



Region-Time-Magnitude Analyses of the Seismicity in and around the Central Anatolian Region and Current Earthquake Potential

Serkan Ozturk¹

¹ Gumushane University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Geophysics, Baglarbasi 29100 Gumushane
ORCID: 0000-0003-1322-5164

Keywords

Central Anatolia, b-value, Dc-value, Z-value, Earthquake potential

Highlights

- * Central Anatolian Region, seismicity
- * b-value, Dc-value, Z-value, decluster of data
- * Region-time-magnitude analyses, earthquake potential

Acknowledgements

Bogazici University, Kandilli Observatory and Research Institute (KOERI) and Disaster and Emergency Management Authority (AFAD)

Aim

Analyze the region-time-magnitude variations of seismicity and present the current earthquake potential

Location

Central Anatolian Region of Turkey (CAR)

Methods

Gutenberg-Richter relation, Completeness magnitude, Fractal dimension, Standard normal deviate

Results

For earthquake distributions in and around the CAR, regional and temporal statistical analyses of seismotectonic variables such as M_c -value, b -value, D_c -value, Z -value were achieved. Correlations between these parameters can contribute to preliminary evaluation of seismic hazard potential for the CAR.

Supporting Institutions

Gumushane University

How to cite

Ozturk S., 2019. Region-Time-Magnitude Analyses of the Seismicity in and around the Central Anatolian Region and Current Earthquake Potential, Turk. J. Earthq. Res. 1 (2), 148-166

Manuscript

Research Article

Received: 07.11.2019

Revised: 28.11.2019

Accepted: 03.12.2019

Printed: 30.12.2019

DOI

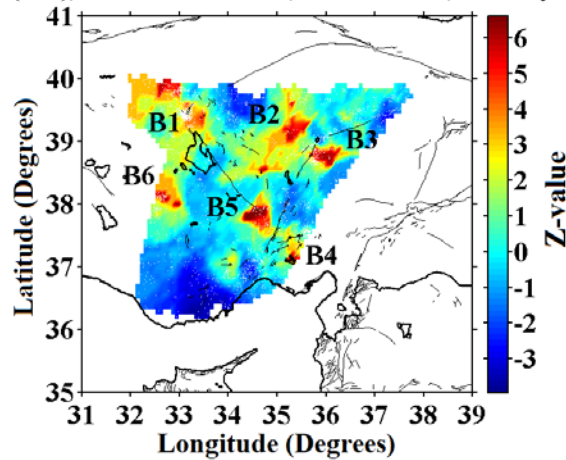
doi.

Corresponding Author

Serkan Ozturk

Email: serkanozturk@gumushane.edu.tr

(LTA); 1975.5772 to 2018.9874; cut at 2014.4874; $T_w = 4.5$ yr



Figure

Regional variations in seismic quiescence Z -value at the beginning of 2019 with $T_w=4.5$ years in and around the Central Anatolian Region



Orta Anadolu Bölgesi ve Civarındaki Depremselliğin Bölge-Zaman-Magnitüd Analizleri ve Güncel Deprem Potansiyeli

Serkan Öztürk¹

¹ *Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Bağlarbaşı 29100 Gümüşhane*
ORCID: 0000-0003-1322-5164

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin Orta Anadolu Bölgesi ve civarındaki deprem oluşumlarının detaylı istatistiksel analizlerini yapmak ve gelecekteki olası deprem bölgelerini tahmin etmektir. Bu kapsamda, Mc-değeri, b-değeri, Dc-değeri, Z-değeri gibi sismotektonik değişkenlerin bölge-zaman-magnitüd analizleri yapılarak, güncel/gelecek deprem potansiyeli ortaya konulmuştur. Mc=2.6 alınarak $b=1.26\pm 0.07$ olarak hesaplanmıştır. Bu büyük değer küçük magnitüdü depremlerin baskın olduğuna işaret etmektedir. Dc-değeri 1.31 ± 0.03 olarak hesaplanmıştır ve bu nispeten küçük değer, episantrlar arasındaki uzaklığın kümelenme çapına yaklaştığını ve deprem aktivitesinin daha küçük ölçeklerde veya daha büyük alanlarda kümelenildiğini göstermektedir. 2019 yılı başında düşük b-değerli ve yüksek Z-değerli anomali bölgeleri, Tuz Gölü Fay Zonu ve civarında, Orta Anadolu Fay Zonunda, Salanda ve Niğde faylarında gözlemlenmiştir. Önemli bir sonuç olarak, bu bölgeler gelecekteki büyük/güçlü depremler için en olası bölgeler olarak düşünülebilir.

Anahtar kelimeler

Orta Anadolu, b-değeri, Dc-değeri, Z-değeri, Deprem potansiyeli

Öne Çıkanlar

- * Orta Anadolu Bölgesi, depremsellik
- * b-değeri, Dc-değeri, Z-değeri, verilerin ayrıştırılması
- * Bölge-zaman-magnitüd analizleri, deprem potansiyeli

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 07.11.2019
Düzeltilme: 28.11.2019
Kabul: 03.12.2019
Basım: 30.12.2019

DOI

doi.

Sorumlu yazar

Serkan Öztürk
Eposta:
serkanozturk@gumushane.edu.tr

Region-Time-Magnitude Analyses of the Seismicity in and around the Central Anatolian Region and Current Earthquake Potential

Serkan Öztürk¹

¹ *Gumushane University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Geophysics, Bağlarbaşı 29100 Gumushane*
ORCID: 0000-0003-1322-5164

ABSTRACT

The purpose of this study is to make detailed statistical analyses of earthquake occurrences in and around the Central Anatolian Region of Turkey and to forecast the possible earthquake regions in the future. In this scope, by performing the region-time-magnitude analyses of sismotectonic variables such as Mc-value, b-value, Dc-value, Z-value, the current/future earthquake potential was defined. b-value was computed as 1.26 ± 0.07 by taking Mc=2.6 and this large value indicates that the earthquakes with small magnitude are dominant. Dc-value was calculated as 1.31 ± 0.03 and this relatively small value shows that distance between the epicenters approaches the diameter of cluster, and earthquake activity is more clustered in larger regions/at smaller scales. Anomaly regions with low b-value and large Z-value at the beginning of 2019 were found in and around Tuz Gölü Fault Zone, Central Anatolian Fault Zone, Salanda and Niğde faults. As an important result, these regions may be considered as the most likely regions for strong/large earthquakes in the future.

Keywords

Central Anatolia, b-value, Dc-value, Z-value, Earthquake potential

Highlights

- * Central Anatolian Region, seismicity
- * b-value, Dc-value, Z-value, decluster of data
- * Region-time-magnitude analyses, earthquake potential

Manuscript

Research Article

Received: 07.11.2019
Revised: 28.11.2019
Accepted: 03.12.2019
Printed: 30.12.2019

DOI

doi.

Corresponding Author

Serkan Ozturk
Email:
serkanozturk@gumushane.edu.tr

1. GİRİŞ

Deprem oluşumlarının bölge-zaman-magnitüd dağılımlarının istatistiksel olarak değerlendirilmesi, nicel deprensellik çalışmalarını yapabilmeye önemli bir adımdır ve çok sayıda bu tür analiz dünyanın farklı bölgeleri için farklı araştırmacılar tarafından yapılmıştır. Birçok araştırmacı, (i) deprenselliğin bölge-zaman-magnitüd dağılımları, (ii) tam olarak rapor edilen minimum magnitüdü tanımlayan tamlik magnitüdü, M_c -değeri, (iii) deprenselliğin magnitüd-frekans ilişkisini tanımlayan b -değeri, (iv) depremlerin kendine benzerliğini ifade eden fraktal boyut, D_c -değeri, (v) deprensellik oran değişimlerinin gözlenmesinde sıklıkla kullanılan parametrelerden biri olan standart normal sapma Z -değeri gibi en temel ve en çok kullanılan sismolojik parametreleri analiz ederek önemli sonuçlar ortaya koymuşlardır (Frohlich ve Davis 1993, Wiemer ve Wyss 2000, Oncel ve Wilson 2002; Polat ve diğ. 2008, Roy ve diğ. 2011, Ozturk 2013, Ali 2016, Rodriguez-Perez ve Zuniga 2018, Radziminovich ve diğ. 2019).

