüd değeri ve M_{\min} ise minimum magnitüd değeridir. İkinci denklemdeki 0.05 değeri bir ilişki sabitidir. %95 güven aralığında sismik b -değerinin standart sapması, Aki (1965) tarafından önerilen $\pm 1.96b / \sqrt{n}$ denklemi kullanılarak hesaplanabilir. Bu denklemde n parametresi, tahmin yapmada kullanılan depremlerin sayısıdır. Bu ifade, $n=100$ depremi içeren tipik bir örnek için b -değeri üzerinde $\pm 0.1-0.2$ civarında bir güven limiti ortaya koyar.

3.2. Depremlerin Uzaysal Dağılımının Fraktal Boyutu (İlişki Boyutu, D_c -değeri)

Deprem dağılımlarının uzaysal modelleri ve oluşumlarının zamansal modelleri, iki-noktalı ilişki boyutu D_c kullanılarak fraktal olarak tanımlanır. İlişki boyutunun analizi, geometrik nesnelerin kendine-benzerliğinin (self-similarity) tanımlanması için güçlü bir araçtır. Grassberger ve Procaccia (1983), ilişki boyutu D_c ve ilişki toplamı $C(r)$ 'yi aşağıdaki şekilde tanımlamıştır:

$$D_c = \lim_{r \rightarrow 0} [\log C(r) / \log r] \quad (3)$$

$$C(r) = 2N_{R < r} / N(N - 1) \quad (4)$$

Burada $C(r)$; ilişki fonksiyonu, r ; iki episantr veya hiposantr arasındaki uzaklık ve N ; birbirinden $R < r$ uzaklıkla ayrılan olay çiftlerinin sayısıdır. Eğer episantr dağılımı fraktal bir yapıya sahipse, aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$C(r) \sim r^{D_c} \quad (5)$$

Burada D_c ; fraktal boyuttur veya daha kesin bir ifadeyle ilişki boyutudur. İki deprem arasındaki r uzaklığı (derece olarak) aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$r = \cos^{-1}(\cos \theta_i \cos \theta_j + \sin \theta_i \sin \theta_j \cos(\phi_i - \phi_j)) \quad (6)$$

Burada (θ_i, ϕ_i) ve (θ_j, ϕ_j) ; sırasıyla i . ve j . olayların enlem ve boylamlarıdır (Hirata, 1989). r uzaklığına ($1^\circ=111$ km olarak) karşı $C(r)$ değerleri çift logaritmik koordinatlarda çizilirse fraktal boyut D_c , pratik olarak grafiğin eğiminden hesaplanabilir.

Fraktal analiz sıkça, sismotektonik değişkenlerin kümelenmesinde ve boyut ölçek niteliklerinin tanımlanmasında kullanılır. Fraktal boyut D_c , olası kırılmayan bölgelerden kaçınmayı önlemek için hesaplanır ve bu kırılmayan bölgeler gelecekte kırılabilir potansiyel sismik boşluklar olarak ifade edilir. D_c -değeri, episantr veya hiposantr uzaklıklarıyla ve belirgin depremler arasındaki elastik etkileşimin dalgalanmalarına dayalı fiziksel modellerle ilişkilidir. Başka bir deyişle, fraktal ilişki boyutundaki değişimler esas itibariyle, fay sistemlerindeki deprem aktivitesinin heterojenite derecesinin sayısal ölçümü veya karmaşıklığına bağlıdır. Daha düşük b -değeri ile ilişkili aktif fay sistemlerindeki (daha yüksek D_c) yüksek karmaşıklığa sahip alanlarda gerilme dağılımı daha küçük yüzey alanlarının fay düzlemleri üzerinde olur (Öncel ve Wilson, 2002).

4. Bulgular ve Tartışma

Daha öncede ifade edildiği gibi, bu çalışmanın temel amacı, Türkiye depremleri için b -değeri ile D_c -değeri arasında güncel ve güvenilir bir ilişki hesaplamaktır. İki sismotektonik parametre arasındaki en uygun ilişkiyi bulabilmek amacıyla, L_2 Norm veya *En Küçük Kareler Yöntemi* (Cadzow, 2002), L_1 Norm veya *En Küçük Toplamlı Mutlak Sapma* (Giloni ve Padberg, 2002), *Toplam En Küçük Kareler* veya *Ortogonal Regresyon* (Carrol ve Ruppert, 1996) ve *Robust Regresyon* (Huber, 1964) olmak üzere dört farklı yöntem test edilmiştir. Bununla birlikte, verilen bir veri grubu için parametre tahmin tekniklerinin veya uygun dağılımın seçiminde belirgin bir kural yoktur ve farklı dağılımlar uygulanarak en iyi modeller seçilebilir. Birçok olayda uygun dağılımın seçimi, uyum kalitesinin değerlendirilmesine dayalı olarak yapılır. Mühendislik çalışmalarında kullanılan birkaç uyum kalitesi tekniği geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında seçim

kriteri olarak, *ilişki katsayısı* (R^2 veya bazen r kullanılır) güçlü ve kabul edilebilir bir yöntem olarak bilinmektedir (Greene, 1997). r yalnızca kovaryans (öz ilişki) hatasına bağlı olmasına rağmen model uyum değerlendirmesinde önemli bir rol oynar. İlişki katsayısı, konum ve ölçekte değişmez ve istatistiksel olarak standart sapma ve ortalamasından bağımsızdır. Netice olarak, r olasılık çiziminin doğrusallığını ölçer ve uyumun nitel bir değerlendirmesine olanak sağlar. Eğer r , 1'e yakın ise gözlemlerin uyumlu dağılım gösterdiği kabul edilir (Heo vd. 2008).

Ek Küçük Kareler Regresyonu (L_2 Norm), en iyi bilinen en eski ve en çok kullanılan faydalı bir eğri uydurma tekniğidir. L_2 Norm, en küçük kareler optimizasyonunun en temel şeklidir ve L_2 Normunun temel doğrusal-cebirsal problemleri için örnekleme algoritmaları, en temel regresyon problemlerinden bir tanesidir. Dolayısıyla, birçok farklı bilimsel alan yanında matematik ve istatistiksel veri analizinde çok sayıda uygulamaları mevcuttur. Bu istatistiksel doğrusal regresyon modeli yaklaşık 200 yılı aşkın bir süredir yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Hata terimi ε 'nin normal (Gauss veya üstel) dağılım gösterdiği varsayımı altında etkili bir istatistiksel yaklaşımdır. Doğrusal regresyon modelinin istatistiksel özellikleri yanında, verinin uyumu, regresyon katsayılarının alt setinin ve/veya özgün bir kalitenin değerlendirilmesi için oluşturulur. Sonuç olarak bu yaklaşım, sabit sayıdaki dış değerlere sahip büyük örnekleri içeren çok büyük veri setlerinin çalışılmasını içeren durumlarda kısmen faydalı bir değerlendirme yöntemi olarak kullanılabilir (Cadzow, 2002; Durio ve Isaia, 2003).

En küçük kareler doğrusal eğri uydurma tahminlerinin verideki anormal gözlemlere karşı oldukça hassas olduğu bilinir ve bunun bir sonucu olarak ta çok daha güçlü tahminler alternatif modeller olarak üretilmiştir. İlk üretilen yöntemlerden bir tanesi de **En Küçük Toplamı Mutlak Sapma (L_1 Norm)** regresyonudur. Burada regresyon katsayısı, rezidüellerin tüm değerlerinin toplamının minimum yapılması ile tahmin edilir. L_1 regresyonu, birçok araştırmacı tarafından 1960'lı yıllardan sonra yeni bir çözüm yöntemi olarak önerilmiştir (Blattberg ve

Sargent, 1971; Huber, 1987). L_1 regresyonu, en küçük karelere daha güçlü bir alternatif olarak büyük oranda kullanılmaz. Çünkü tek bir gözlemden bile güçlü bir şekilde etkilenir. L_1 regresyonu için asimptotik teori L_2 regresyonu kadar iyi gelişmemiştir. Bu bir dereceye kadar doğru olmakla birlikte yüksek analizli regresyon tahminleri içinde doğrudur. Ayrıca, L_1 regresyon tahmini, anormal tahminli gözlemler için her zaman güçlü bir analiz yöntemi değildir. Yani, düşük bir analiz noktasına sahiptir (Cadzow, 2002; Giloni ve Padberg, 2002).