Detaylı istatistiksel çalışmalar, deprem oluşumlarının fraktal ve kaotik davranışlar sergilediğini ortaya koyar ve bu özellikler deprem dağılımları ile rastgeleliğini tanımlamada kullanılan karmaşık istatistiksel araçlardır. Fraktal boyut, aktif bir fay sistemindeki deprenselliğin heterojenitesini tanımlar ve heterojenitedeki bazı jeolojik, mekanik veya yapısal değişimler fraktal boyut kullanılarak açıklanabilir. Bu nedenle, depremlerin fraktal boyutu (D_c -değeri) son yıllarda etkili bir araç olarak kullanılmaktadır (Oncel ve Wilson 2004, Chen ve diğ. 2006, Pailoplee ve Choowong 2014, Ozturk 2018, Telesca ve Chen 2019). Deprem dağılımları için diğer bir ilişki magnitüd-deprem sayısını ifade eden Gutenberg-Richter (G-R) ilişkisidir (Gutenberg ve Richter 1944). İstatistiksel çalışmalar, G-R ilişkisindeki b -değerinin yalnızca küçük ve büyük depremlerin rölaf oranlarını yansıtmadığını ayrıca sismojenik ortamın özellikleriyle ve gerilmenin bölge-zaman-derinlik değişimleriyle de ilişkili olabileceğini göstermektedir. Sonuçta G-R ilişkisi, deprem oluşumlarının en iyi bilinen istatistiksel parametrelerinden biridir ve deprem dağılımlarının magnitüd-frekans ilişkisi üzerine dünyanın farklı bölgeleri için çok sayıda çalışma mevcuttur (Polat ve diğ. 2008, Ozturk 2011; 2015, Singh 2016, Chiba 2019). Bu parametrelere ek olarak, deprem aktivitesindeki bölgesel ve zamana bağlı değişimler, deprem öncülleri olarak değerlendirilmektedir. Öncü sismik durgunluk, geçmiş (background) deprensellik oranına kıyasla ortalama deprem aktivitesindeki önemli bir azalmayı tanımlar (Wyss ve Martirosyan 1998). Ana şok öncesindeki öncü durgunluklar üzerine çok sayıda çalışma mevcuttur ve bu çalışmalar ana şok oluşumundan önce odak bölgesi ve civarında deprem aktivitesinde önemli azalmalar gözlemlendiğini ortaya koyar (Console ve diğ. 2000, Wu ve Chiao 2006; Katsumata 2011, Ozturk 2017, Gentili ve diğ. 2019).

Türkiye, dünyanın en önemli deprem bölgelerinden biridir ve buna bağlı olarak da, Türkiye'nin farklı bölgelerindeki deprem potansiyelini ortaya koyabilmek için, deprem oluşumlarının istatistiksel davranışları üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. Türkiye'nin Orta Anadolu Bölgesinin (OAB), kısa/orta vadede güçlü/büyük deprem oluşumları açısından önemli bir deprem potansiyeline sahip olmadığı bilinmektedir (Kahraman ve diğ. 2008). Bununla birlikte, 21 Nisan 1983 Bala-Ankara ($M=5.0$), 20 Aralık 2007 Bala-Ankara ($M=5.7$), 27 Aralık 2007 Bala-Ankara ($M=5.5$) ve 10 Ocak 2016 Hacıduraklı-Kırşehir ($M=5.1$) depremleri gibi geçmişte ve son yıllarda birkaç güçlü deprem meydana gelmiştir. Ayrıca, OAB için sismik ve tektonik parametreler arasındaki olası ilişkileri ortaya koyan bu tür değerlendirmeler oldukça azdır. Dolayısıyla bu çalışma, 2019 yılı itibarıyla OAB ve civarındaki deprenselliğin bölge-zaman-magnitüd analizlerinin yapılması ile bu bölgedeki güncel ve gelecek deprem potansiyeli için farklı bakış açıları sağlayacaktır. Bu kapsamda, G-R ilişkisi, fraktal boyut, tamlik magnitüdü, öncü sismik durgunluk gibi en temel ölçeklendirme parametreleri üzerine detaylı istatistiksel bir

değerlendirme yapılmıştır. Sonuçta bu analizler, depremlerin tahmini üzerine çalışan araştırmacılar için önemli ipuçları sağlayabilir ve bu bölge için gelecek deprem oluşumlarının belirlenmesinde istatistiksel bir değerlendirmenin gerçekleştirilmesine katkıda bulunabilir.

2. ANALİZ YÖNTEMLERİ

OAB ve civarındaki deprem oluşumlarının istatistiksel özellikleri, magnitüd-deprem sayısı dağılımının b -değeri, deprem oluşumlarının fraktal boyutu D_c -değeri, standart normal sapma Z -değeri (sismik durgunluk) ve tamlik magnitüdü gibi en sık kullanılan sismotektonik parametrelerle tanımlanmıştır. Bu parametrelerin değerlendirilmesi deprem aktivitesinin bölge-zaman-magnitüd değişimlerinin tartışılması ile gerçekleştirilmiştir.

2.1) Magnitüd-Deprem Sayısı İlişkisi (G-R İlişkisi, b -değeri) ve Tamlik Magnitüdü (M_c -değeri)

Deprem istatistiğinin temel bağıntısı, Gutenberg-Richter ilişkisi (Gutenberg ve Richter 1944) olarak bilinir. Bu deneysel ilişki, deprem oluşumlarının magnitüd-deprem sayısı dağılımını tanımlar ve matematiksel olarak aşağıdaki denklemlerle verilir:

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

Burada $N(M)$ magnitüdü M 'den büyük veya eşit olan depremlerin kümülatif sayısı, a ve b -değerleri ise sabitlerdir. a -değeri sismik aktivite seviyesindeki değişimleri gösterirken, magnitüd-deprem sayısı dağılımının eğimi b -değeri ile verilir. a -değeri farklı bölgeler için önemli değişimler gösterir ve bu değişimler çalışma alanının uzunluğuna, kataloğun periyoduna ve deprem sayısına oldukça bağlıdır. b -değeri küçük ve büyük depremlerin rölatif sayılarıyla ilişkili olmasına rağmen, b -değerindeki değişimleri etkileyen birçok faktör mevcuttur. Laboratuvar çalışmaları, b -değerindeki bir azalmanın, kayma gerilmesindeki bir artışla ve basınçtaki bir azalmayla ilişkili olduğunu ortaya koymuştur (Scholz 1968, Utsu 1971, Frohlich ve Davis 1993). Ayrıca, çatlak yoğunluğu, termal değişimler, jeolojik yapılar, fay uzunluğu, malzeme özellikleri, kayma dağılımları ve yamulma koşulları b -değerinde önemli değişimlere neden olur. b -değeri dünyanın farklı bölgeleri için 0.3-2.0 arasında değişim gösterir (Utsu 1971). Bununla birlikte, G-R bağıntısındaki ortalama b -değeri yaklaşık 1.0 olarak kabul edilir (Frohlich ve Davis 1993).

Tamlik magnitüdü (kesme magnitüdü veya süreklilik magnitüdü), verinin %90-95'inin bir güç yasası ile temsil edilebildiği magnitüd değeri olarak verilir ve özellikle deprenselliğin magnitüd-deprem sayısı dağılımının araştırılması olmak üzere deprensellik çalışmalarındaki en önemli parametrelerden biridir. Çünkü deprensellik çalışmalarında yüksek kalitede ve doğru sonuçların hesaplanabilmesi için, maksimum veri sayısının kullanılması önemlidir. M_c -değerini tahmin edebilmek için magnitüde karşı G-R dağılımı ve M_c -değerindeki değişimi ortaya koyabilmek içinse hareketli bir zaman penceresi yaklaşımı kullanılır (Wiemer ve Wyss 2000). M_c -değerinin tahmini, magnitüd-deprem sayısı dağılımına ve M_c -değerinin yaklaşık ilk dizisi olarak bu dağılımın ilk türevinin maksimum değer hesabına dayanır. Her bir pencere başına belli sayıda deprem dikkate alınarak bu deprem dizisi için ortalama bir magnitüd değeri hesaplanır ve her bir pencere için hesaplanan bu değer o pencereyi kapsayan zaman aralığı için ortalama M_c -değeri olarak kabul edilir. Dolayısıyla, M_c -değerinin hesabı üst üste binen hareketli pencere tekniği kullanılarak maksimum olasılık yöntemiyle zamanın bir fonksiyonu olarak hesaplanabilir. Eğer tamlik magnitüdü bölge ve zamanın bir fonksiyonu olarak önemli ölçüde sistematik dalgalanmalar gösteriyorsa özellikle b -değeri başta olmak üzere deprensellik

parametrelerinde yanlış değerlerin hesaplanmasına neden olabilir. Sonuçta, bu çalışmanın birçok bölümünde M_c -değeri kullanıldığı için kullanılan deprem kataloğunun bu tür bir analizi önemli bir süreç olarak değerlendirilmiştir.