Basit doğrusal regresyon modellerinde değişken tahminlerindeki hatalar için en yaygın olarak bilinen tekniklerden bir tanesi de **Ortogonal Regresyon (Toplam En Küçük Kareler)** yöntemidir. Bazen bilinen hata değişim oranının sınırlı olması durumunda **fonksiyonel maksimum olasılık tahmini** olarak ta isimlendirilir. Olağan doğrusal regresyon analizlerinde amaç, uyumlu eğri üzerindeki ilişkili y değerleri ile x veri değerleri arasındaki düşey uzunlukların karelerinin toplamını minimum yapmaktır. Ortogonal regresyon analizinde ise amaç, veri noktalarından uyumlu eğriye olan ortogonal (dik) uzaklıkları minimum yapmaktır. Dolayısıyla, varsayım geçerli ise, ortogonal regresyon mükemmel olarak kabul edilebilecek bir tahmin değerlendirme yöntemidir. Bununla birlikte bu yöntem hesaplamalardaki denklem hatalarını dikkate almaz. Bu iyi bilinen ortogonal regresyon tahmini eski bir yöntemdir ve birçok çalışmada kullanılmıştır (Carrol ve Ruppert, 1996; Leng vd. 2007). Ortogonal regresyon, sadece ölçüm hata değişim oranının olağan tahmini değildir ve bu kullanımı dikkatli bir denklem hata değerlendirmesini içermelidir.

En küçük kareler regresyonundaki en ciddi problem dış değerlerin çok güçlü olmamasından kaynaklanır. Eğer, kötü veri noktası sadece bir değer bile olsa bu değer çözüm üzerinde güçlü bir etkiye sebep olacaktır çünkü dış değerler regresyon parametreleri üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Basit bir çözüm, kötü uyumlu veri noktasını tekrarlı olarak hesap dışı bırakmak ve kalan veriyi kullanarak en küçük kareler uyumunu yeniden hesaplamaktır. Diğer bir yaklaşım ise **Robust Regresyon** olarak

isimlendirilen ve anormal veri için en küçük kareler kadar kullanışlı olmayan bir uyum kriterini kullanmaktır. Robust regresyon için en yaygın genel yöntem Huber (1964) tarafından tanımlanan M -tahminidir. Doğrusal olmayan regresyon modelleri birçok alanda önemli bir rol oynar. Doğrusal olmayan bir modelin parametrelerin tahmini için klasik en küçük kareler (veya maksimum olasılık) yöntemi birçok durumda yaygın olarak kullanılır. Bununla birlikte, bu klasik yöntemlerin dış değerlere ve belli başlı dağılımlardan olan diğer uzaklıklara çok hassas olduğu bilinir. Regresyon modellerinin tahmininde çoğu güçlü gelişmeler, maksimum olasılık yöntemleri veya en küçük karelerin genelleştirilmesine dayalıdır (Glioni vd. 2006). Robust regresyon yöntemi bu uç değerlerden çok az etkilenir. Bununla birlikte, Robust regresyon tahminlerinin davranış değerlendirmesinde küçük örnekli asimptot teknikleri çok faydalıdır. Robust regresyon tahmininin kullanımı Huber (1964)'ten başlar.

Şekil 3, Türkiye depremleri için b -değeri ile D_c -değeri arasındaki tüm regresyon analizlerini ilişki katsayıları ile birlikte göstermektedir. Dört farklı regresyon yöntemi için dört farklı ampirik

ilişki elde edilmiştir. Tüm regresyonlar için doğrusal ilişkiler kullanılmış ve aşağıdaki eşitlikler elde edilmiştir:

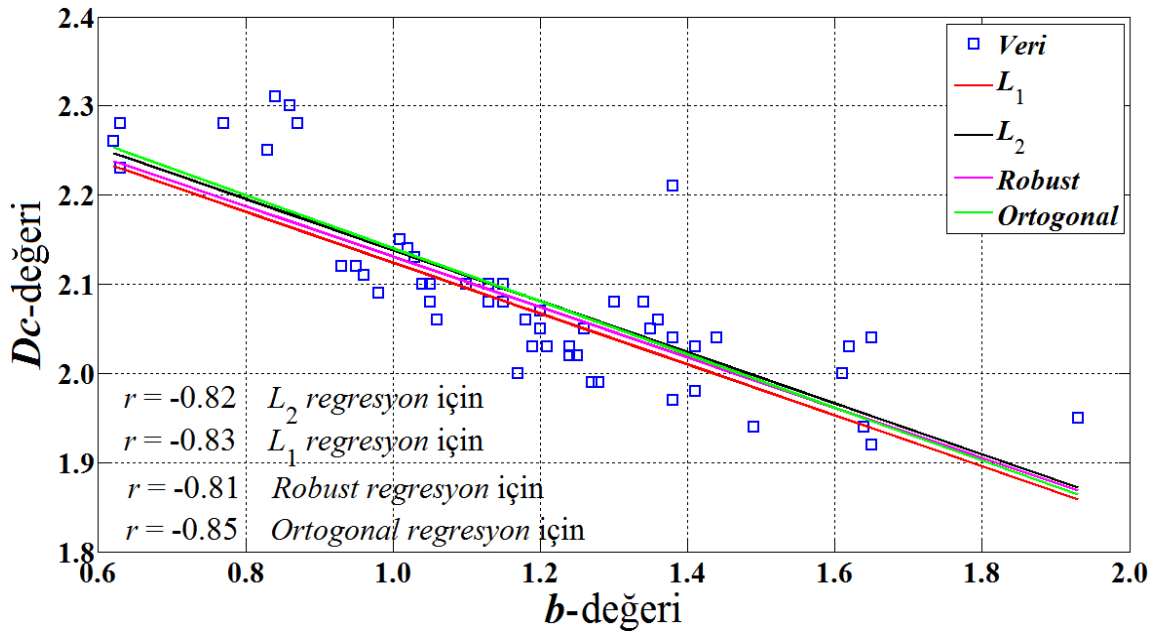
$$D_c = 2.41 - 0.29 * b, L_1 \text{ Norm regresyon için (7)}$$

$$D_c = 2.42 - 0.29 * b, L_2 \text{ Norm regresyon için (8)}$$

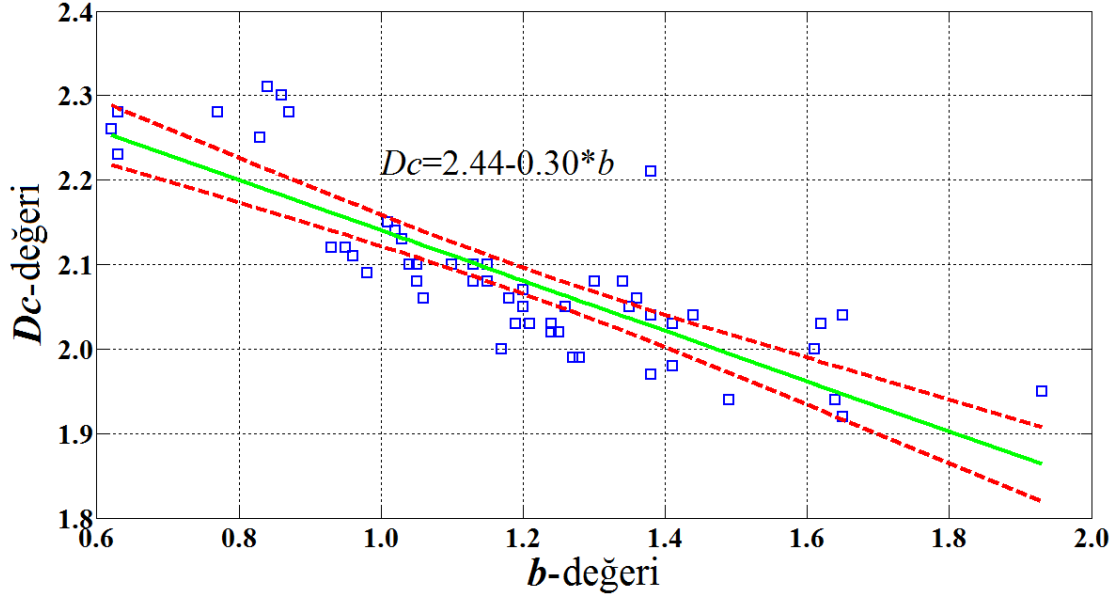
$$D_c = 2.41 - 0.28 * b, \text{ Robust regresyon için (9)}$$