2.2) Fraktal Boyut (İlişki Boyutu, D_c -değeri)

Deprem dağılımlarının fraktal olduğu kabul edilir ve fraktal analiz genellikle kümelenme özellikleri ile sismotektonik parametrelerin boyut ölçeklendirme niteliklerini değerlendirebilmek için kullanılır. İki noktalı ilişki boyutu D_c kullanılarak, deprem oluşumlarının bölgesel ve zamansal modellerinin fraktal olduğu ifade edilmiştir. D_c analizi, geometrik bir objenin kendi-benzerliğinin tanımlanabilmesi için önemli bir araçtır. Grassberger ve Procaccia (1983), ilişki boyutu D_c ile ilişki toplamı $C(r)$ 'yi şu şekilde tanımlamıştır:

$$D_c = \lim_{r \rightarrow \infty} [\log C(r) / \log r] \quad (2)$$

$$C(r) = 2N_{R < r} / N(N - 1) \quad (3)$$

Burada $C(r)$; ilişki fonksiyonu, r , iki episantr arasındaki uzaklık ve N ; birbirlerinden bir $R < r$ uzaklığı ile ayrılan olaylar çiftinin sayısıdır. Eğer episantr dağılımı fraktal bir yapıya sahipse,

$$C(r) \sim r^{D_c} \quad (4)$$

eşitliği ile verilir. Burada D_c , fraktal bir boyut, daha genel bir ifadeyle de ilişki boyutudur. İki episantr arasındaki uzaklık ise derece olarak ise şu şekilde hesaplanır:

$$r = \cos^{-1}(\cos \theta_i \cos \theta_j + \sin \theta_i \sin \theta_j \cos(\phi_i - \phi_j)) \quad (5)$$

Burada (θ_i, ϕ_i) ve (θ_j, ϕ_j) , sırasıyla i . ve j . depremlerin enlem ve boylamlarıdır (Hirata 1989). Log r uzaklığına karşı log $C(r)$ değerleri çizilirse, fraktal boyut D_c pratik olarak grafiğin eğiminden hesaplanabilir.

Fraktal boyut olası kırılmayan bölgeleri ortaya koymak için hesaplanır çünkü kırılmayan bu bölgeler gelecekte kırılabilir potansiyel sismik boşluklar olarak ifade edilir (Kagan 2007). Başka bir deyişle fraktal özelliklerdeki değişimler, temelde fay sistemleri üzerindeki deprem aktivitesinin heterojenite derecesinin nicel bir ölçümüne veya karmaşıklığına bağlıdır. Daha düşük b -değeri ile ilişkili daha yüksek D_c -değeri, aktif fay sistemlerinin daha karmaşık olduğu bölgede baskın yapısal bir özelliktir ve bu da artan deprem kümelenmelerinden kaynaklanabilir. Yani yüksek fraktal boyut, magnitüd dağılımındaki heterojeniteye hassastır. Sonuçta, D_c -değerindeki dalgalanmalar, daha küçük yüzeysel alanların fay düzlemleri üzerindeki gerilme değişimlerinin bir belirtisi olabilir (Oncel ve Wilson 2002, Polat ve diğ. 2008).

2.3) Deprem Verisinin Ayırıştırılması ve Standart Normal Sapma (Sismik Durgunluk, Z -değeri)

Depremsellik oran değişimlerinin nicel olarak analiz edilebilmesi için, bağımlı olayların deprem kataloglarından ayırt edilmesi gerekir çünkü artçı şok, öncü şok veya deprem yığılımı gibi olaylar genellikle deprem sayılarının zamansal değişimini ve bununla ilişkili istatistikleri etkiler. Ayırıştırma (decluster, decompose) işlemi kullanılarak tüm bağımlı olaylar her bir kümeden uzaklaştırılabilir ve tek bir olaya atfedilebilir. Depremlerin ayrılması işlemi Reasenberg (1985)

algoritması kullanılarak gerçekleştirilebilir ve bağımlı olaylarla bağımsız olaylardan ayırt edilebilir. Wiemer (2001) tarafından geliştirilen ZMAP yazılımı (sürüm 7, <https://github.com/zmap/zmap> adresinden temin edilebilir) kullanılarak Reasenber (1985) tarafından geliştirilen algoritma ile ayırıştırma işlemi yapılabilir.

Bu çalışmada Reasenber (1985) modeli kullanılarak depremler birbirinden ayırt edilmiş ve bazı analizlerde bu katalog kullanılmıştır. Deprem kataloğu 1970-2019 yılları arasında $M_d \geq 1.0$ ve derinlik ≤ 70 km olan toplam 10,146 depremi (orijinal katalog) içermektedir. Ayırıştırma işlemi ile 1165 bağımlı olay katalogdan uzaklaştırılmış (verinin yaklaşık %11.48'i) ve geriye 8981 deprem kalmıştır. Daha sonra OAB ve civarı için ortalama M_c -değeri 2.6 alınarak $M_d < 2.6$ olan 5254 deprem katalogdan çıkarılmıştır. Sonuçta, ayırıştırma işleminin yapılması ve tamlik magnitüdünün kullanılması ile toplamda 6419 (verinin yaklaşık % 63.27'si) deprem orijinal katalogdan çıkarılmış ve öncü sismik durgunluğu ifade eden Z-değeri analizi için 3727 (ayırıştırılmış katalog) deprem kullanılmıştır. Böylece, çalışmanın amacına uygun olarak daha homojen, tekdüze ve daha kullanılabilir deprem verisi elde edilmiştir.

Depremsellik oran değişimlerini tanımlamak ve analiz etmek için birçok istatistiksel model mevcuttur. Bu yöntemlerin çoğu sismik durgunluğun ana depremlerden önceki bölgesel ve zamana bağlı modellemelerini kullanır. Bu tür depremsellik analizleri için en sık tercih edilen yöntemlerden biri standart normal sapma Z-testi olarak verilir. ZMAP tekniği sismik durgunluk gösteren alanları haritalamak için kullanılır (Wiemer ve Wyss 1994). Standart normal sapma Z-testi standart sapma birimindeki güven seviyesinin istatistiksel değerlendirmesi için Uzun Vadeli Ortalama (Long Term Average, LTA) üretir ve aşağıdaki denklem ile verilir:

$$Z(t) = \frac{R_{tüm} - R_{wl}}{\sqrt{\frac{\sigma_{tüm}^2}{n_{tüm}} + \frac{\sigma_{wl}^2}{n_{wl}}}} \quad (6)$$

Burada $R_{tüm}$ tüm ön pencere içerisindeki depremler için ortalama aktivite oranı, R_{wl} tüm arka plan (geçmiş dönem) penceresindeki depremler için ortalama depremsellik oranı, $\sigma_{tüm}$ ve σ_{wl} bu zaman dilimlerindeki standart sapmalar, $n_{tüm}$ ve n_{wl} örnekleme sayılarıdır. Zamanın bir fonksiyonu olarak hesaplanan Z-değeri, deprem kataloğunun periyodu boyunca ön pencerenin belli zaman aralıkları ile kaydırılmasına ve her periyod için deprem aktivitesindeki değişimlerin haritalanmasına olanak sağlar.

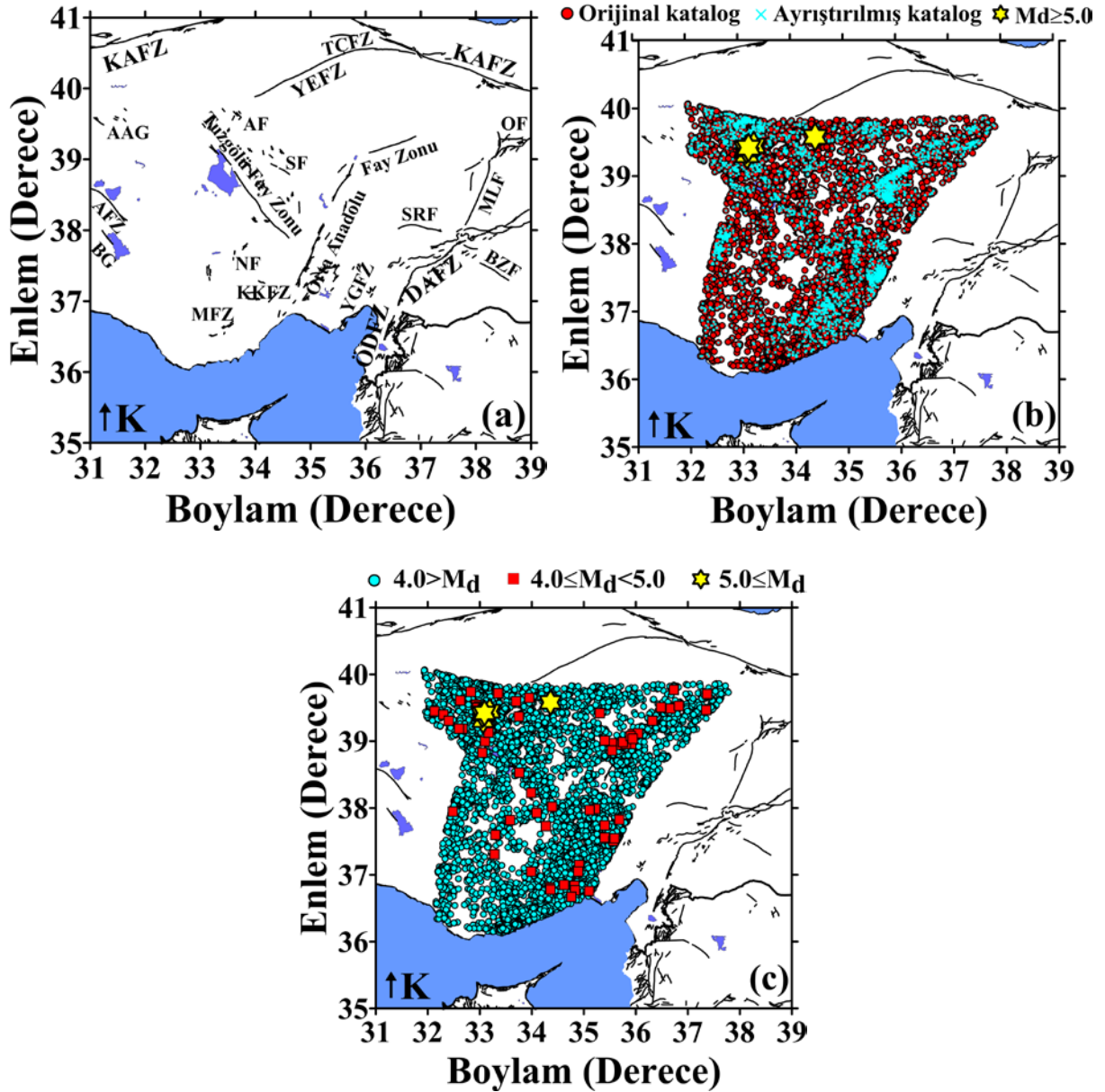
3. DEPREM VERİSİ ve ORTA ANADOLU BÖLGESİNİN TEKTONİK YAPISI

Bu çalışma kapsamında kullanılan veri setinin 1970-2006 yılları arasındaki kısmı Ozturk (2009)'dan alınmıştır. Öztürk (2009), 1970-1973 yılları arasındaki deprem verisini ISC (International Seismological Center) kataloğundan, 1974-2006 yılları arasındaki depremleri KRDAE (Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü) kataloğundan ve eksik olan diğer depremleri ise AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı), TURKNET (National Telemetric Earthquake Observatory Network), IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology) ve TÜBİTAK kataloglarından derlemiştir. Öztürk (2009), tüm periyodlar için tam ve homojen bir deprem kataloğu hazırlayabilmek için yüzey dalgası magnitüdü (M_s), cisim dalgası magnitüdü (m_b), süre magnitüdü (M_d) ve yerel magnitüdü (M_L) gibi farklı magnitüdü türleri arasında bazı deneysel ilişkiler geliştirmiş ve 1970-2006 yılları arasında M_d 'ye göre homojen olup 73.530 depremi içeren bir deprem kataloğu

hazırlamıştır. Bu veriye ek olarak, 2007-2019 yılları arasındaki depremler AFAD ile KRDAE web sayfalarından temin edilen kataloglardan derlenmiştir. AFAD ve KRDAE özellikle son yıllarda, tüm depremler için M_d veya M_L hesaplar. 2007-2019 yılları arasında AFAD ve KRDAE kataloglarında M_d 'nin bilinmediği durumlarda Öztürk (2009) tarafından geliştirilen deneysel M_d - M_L ilişkileri kullanılarak bilinmeyen M_d değerleri hesaplanmıştır. Katalog içerisinde 2007-2019 yılları arasında 176.199 deprem olmakla birlikte, toplamda 1970-2019 yılları arasında Türkiye ve civarı için 249.729 mevcuttur. Çalışma alanının sınırları Ozturk (2012)'den alınmış ve 35°K - 41°K enlemleri ile 31°D - 39°D boylamları arasında kalan bölge çalışma alanı olarak seçilmiştir (Ozturk 2012'de 53., 54. ve 55. bölgeler). Ozturk (2012)'de tanımlanan ve bu çalışmanın sınırlarını oluşturan her bölge için geliştirilmiş olan deneysel M_d - M_L ilişkileri kullanılarak her bir bölge için M_d 'ye göre homojen olan bir deprem kataloğu hazırlanmıştır. Daha sonra bu kataloglar birleştirilerek tüm çalışma alanını kapsayan bir deprem kataloğu oluşturulmuştur.

OAB ve civarının ana tektonik yapısı, Saroglu ve diğ. (1992), Bozkurt (2001) ve Ulusay ve diğ. (2004) gibi farklı araştırmacılardan derlenmiş ve Şekil 1a'da verilmiştir. Detaylı bir istatistiksel analiz için çalışma alanının seçiminden sonra, 1970-2019 yılları arasında bu bölgede meydana gelen depremler için veri kataloğu hazırlanmıştır. Katalog M_d 'ye göre homojendir ve tüm magnitüd düzeyleri ile tüm zaman aralıkları için tamdır. Sonuç olarak, 30 Temmuz 1975 ile 29 Aralık 2018 yılları arasında yaklaşık 43.42 yıllık bir zaman dilimi içerisinde hiçbir kesinti olmaksızın her dönemde deprem oluşumuna sahip toplamda $M_d \geq 1.0$ olan ve 10.146 depremi içeren tam veri seti elde edilmiştir. $M_d \geq 1.0$ olan depremler ile $M_d \geq 5.0$ olan güçlü/büyük depremlerin episantr dağılımları Şekil 1b'de verilmiştir. Ayrıca, $M_d \geq 2.6$ olan ayrıştırılmış depremlerin episantr dağılımları da yine Şekil 1b üzerinde gösterilmiştir. Bununla birlikte, deprem dağılımlarının daha iyi gözlenebilmesi açısından, farklı magnitüd değerlerine göre depremlerin episantr dağılımları da Şekil 1c'de farklı sembollerle gösterilmiştir.

OAB, Türkiye'nin Anadolu bloğundaki en önemli tektonik sistemlerinden biridir. Doğudan gelen sıkıştırma ve batıya doğru olan genişleme rejimleri bu bölge üzerinde oldukça etkilidir. OAB ve civarında KG ve KKD-GGB kısalması baskındır ve Kıbrıs boyunca Anadolu ve Afrika levhaları arasındaki çarpışmalı hareketler bu kısalma üzerinde oldukça etkilidir (Bozkurt 2001). OAB ve civarındaki ana tektonik yapılar Tuz Gölü Fay Zonu (TGFZ), Orta Anadolu Fay Zonu (OAFZ), Akpınar Fayı (AF), Niğde Fayı (NF) ve Salanda Fayı (SF) olarak verilebilir. Ayrıca, çalışma alanı sınırları içerisinde kuzeyde Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Yağmurlu-Ezinepazarı Fay Zonu (YEFZ) ve Taşova-Çorum Fay Zonu (TÇFZ); batıda Beyşehir Grabeni (BG), Akşehir Fay Zonu (AFZ) ve Akşehir-Afyon Grabeni (AAG); güneydoğuda Yakapınar-Göksun Fay Zonu (YGFZ) ve Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ); doğuda ise Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve Sürgü Fayı (SRF) mevcuttur. Bu fay sistemleri çoğu sağ yönlü ve sol yönlü doğrultu atımlı faylardan oluşan oblik atımlı fay sistemlerinden meydana gelmiştir (Ozsayın ve Dirik 2007, Ozmen ve diğ. 2014, Ozmen 2015).

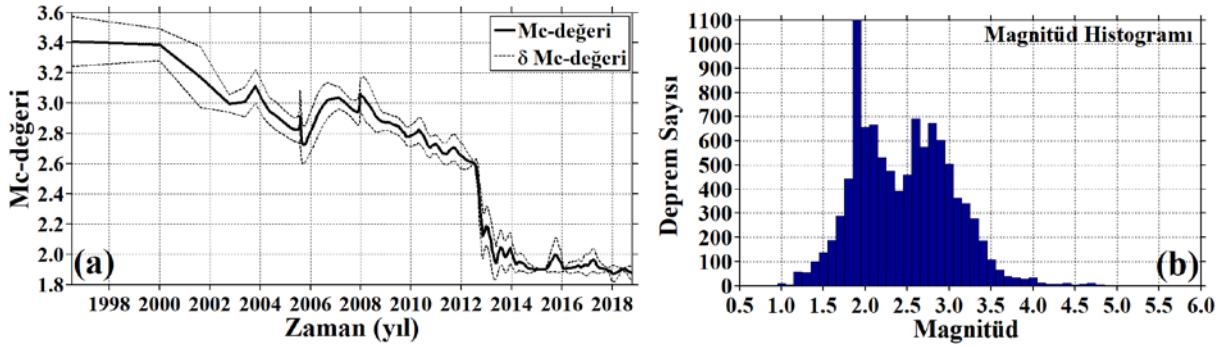


Şekil 1: (a) OAB ve civarı için ana tektonik yapılar (Saroglu ve diğ. 1992, Bozkurt 2001 ve Ulusay ve diğ. 2004'ten sayısallaştırılarak alınmıştır). Fay isimleri metin içerisinde verilmiştir. (b) 1975-2019 yılları arasındaki $M_d \geq 1.0$ ve $M_d \geq 5.0$ olan 10.146 sığ (derinlik < 70 km) deprem ile $M_d \geq 2.6$ olan ayrıştırılmış depremlerin episantr dağılım haritası. (c) Farklı magnitüd değerlerine göre episantr dağılım haritası