$$D_c = 2.44 - 0.30 * b, \text{ Ortogonal regresyon için (10)}$$

Şekil 3'de görüldüğü gibi farklı regresyonlar için ilişki katsayıları, L_1 ($r=-0.82$) Norm, L_2 ($r=-0.83$) Norm, Robust regresyon ($r=-0.81$) ve Ortogonal regresyon ($r=-0.85$) arasında birbirine oldukça yakındır. Bununla birlikte, Ortogonal regresyon $r=-0.85$ ilişki katsayısıyla diğer regresyonlardan daha iyidir. Ayrıca, Ortogonal regresyon için D_c - b ilişkisi ile birlikte % 95 güven aralığı Şekil 4'te gösterilmiştir. Güven sınırları içerisindeki depremlerin sayısı L_1 ve L_2 Norm regresyonlar için 15, Robust regresyon için 16 ve Ortogonal regresyon için 17 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3. 1970-2011 yılları arasında Türkiye’de meydana gelmiş depremler için b -değeri ile D_c -değeri arasındaki ilişki. Tüm regresyonlar farklı renklerle verilmiştir.



Şekil 4. Ortogonal regresyon uyumu, güven aralığı ve D_c - b ilişkisi. Yeşil düz çizgi regresyon uyumunu, kırmızı kesikli çizgi ise %95 güven aralığını göstermektedir.

Sismik b -değeri ile fraktal dağılım D_c arasındaki istatistiksel ilişki üzerine Türkiye ve dünyada yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Aki (1981), b -değeri ile D_c -değeri arasında $D=2b$ olarak pozitif bir ilişki önermiş fakat literatürde son yıllarda hem pozitif hem de negatif ilişkiler hesaplanmıştır. Bazı durumlarda ise, b -değeri ile D_c -değeri arasındaki ilişki pozitif bir ilişkiden negatif bir ilişkiye bile değişebilmektedir (Öncel ve Wilson 2002; Öncel ve Wilson, 2007). Hirata (1989), $D=2b$ olarak Aki (1981) tarafından verilen ilişkinin aksine Japonya'da Tohoku bölgesinde bu iki parametre arasında $D_c=2.3-0.73*b$ olarak negatif bir ilişki ($r=-0.77$) ifade etmiştir. Henderson vd., (1992), güney Kaliforniya için Riverside kataloğunu kullanarak 1.3'ten büyük yerel depremler için 1970-1990 yılları arasında yakın sonuçlar elde etmişlerdir. Benzer şekilde, Türkiye'de Kuzey Anadolu Fay Zonu'nda Öncel vd., (1995) tarafından yapılan bir depremsellik çalışması b -değeri ile D_c -değeri arasında negatif bir ilişki ortaya koymuştur. b -değeri ile D_c -değeri arasında oldukça düşük bir

negatif ilişki katsayısına ($r=-0.56$) sahip olarak kuzey Ege denizi içine alan bölge için $D_c=2.74-1.52*b$ ilişkisini önermişlerdir. Ayrıca, Öncel vd., (1996), Kuzey Anadolu Fay Zonu için oldukça güçlü bir negatif ilişkiye ($r=-0.85$) sahip $D_c=2.32-1.09*b$ ilişkisini ortaya koymuşlardır. Bu çalışmaların aksine, Öncel ve Wilson (2002), Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun batısında b -değeri ile D_c -değeri arasında oldukça düşük bir pozitif ilişki ($r=0.48$) önermişlerdir. Öncel ve Wilson (2004), 1999 İzmit depremini takiben Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca b -değeri ile D_c -değeri arasında güçlü bir pozitif ilişki ($r=0.81$) ortaya koymuşlardır. Bununla birlikte Öncel ve Wilson (2007), güney batı Türkiye için, 1992-1994.4 yılları arasında b -değeri ile D_c -değeri için güçlü bir pozitif ilişki ($r=0.84$) ve yine 1996.6-1998.2 arasında güçlü bir pozitif ilişki ($r=0.94$) hesaplarken, 1994.5-1996.5 yılları arasında ise negatif bir ilişki ($r=-0.71$) önermişlerdir. Farklı araştırmacılar tarafından verilen bu ilişkilere ait bazı örnekler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. b -değeri ile D_c -değeri arasındaki ilişkiler üzerine bazı örnekler.

Kaynak	İlişki
Aki, (1981)	$D=2*b$
Hirata, (1989)	$D_c=2.3-0.73*b$
Öncel vd., (1995)	$D_c=2.74-1.52*b$
Öncel vd., (1996)	$D_c=2.32-1.09*b$
Öncel ve Wilson, (2002)	Pozitif ilişki
Öncel ve Wilson, (2004)	Pozitif ilişki
Öncel ve Wilson, (2007)	Pozitif ve negatif ilişki

Yukarıda da ifade edildiği gibi, b -değeri ile D_c -değeri arasında dünyanın ve Türkiye'nin farklı bölgeleri için birçok eşitlik mevcuttur ve farklı araştırmacılar farklı ilişkiler önermişlerdir. Bu çalışmada, Türkiye depremlerinin fraktal boyutu D_c ile depremsellik parametresi b -değeri arasındaki en uygun ampirik ilişkiyi belirleyebilmek için dört farklı regresyon yöntemi test edilmiştir. Hangi ilişkinin daha güvenilir olduğuna karar verebilmek için ilişki katsayısı dikkate alınmıştır. Bu kritere göre, Türkiye depremleri için, $r=-0.85$ gibi güçlü bir negatif ilişki katsayısına sahip olan ve ortogonal regresyon ile verilen $D_c = 2.44 - 0.30*b$ (10. eşitlik) ilişkisi önerilmiştir. Genel bir ifadeyle, tüm regresyonlardan elde edilen denklemler ve ilişki katsayıları birbirine oldukça yakındır. Bununla birlikte, Şekil 3 ve Şekil 4'te görüldüğü gibi ilişki katsayısı ve güven aralığı içerisindeki depremlerin sayısı Ortogonal regresyonda en yüksek olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla, L_1 Norm, L_2 Norm ve Robust regresyona kıyasla daha nitel bir değerlendirme sağlar. Ayrıca bu sonuç, literatürde verilen sonuçlarla da uyumludur.

4. Sonuç

Sismik olaylardaki farklı oluşumlar, ölçekten bağımsız olarak uzaysal ve zamansal dağılım sergilerler ve fay ve deprem dağılımları ile deprem oluşumlarının zamansal modellerini içerirler. Bu gözlemler, çoğu doğal kırık sisteminin ve deprem oluşumlarının tanımlanabileceğini ve bunların fraktal geometri açısından yorumlanabileceğini ortaya koymuştur. Bu çalışmada, Türkiye depremleri için iki

sismotektonik parametre b ve D_c -değeri arasında uygun ve güvenilir bir ilişki ortaya koyabilmek amacıyla, 1970-2011 yılları arasındaki depremler kullanılarak istatistiksel bir analiz yapılmıştır. Türkiye ve civarı için M_D 'ye göre homojen olan ve 99737 depremi içeren bir katalog kullanılmış ve detaylı analizler için Türkiye 55 farklı tektonik bölgeye ayrılmıştır. b -değerinin hesabı için maksimum olasılık yöntemi, D_c -değerinin hesabı içinse %95 güven sınırları içerisinde doğrusal regresyon kullanılmıştır.