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

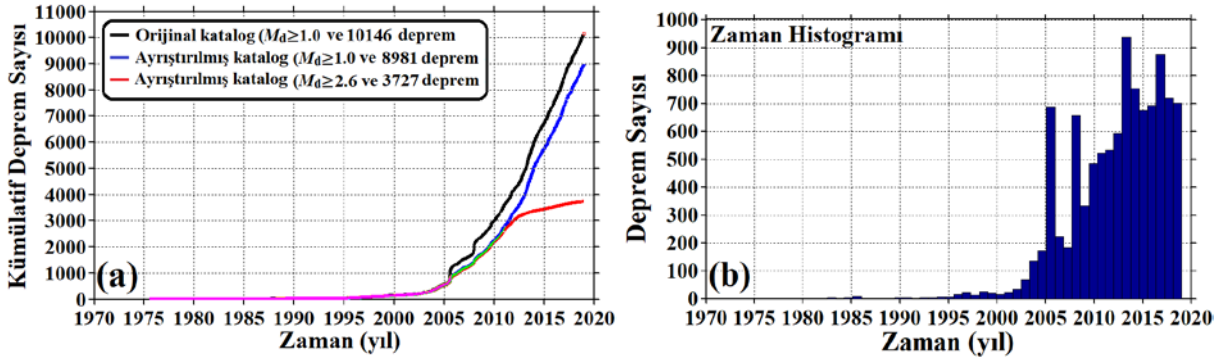
Bu çalışma kapsamında ilk adım olarak tamlik magnitüdü analizi gerçekleştirilmiştir. M_c -değerinin zamana bağlı değişimi durağan olmadığı için M_c -değerinin hesabı ilk ve en önemli adımdır. Aslında, sismolojik çalışmalarda güvenilir sonuçlar elde edebilmek için maksimum deprem sayısının kullanılması hedeflenir. M_c -değerindeki zamana bağlı değişimler hareketli

zaman penceresi tekniğiyle hesaplanmıştır. Bu kapsamda, 10.146 depremi içeren orijinal deprem kataloğu kullanılarak pencere başına 200 deprem ile M_c -değeri ve standart sapması haritalanmıştır (Şekil 2a). 1975-2004 yılları arasında M_c -değeri 3.0-3.6 arasında değişim gösterirken, 2004-2014 yılları arasında genellikle 2.0-2.8 arasında değişim gösterir. 2014 yılı başlangıcında 2.0, 2014'ten sonra yaklaşık 1.9 civarındadır. Genel dağılım itibariyle 2012 yılından sonra 1.9-2.6 arasında değiştiği görülür. Şekil 2b, OAB için 1975-2019 yılları arasındaki depremlerin magnitüd histogramını göstermektedir. Şekil 2b'den de görüleceği gibi, depremlerin magnitüdüleri küçükten büyük değerlere doğru sayılarındaki üstel bir azalış ile 1.0-5.7 arasında değişim göstermektedir. Depremlerin magnitüdüleri 1.9 ve 2.6'da maksimumlar göstermektedir. Çalışma kapsamında b ve Z -değeri hesaplandığı için M_c -değerinin tahmini oldukça önemlidir. Dolayısıyla, OAB için ortalama $M_c=2.6$ olarak alınmış ve bu değer tüm kataloğu daha iyi temsil edeceğinden tüm istatistiksel hesaplamalarda bu değer kullanılmıştır.



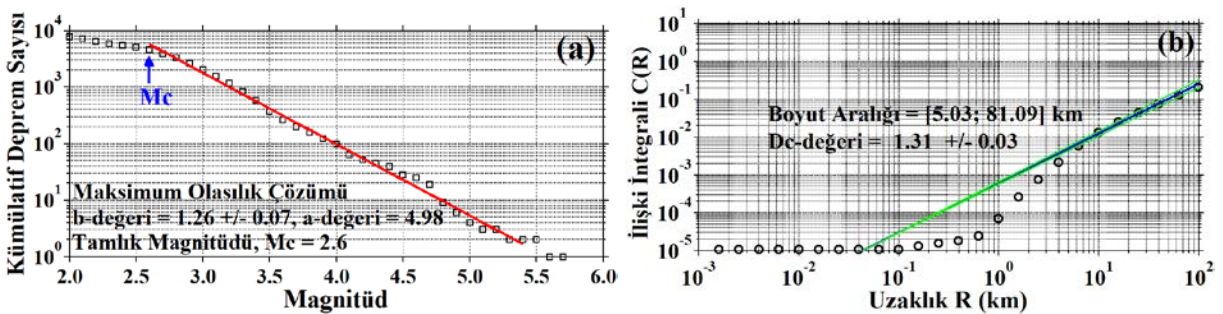
Şekil 2: (a) OAB ve civarı için M_c -değerinin zamana bağlı değişimi ve standart sapması. (b) 1975-2019 yılları arasındaki magnitüd histogramı

OAB ve civarı için $M_d \geq 1.0$ olan ve 10.146 depremi içeren orijinal katalog ile 8981 depremi içeren ayrıştırılmış katalog ve $M_d \geq 2.6$ olan 3727 depremi içeren ayrıştırılmış kataloglara ait kümülatif deprem sayısı-zaman grafiği Şekil 3a'da verilmiştir. 1975-2000 yılları arasında önemli bir dalgalanma gözlenmezken 2000-2005 yılları arasında sismik aktivitede çok az bir hareketlilik söz konusudur. Bununla birlikte, özellikle 2006'dan sonra başlayan önemli bir artış görülür. Ayrıca, 1975-2019 yılları arasındaki depremlerin zaman histogramı da 2005 yılından sonra kaydedilen depremlerin sayısındaki artışı ortaya koymaktadır (Şekil 3b). Şekil 3a'da görüleceği gibi, $M_d \geq 2.6$ olan ayrıştırılmış deprem kataloğuna ait kümülatif eğri orijinal kataloğa göre daha düz bir eğime sahiptir. Yukarıda da bahsedildiği gibi, tamlik magnitüdü analizi ve ayrıştırma işlemi deprem davranışlarının güvenilir olarak tanımlanabilmesi için oldukça önemli bir adımdır ve artçı şok, öncü şok veya deprem yığılımları gibi bağımlı olaylar kataloglardan uzaklaştırılmalıdır. Dolayısıyla, ayrıştırma işlemi ve $M_d < 2.6$ olan depremlerin çıkarılması ile bağımlı olaylar katalogdan uzaklaştırılmış ve böylece sismotektonik parametrelerin hesabı için daha homojen, tek düze ve güvenilir bir deprem kataloğu elde edilmiştir.



Şekil 3: (a) Orijinal ($M_d \geq 1.0$) ve ayrıştırılmış ($M_d \geq 1.0$ ve $M_d \geq 2.6$) kataloglar için kümülatif deprem sayısının zamanla değişimi. (b) 1975-2019 yılları arasındaki zaman histogramı

G-R ilişkisindeki b -değeri maksimum olasılık yöntemiyle hesaplanmış ve Şekil 4a'da verilmiştir. $M_c=2.6$ alınmış ve 10.146 depremi içeren orijinal katalog kullanılarak $b=1.26 \pm 0.07$ olarak hesaplanmıştır. b -değeri, standart sapması, a -değeri ve M_c -değeri ayrıca şekil üzerinde gösterilmiştir. Daha önce ifade edildiği gibi, b -değeri küresel ölçekte 0.3-2.0 arasında değişir ve ortalama b -değeri 1.0 varsayılmakla birlikte tektonik depremler 0.5-1.5 arasında b -değerine sahiptir. Dolayısıyla, OAB için deprem oluşumlarının magnitüd-frekans dağılımı G-R ölçeği ile iyi uyum sağlar ve bu nispeten yüksek değer çalışma alanındaki küçük ve orta büyüklükteki olayların sayısında artış olduğunu gösterir. Buna bağlı olarak da bu durum, çalışma alanının yüksek heterojenite ve düşük gerilme dağılımına sahip olabileceği şeklinde yorumlanabilir. Şekil 4b, OAB ve civarındaki depremlerin fraktal istatistiğini göstermektedir. Deprem episantrlarının fraktal boyutunun tahmini deprem uzaklıklarına (R , km) karşı ilişki integrali $C(R)$ 'nin çizimi ile yapılır. 10.146 depremi içeren orijinal deprem kataloğu kullanılarak doğrusal regresyon ile $D_c=1.31 \pm 0.03$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 4b'de görüldüğü gibi, D_c -değerinin hesabı için 5.03-81.09 km arasında bir boyut aralığı tercih edilmiş ve standart sapmalarla birlikte şekil üzerinde verilmiştir. Yukarıda da ifade edildiği gibi, yüksek D_c -değerleri aktif faylarla ilişkilidir ve bu fay sistemleri artan bir karmaşıya sahiptir. Tersine, daha küçük fraktal boyut ilişki integralindeki artış oranı ile ilişkilidir. Ayrıca, küçük D_c -değerleri, episantrlar arasındaki uzaklık kümelenme çapına yaklaştığında görülür (Oncel ve Wilson 2002). Bu da, deprem aktivitesinin daha küçük ölçeklerde (veya daha büyük alanlarda) nispeten daha büyük kümelenmeye sahip olduğu anlamına gelir. Sonuç olarak, çalışma alanındaki küçük gerilme dağılımının bir işareti olarak da yorumlanabilir.



Şekil 4: (a) Gutenberg-Richter ilişkisi ve b -değeri. (b) İlişki integrali ve D_c -değeri

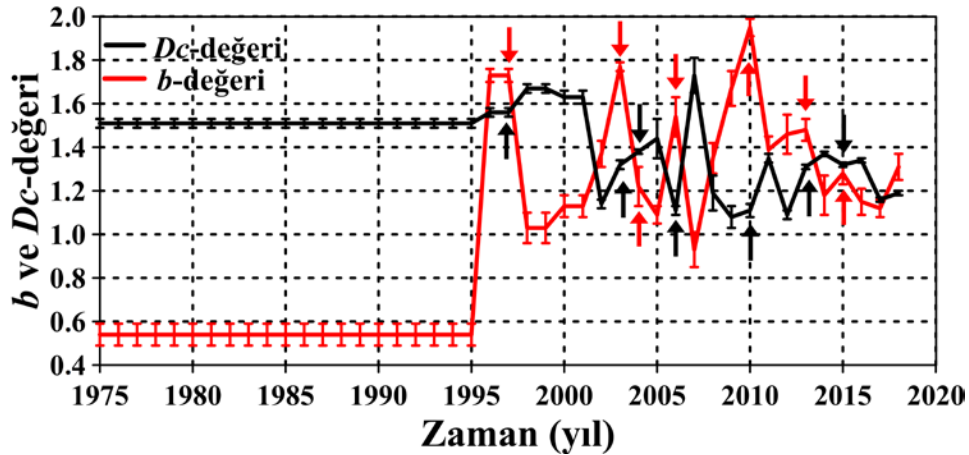
Standart sapmaları ile birlikte b -değeri ve Dc -değeri, a -değeri, Mc -değeri gibi istatistiksel parametreler, 1975-2001 aralığı hariç, 1975-2019 yılları arasındaki her yıl için deprem sayıları, minimum (M_{\min}) ve maksimum (M_{\max}) magnitüdler Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’de görüldüğü gibi, çok büyük depremler olmamakla birlikte, $M_d \geq 5.0$ olan üç deprem mevcuttur.

Tablo 1: 1975-2019 yılları arasında OAB ve civarı için deprem sayıları, minimum (M_{\min}) ve maksimum (M_{\max}) magnitüdler, Mc -değerleri, a -değerleri, b -değerleri, Dc -değerleri ve boyut aralığındaki değişimler

Yıl	Deprem sayısı	M_{\min}	M_{\max}	Mc -değeri	a -değeri	b -değeri	Dc -değeri	Boyut Aralığı (km)
1975-1995	54	1.8	5.3	3.3	3.42	0.54±0.05	1.51±0.02	5.03-90.40
1996-1997	46	2.7	3.8	3.3	7.53	1.73±0.03	1.56±0.02	5.88-99.23
1998-1999	46	2.7	4.8	3.4	5.17	1.03±0.07	1.67±0.02	5.11-39.08
2000-2001	42	2.4	4.2	3.3	5.16	1.13±0.05	1.63±0.03	5.19-91.81
2002	68	2.0	4.1	3.2	5.98	1.37±0.06	1.14±0.02	5.11-82.36
2003	121	2.3	4.0	3.0	7.14	1.77±0.02	1.32±0.02	5.11-99.23
2004	193	2.1	4.4	2.8	5.62	1.22±0.09	1.38±0.01	5.16-57.62
2005	712	2.5	4.9	2.7	5.73	1.09±0.04	1.44±0.09	5.11-22.70
2006	250	2.5	4.0	3.0	6.87	1.54±0.09	1.11±0.02	5.03-91.81
2007	504	2.5	5.7	3.0	6.89	0.93±0.08	1.73±0.08	5.24-15.39
2008	459	2.5	4.8	2.9	6.43	1.35±0.07	1.19±0.08	5.03-28.65
2009	496	2.4	4.4	2.8	7.20	1.67±0.08	1.08±0.05	5.11-34.52
2010	578	2.1	4.1	2.8	7.92	1.95±0.08	1.11±0.03	5.11-90.40
2011	609	1.6	4.4	2.6	6.17	1.39±0.06	1.35±0.02	5.03-96.19
2012	682	1.5	4.4	2.6	6.15	1.46±0.09	1.09±0.02	5.03-94.71
2013	1155	1.3	3.6	2.0	4.91	1.48±0.05	1.31±0.01	5.03-96.19
2014	694	1.3	4.1	1.9	4.83	1.18±0.09	1.37±0.01	5.11-61.32
2015	798	1.0	3.9	1.9	4.80	1.28±0.05	1.32±0.01	5.03-94.71
2016	973	1.3	5.1	1.9	4.86	1.15±0.06	1.34±0.01	5.03-90.40
2017	886	1.1	3.7	1.9	4.83	1.12±0.04	1.16±0.01	5.03-93.25
2018	780	1.0	3.8	1.9	5.01	1.31±0.06	1.19±0.01	5.03-94.71

b ve Dc -değerlerinin zamana bağlı değişimleri standart sapmalarıyla birlikte Şekil 5’te verilmiş ve 1975-2019 yılları arasında OAB ve civarındaki zamansal değişimleri değerlendirebilmek için orijinal katalog kullanılarak ilişki boyutunun zaman dağılımı değerlendirilmiştir. 1975-2001 yılları arasında az sayıda deprem olduğu için hesaplamaların güvenilirliği açısından her yıl için ayrı ayrı analiz yapılamamıştır. 1975-1995, 1996-1997, 1998-1999 ve 2000-2001 yılları için en az 40 deprem olmak koşulu ile hesaplamalar yapılmış ve hesaplanan değerler varsayılan zaman dilimi için ortalama değer olarak kabul edilmiştir. Dolayısıyla, Şekil 5 üzerinde 1975-1995 yılları arasında b ve Dc -değerlerinin sabit bir değer olması bu kabullenmenin bir sonucudur. Ayrıca, Şekil 5’te görüldüğü gibi, 1995 ve özellikle 2000 yılından sonra, b -değerleri bazı dönemlerde net bir düşüş gösterirken aynı dönemlerde Dc -değerlerinde net bir artış gözlenmiştir. Bununla birlikte, bazı dönemlerde b -değerlerindeki artışa karşılık Dc -değerlerinde artış veya düşüşler söz konusudur. Daha önceki bölümlerde de ifade edildiği gibi, b -değerindeki ani düşüş ve Dc -

değerindeki artışlar, depremselliğin ve fay sistemlerinin nicel bir değerlendirmesi için oldukça önemli bilgiler ortaya koyar. OAB ve civarında b -değerinde ve D_c -değerinde gözlenen zamana bağlı azalma ve yükselmeler Şekil 5 üzerinde oklarla gösterilmiştir ve Tablo 1'den net olarak görülebilir. Tablo 1 üzerindeki dikdörtgensel alanlar ardışık yıllardaki b -değerindeki düşüş ile D_c -değerindeki artışı ve buna bağlı olarak da, takip eden yıllardaki bir önceki yıla göre güçlü deprem oluşumlarını göstermektedir. Örneğin, 1997-1999 arasında b -değeri bir azalma eğiliminde iken (0.7 birim) D_c -değeri artma eğilimindedir (0.11 birim) ve 1998-1999 yılları arasında 1997 depreminden daha güçlü bir deprem meydana gelmiştir. Bu tür benzer değişimler 2003-2004, 2004-2005, 2006-2007, 2010-2011, 2013-2014 ve 2015-2016 yılları arasında gözlenmiştir. 2004 yılında b -değeri bir önceki yıla göre 0.55 birim azalırken D_c -değeri 0.06 birim artmış ve 2004 yılında bir önceki yıla nazaran daha büyük bir deprem meydana gelmiştir. Benzer şekilde, 2005 yılında b -değeri bir önceki yıla göre 0.13 birim azalırken D_c -değeri 0.06 birim artmış ve 2005 yılında bir önceki yıla nazaran daha büyük bir deprem meydana gelmiştir. 2007 yılında b -değeri bir önceki yıla göre 0.61 birim azalırken D_c -değeri 0.62 birim artmış ve 2007 yılında 2006 yılına kıyasla daha güçlü bir deprem meydana gelmiştir. 2011 yılında b -değeri bir önceki yıla göre 0.56 birim azalırken D_c -değeri 0.24 birim artmış ve 2011 yılında 2010 yılına kıyasla nispeten daha büyük bir deprem meydana gelmiştir. 2014 yılında b -değeri 2013 yılına kıyasla 0.3 birim azalırken D_c -değeri 0.06 birim artmış ve 2014 yılında 2013 yılına kıyasla nispeten daha büyük bir deprem meydana gelmiştir. Son olarak, 2016 yılında b -değeri 2015 yılına kıyasla 0.13 birim azalırken D_c -değeri 0.02 birim artmış ve 2016 yılında 2015 yılına kıyasla nispeten daha güçlü bir deprem meydana gelmiştir. Sonuçta, Tablo 1'den de net olarak görüleceği üzere, bu zaman aralıklarının her biri için, b -değerinde bir azalmanın gözlemlendiği yılda bir önceki yıla göre daha büyük bir deprem meydana gelmiştir. Bununla birlikte, 1995-1996, 1999-2000, 2001-2002, 2002-2003, 2005-2006, 2007-2008, 2008-2009, 2009-2010, 2014-2015 ve 2016-2017 yılları arasında b -değerlerindeki artışa karşılık D_c -değerlerinde azalma veya artma şeklinde değişimler gözlenmiştir.