İki sismotektonik parametre arasındaki ilişki için, dört farklı regresyon arasında detaylı bir karşılaştırma yapılmıştır. Tahmin yöntemleri olarak (1) L_2 Norm veya *En Küçük Kareler Yöntemi*, (2) L_1 Norm veya *En Küçük Toplamlı Mutlak Sapma*, (3) *Toplam En Küçük Kareler* veya *Ortogonal Regresyon* ve (4) *Robust Regresyon* olmak üzere dört farklı yöntem kullanılmıştır. Doğrusal ilişkilerin uyum kalitesini belirlemek ve veri grubu için en iyi ampirik ilişkiyi belirleyebilmek için basit ancak çok kullanışlı bir araç olarak ilişki katsayısı dikkate alınmıştır. Sonuç olarak, Türkiye depremleri için b -değeri ile D_c -değeri arasında güçlü bir negatif ilişki ($r=-0.85$) vardır ve Ortogonal regresyon ile $D_c = 2.44 - 0.30*b$ olarak verilen bu ilişki oldukça güncel ve güvenilir olarak ifade edilebilir. Ayrıca, bu sonuçlar dünyanın ve Türkiye'nin farklı bölgeleri için hesaplanan değerlerle uyumludur.

Teşekkür

İstatistiksel regresyon yöntemlerinin algoritmalarının modellenmesinde yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Hakan Karşlı (KTÜ)'ya, yapıcı tavsiyelerde bulunan hakem kuruluna ve editöre teşekkür ederim. Bu çalışmada kullanılan istatistiksel programlar, Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (GÜBAP) tarafından desteklenen 2012.02.1717.2 nolu proje kapsamındadır.

Kaynaklar

- Aki, K., 1965. Maximum likelihood estimate of b in the formula $\log N = a - bM$ and its confidence limits, Bull. Earthq. Res. Inst. Tokyo Univ., 43, 237-239.
- Aki, K., 1981. Earthquake prediction, American Geophys. Union, vol 4. Washington, pp 566-574.
- Bayrak, Y. ve Öztürk, S., 2004. Spatial and temporal variations of the aftershock sequences of the 1999 İzmit and Düzce earthquake, Earth Planets Space. 56, 933-944.
- Bayrak, Y., Öztürk, S., Çınar, H., Kalafat, D., Tsapanos, T.M., Koravos, G.Ch. ve Leventakis, G.A., 2009. Estimating earthquake hazard parameters from instrumental data for different regions in and around Turkey, Engineering Geology, 10, 200-210.
- Blattberg, R.C., ve Sargent, T., 1971, Regression with non-Gaussian stable disturbances: Some sampling results, Econometrica, 39, 501-510.
- Cadzow, J.A., 2002. Minimum l_1, l_2 and l_∞ norm approximate solutions to an over determined system of linear equations, Digital Signal Processing, 12, 524-560.
- Caneva, A. ve Smirnov, V., 2004. Using the Fractal Dimension of Earthquake Distributions and Slope of the Recurrence Curve to Forecast Earthquakes in Colombia, Earth Science Research Journal, 8(1), 3-9.
- Carrol, R.J. ve Ruppert, D., 1996, The use and misuse of orthogonal regression estimation in linear errors-in-variables models, The American Statistician, 50, 1-6.
- Durio, A., ve Isaia, E.D., 2003, Parametric Regression Models by Minimum L_2 Criterion. A Study on the Risks of Fire and Electric Shocks of Electronic Transformers, Developments in Applied Statistics, 19, 69-83.
- Erdik, M., Alpay, B.Y., Onur, T., Sesetyan, K. ve Birgoren, G., 1999, Assessment of earthquake hazard in Turkey and neighboring regions, Annali di Geofisica, 42, 1125-1138.
- Frohlich, C. ve Davis, S., 1993. Teleseismic b -values: Or, much ado about 1.0, Journal of Geophysical Research, 98 (B1), 631-644.
- Giloni, A. ve Padberg, M., 2002. Alternative methods of linear regression, Mathematical and Computer Modeling, 35, 361-374.
- Giloni, A., Simonoff, J.S., ve Sengupta, B., 2006, Robust weighted LAD regression, Computational Statistics & Data Analysis, 50, 3124-3140.
- Grassberger, P. ve Procaccia, I., 1983. Measuring the strangeness of strange attractors, Physica, 9(D), 189-208.
- Greene, W.H., 1997, Econometric Analysis, 5th edn, pp. 1026, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Gutenberg, R. ve Richter, C.F., 1944. Frequency of earthquakes in California, Bull. Seismol. Soc. Am., 34: 185-188.

- Henderson, J., Main, I.G., Meredith, P.G. ve Sammonds, P.R., 1992. The evolution of seismicity-observation, experiment and a fracturemechanical interpretation. J. Struct. Geol., 14, 905-913.
- Heo, J.H., Kho, Y.W., Shin, H., Kim, S. ve Kim, T., 2008. Regression equations of probability plot correlation coefficient test statistics from several probability distributions, Journal of Hydrology, 355, 1-15.
- Hirata, T., 1989. Correlation between the *b*-value and the fractal dimension of earthquakes, J. Geophys. Res., 94, 7507-7514.
- Huber, P.J., 1964. Robust estimation of a location parameter, Annals of Mathematical Statistics, 35, 73-101.
- Huber, P.J. 1987, The place of the L_1 norm in robust estimation. In: Dodge, Y. (Ed.), Statistical Data Analysis Based on the L_1 norm and Related Methods, North-Holland, Amsterdam.
- Jiménez., M.,J., Giardini, D., Grünthal, G., ve Sesame Working Group (Erdik, M., García-Fernández, M., Lapajne, J., Makropoulos, K., Muson, R., Papaioannou, Ch., Rebez, A., Riad, S., Sellami, S., Shapira, A., Slejko, D., Van Eck, T. ve El Sayed, A.) 2001. Unified seismic hazard modelling throughout the Mediterranean region, Bolletino Di Geophysica Teorica Ed Applicata, 42, 1-2, 3-18.
- Kagan, Y.Y. ve Knopoff, L., 1980. Spatial distribution of earthquakes: the two point correlation function, Geophys. J. R. Astron. Soc., 62, 303-320.
- Kayabalı, K., 2002. Modeling of seismic hazard for Turkey using the recent neotectonic data, Engineering Geology, 63, 221-232.
- Leng, L., Zhang, T., Kleinman, L., ve Zhu, W., 2007, Ordinary Least Square Regression, Orthogonal Regression, Geometric Mean Regression and their Applications in Aerosol Science, Journal of Physics, Conference Series 78, doi:10.1088/1742-6596/78/1/012084.
- Mandelbrot, B.B., 1982. The fractal Geometry of Nature, Freeman Press, San Francisco.
- Öncel, A.O., Alptekin, Ö. ve Main, I.G., 1995. Temporal variations of the fractal properties of seismicity in the western part of the North Anatolian fault zone: possible artifacts due to improvements in station coverage, Nonlinear Processes Geophys., 2, 147-157.
- Öncel, A.O., Main, I.G., Alptekin, Ö. ve Cowie, P.A., 1996. Temporal variations of the fractal properties of seismicity in the north Anatolian fault zone between 31°E and 41°E. Pure Appl. Geophys., 146, 148-159.
- Öncel, A.O. ve Wilson, T.H., 2002. Space-time correlations of seismotectonic parameters: Examples from Japan and from Turkey preceding the Izmit earthquake, Bull. Seism. Soc. Am., 92(1), 339-349.
- Öncel, A.O. ve Wilson, T.H., 2004. Correlation of seismotectonic variables and GPS strain- measurements in western Turkey, J. Geophys. Res. 109 (B11), B11306.
- Öncel, A.O. ve Wilson, T.H., 2007, Anomalous seismicity preceding the 1999 Izmit event, NW Turkey, Ggeophys. J. Int. DOI: 10.1111/j.1365-246X.2006.03298.x.
- Öztürk, S., 2009. Deprem Tehlikesi ve Artçışok Olasılığı Değerlendirme Yöntemlerinin Türkiye'deki Depremlere Bir Uygulaması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 346s.
- Öztürk, S., 2011. Characteristics of Seismic Activity in the Western, Central and Eastern Parts of the North Anatolian Fault Zone, Turkey: Temporal and Spatial Analysis, Acta Geophysica, 59 (2), 209-238.
- Roy, S., Ghosh, U., Hazra, S. ve Kayal, J.R., 2011. Fractal dimension and *b*-value

mapping in the Andaman-Sumatra subduction zone, Natural Hazards, 57, 27–37.

Şaroğlu, F., Emre ,O. ve Kuşcu, I., 1992. Active fault map of Turkey, General Directorate

of Mineral Research and Exploration, Ankara, Turkey.