Şekil 5: 1975-2019 yılları arasında b ve D_c -değerinin zamanla değişimleri. Oklar, b -değerindeki düşüşün ve D_c -değerindeki artışın başlangıç zamanlarını göstermektedir. Ayrıca, b -değeri ve D_c -değerindeki standart sapmalar da Tablo 1'de verilen değerler kullanılarak şekil üzerinde gösterilmiştir.

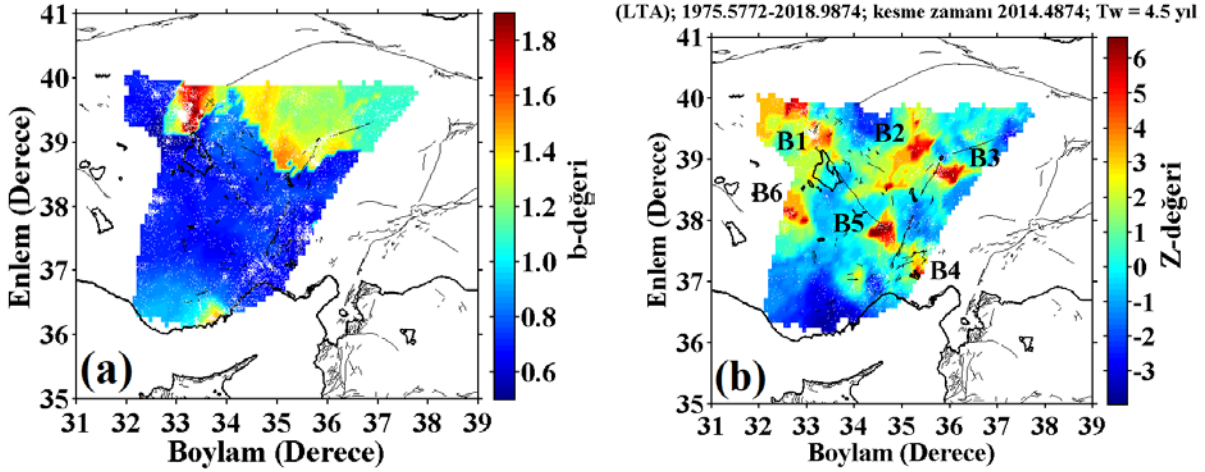
Aktif fay sistemlerinde gerilme boşalımı, daha küçük yüzey ölçeğine sahip fay düzlemleri üzerinde olur çünkü düşük b -değerleri daha yüksek D_c -değerleri ile ilişkilidir (Oncel ve Wilson 2002) ve yüksek fraktal boyut magnitüd dağılımındaki düzensizliğe hassastır. Bu da, deprenselliğin OAB ve civarında büyük ölçekte (veya daha küçük alanlarda) daha fazla kümelenmesini destekler. Ayrıca, düşük b -değerleri ve yüksek D_c -değerleri, bu zaman dilimleri içerisindeki kümelenmeden kaynaklanmış olabilir çünkü depremlerin tek düze dağılımları deprem kümelenmelerindeki bir artışla azalır ve bu da güçlü bir deprem kümelenmesinin bir işareti olabilir. b ve D_c -değerlerindeki bu dalgalanmalar gerilme değişimlerinin bir işareti de olabilir. Dolayısıyla, düşük b ve yüksek D_c -değerleriyle ilişkili aktif fay sistemlerindeki karmaşık bölgelerde gerilme dağılımı fay düzlemleri üzerinde oluşabilir. Sonuç olarak, b ve D_c -değerlerindeki bu tür değişimlerin gözlenmesi, OAB ve civarındaki gelecek deprem potansiyelini değerlendirmede faydalı bilgiler sunabilir.

b -değerinin bölgesel değişimleri hareketli pencere tekniği ile pencere başına 300 deprem kullanılarak $0.08^\circ \times 0.08^\circ$ lik grid aralığı ile hesaplanmıştır (Şekil 6a). b -değerinin haritalanmasında $M_d \geq 2.6$ olan ayrıştırılmış deprem kataloğu (3727 deprem) kullanılmıştır. Şekil 6a'da görüldüğü gibi, b -değeri 0.5-1.9 arasında değişim göstermektedir. En yüksek b -değerleri (>1.5) AF civarında ve TGFZ'nin kuzeybatısında, $1.0 < b < 1.5$ arasındaki değerler ise OAB'nin kuzeybatı segmentini içeren çalışma alanının kuzeydoğu kısımlarında gözlenmiştir. Bununla birlikte, en küçük b -değerleri (<0.8) genellikle çalışma alanının kuzeybatısını içeren OAB'nin tüm kısımlarında, TGFZ, SF ve NF boyunca, OAB'nin güneybatı kısımları boyunca gözlenirken, $0.8 < b < 1.0$ arasındaki değerler ise OAB'nin güneybatı kısımlarında gözlenmiştir. Büyük b -değerleri, yüksek heterojenite ve yüksek ısı akısından kaynaklı düşük gerilme ile ilişkili olabilirken düşük b -değerleri daha yüksek gerilme dağılımına işaret edebilir (Polat ve diğ. 2008). Bu nedenle, en düşük b -değerine sahip bölgeler, tektonik aktiviteden kaynaklı düşük heterojenite ve yüksek deformasyonun bir işareti olabilir. Düşük b -değerleri ayrıca, zamanla artan gerilme ile ve az fakat sık olan büyük magnitüdü depremlerle ilişkili olabilir (Oncel ve Wilson 2002). Birçok çalışmada da ifade edildiği gibi, düşük b -değerleri gelecekte olası deprem bölgelerine işaret edebilir ve sonuçta bu bölgelerdeki gelecek deprem tahminleri için kullanılabilir. Bu nedenle, OAB ve civarında hesaplanan düşük b -değerli bu bölgeler gelecekteki güçlü/büyük depremler için en olası alanlar olarak düşünülebilir.

Deprem davranışlarının istatistiksel özelliklerini tanımlamanın diğer bir önemli uygulaması ise deprem aktivite oranının ifade eden öncü sismik durgunluk araştırmalarını kapsar. Bu amaçla, 2019 yılı başlangıcı itibarıyla standart normal sapma Z -değerindeki değişimler haritalanmıştır (Şekil 6b). Bu kapsamda, b -değerinde olduğu gibi $0.08^\circ \times 0.08^\circ$ lik grid aralığı ile en yakın olayların sayısı $N=50$ alınarak bölgesel değişim haritası oluşturulmuştur. Zaman penceresi uzunluğu $T_w=4.5$ yıl alınmıştır çünkü durgunluk alanları bu zaman penceresi için daha net olarak ortaya konmuştur. Z -değeri haritası için b -değeri haritasında olduğu gibi $M_d \geq 2.6$ olan ayrıştırılmış deprem kataloğu (3727 deprem) kullanılmıştır. Şekil 6b'de görüldüğü gibi, 2019 yılı başlangıcı itibarıyla öncü durgunluk anomalisi gösteren altı bölge mevcuttur. Bu anomali bölgeleri: (i) $39.48^\circ\text{K}-32.63^\circ\text{D}$ (bölge B1, çalışma alanı ve TGFZ'nin kuzeybatı sonu), (ii) $39.13^\circ\text{K}-35.18^\circ\text{D}$ (bölge B2, SF'nin kuzeydoğusu, OAFZ ve SF arası), (iii) $38.76^\circ\text{K}-36.01^\circ\text{D}$ (bölge B3, OAFZ'nin kuzeydoğu kısımları), (iv) $38.14^\circ\text{K}-32.72^\circ\text{D}$ (bölge B4, Tuz Gölü'nün güneybatısı), (v) $37.85^\circ\text{K}-34.59^\circ\text{D}$ (bölge B5, OAFZ ile TGFZ arasında TGFZ'nin güneydoğu ucu) ve (vi) $37.24^\circ\text{K}-35.34^\circ\text{D}$ (bölge B6, OAFZ ile YGFZ arasında) merkezli olarak verilebilir. Bu nedenle, bu durgunluk bölgelerine dikkat edilmelidir. Sonuç olarak, Z -değerinin bölgesel dağılımı deprensellik oran değişimlerinin değerlendirilmesi için önemli sonuçlar verebilir ve bu

sonuçlar OAB ve civarındaki deprem oluşumlarının istatistiksel olarak tanımlanmasında kullanılabilir.

Son yıllarda, çok fazla olmamakla birlikte, Türkiye'nin OAB ve civarını kapsayan bölgelerde deprem oluşumlarının bölge-zaman-magnitüd analizleri Kahraman ve diğ. (2008), Ozturk (2011, 2015, 2018), Ozmen (2015) gibi farklı araştırmacılar tarafından yapılmış ve orta/uzun vadede deprem potansiyeli ortaya konulmaya çalışılmıştır.



Şekil 6: (a) b -değeri bölgesel değişim haritası. (b) 2019 yılı başlangıcı itibariyle Z -değeri bölgesel değişimleri. Analizlerde $M_d \geq 2.6$ olan ayrıştırılmış deprem kataloğu kullanılmıştır. Fay bilgileri Saroglu ve diğ. (1992), Bozkurt (2001) ve Ulusay ve diğ. (2004)'ten sayısallaştırılarak alınmıştır

Ozturk (2011, 2015, 2018) tarafından yapılan çalışmalarda, Türkiye'nin Batı Anadolu Graben Sistemi, Kuzey Anadolu Fay Zonu, Doğu Anadolu Fay Zonu, Bitlis-Zagros Bindirme Zonu ve Kuzeydoğu Anadolu Fay Zonu'nu içerisine alan farklı bölgelerindeki gelecek deprem oluşumları için (22 Eylül 2011 Refahiye-Erzincan, $M=5.6$; 30 Temmuz 2013 Gökçeada-Çanakkale, $M=5.3$; 3 Aralık 2015 Kiğı-Bingöl, $M=5.5$; 8 Mart 2010 Elazığ, $M=6.0$ ve 23 Ekim 2011 Van Gölü, $M=7.1$, depremleri) başarılı tahminler yapılmıştır. Bu çalışmalarda, OAB için küçük b -değerleri çalışma alanının kuzey batısını içeren birçok kısmında, TGFZ, SF ve NF boyunca, OAFZ'nin güneybatı kısımları boyunca gözlenmiştir. Ayrıca yüksek Z -değerleri, çalışma alanının ve TGFZ'nin kuzeybatı sonlarında, SF'nin kuzeydoğusunda, OAFZ ile SF arasında, OAFZ'nin kuzeydoğu kısımlarında, Tuz Gölü'nün güneybatısında, OAFZ ile TGFZ arasında TGFZ'nin güneydoğusunda ve YGFZ ile OAFZ arasında gözlenmiştir. Düşük b -değeri ve düşük Z -değerine sahip ortak alanlar dikkate alındığında, çalışma alanının kuzeybatısı, Tuz Gölü'nün güneybatısı, OAFZ ile TGFZ arasında TGFZ'nin güney doğusu, OAFZ ile YGFZ arası gelecekteki olası deprem oluşumları için riskli bölgeler olarak değerlendirilebilir. Sonuç olarak, bu tür sismotektonik parametrelerin analizi gelecek deprem bölgelerinin tahmininde önemli ve birincil ipuçları sağlayabilir.

Kahraman ve diğ. (2008), G-R ilişkisini kullanarak Batı Anadolu Bölgesi için olasılıksal bir deprem tehlike analizi gerçekleştirmiş ve maksimum olasılık yöntemi ile $b=0.84$ olarak hesaplanmıştır. Kullandıkları Poisson modeline göre, $M \geq 5.0$, $M \geq 5.5$ ve $M \geq 6.0$ olan depremlerin 50, 75 ve 100 yıldaki oluşma olasılıkları %100 olarak hesaplanırken, geri dönüşüm periyotları

ise sırasıyla 1.3, 3.5 ve 9.8 yıl olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla, Batı Anadolu bölgesi için orta/uzun vadedeki deprem tehlikesi güçlü/yıkıcı depremler için istatistiksel olarak ortaya konulmuştur.

Ozmen (2015), 1900 ve 2011 yılları arasında meydana gelen ve $M \geq 4.0$ olan depremleri dikkate alarak, Türkiye'nin OAB ve civarındaki deprem aktivitesinin bir değerlendirmesini yapmış ve istatistiksel deprem tehlikesi parametrelerini tahmini için Gumbel Uç Değerler yöntemini kullanmıştır. Depremlerin oluşma olasılıkları ve tekrarlama zamanları, çalışma alanında meydana gelebilecek güçlü/büyük depremler için hesaplanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, Kuzey Anadolu Fay Zonu en büyük sismik tehlikeye sahiptir ve dolayısıyla bu fay zonu, OAB ile ilişkili deprem tehlikesi için önemli bir kaynak oluşturabilir. Dolayısıyla, bu çalışma OAB ve civarı için deprem tehlikesi haritalarının hazırlanmasında önemli bir istatistik sunabilir ve deprem senaryo çalışmalarına katkıda bulunabilir.

Bu çalışmada ve literatürde elde edilen sonuçlara dayalı olarak, deprenselliğin bölge-zaman-magnitüd analizlerinin 2019 yılı başlangıcı itibarıyla Orta Anadolu Bölgesindeki deprem tehlike potansiyelini ortaya koymada önemli katkılar sağlayacağı söylenebilir. Dolayısıyla, b -değeri, D_c -değeri, Z -değeri sismotektonik parametreler ve bu parametrelerin birbirleriyle olan ilişkileri, güçlü/büyük depremlerin oluşumundan önce daha güvenilir bir tahmin yapabilmek için oldukça önemlidir. Çalışma alanı içerisindeki en son deprem 10 Haziran 2016 Hacıduraklı-Kırşehir depremidir ve bu nedenle, güvenilir ve güncel deprem riski ve tehlike analizleri yapabilmek için sismotektonik parametrelerdeki anomali bölgeleri oldukça önemli hale gelir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Türkiye'nin Orta Anadolu Bölgesi ve civarındaki deprem oluşumlarının bölge-zaman-magnitüd değişimlerinin detaylı bir istatistiksel analizi gerçekleştirilmiş ve tamlik magnitüdü, deprem sayısı-magnitüd ilişkisi, fraktal boyut ve sismik durgunluk gibi en sık kullanılan deprensellik parametreleri değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, 1975-2019 yılları arasında $1.0 \leq M_d \leq 5.7$ olan 10.146 sığ depremi içeren homojen ve tam bir deprem kataloğu kullanılarak, 2019 yılı başlangıcında deprem davranışlarının bölgesel ve zamana bağlı değişimleri haritalanmıştır. Bağımlı ve bağımsız olaylar deprem kataloğunda ayrıştırılmış ve $M_c=2.6$ alınarak toplam depremlerin yaklaşık % 63.27'si katalogdan çıkarılmıştır. Sonuçta, istatistiksel parametrelerin hesabında ve haritalanmasında 3727 depremi içeren daha homojen ve tekdüze bir katalog kullanılmıştır. Çalışmanın temel sonuçları şu şekilde verilebilir:

(i) b -değeri, $M_c=2.6$ alınarak maksimum olasılık yöntemi ile 1.26 ± 0.07 olarak hesaplanmıştır ve bu nispeten büyük değer OAB'nin küçük/orta büyüklükte fazla depreme sahip olması ile açıklanabilir. Bu değer ayrıca, bölgedeki yüksek heterojenite ve düşük gerilme dağılımı olarak da yorumlanabilir.

(ii) %95 güven aralığı, doğrusal regresyon ve 5.03-81.09 arasında bir ölçek kullanılarak $D_c=1.31 \pm 0.03$ olarak hesaplanmıştır. Bu nispeten küçük değer deprem aktivitesinin daha küçük ölçeklerde (veya daha büyük alanlarda) kümelenmesine işaret eder. Bu değer ayrıca, episantrlar arasındaki uzaklığa bağlı olarak kümelenmelerden kaynaklı baskın yapısal bir karakter olarak tanımlanabilir.

(iii) b ve D_c -değerlerinin zamana bağlı değişimleri b -değerindeki azalma ve D_c -değerindeki artma şeklinde önemli dalgalanmalar gösterir. Bu değişimler bu zaman periyodundaki gerilme

değişimleri ile ilişkili olabilir ve OAB ve civarındaki orta/uzun vadedeki gelecek deprem oluşumlarının değerlendirilmesi için öncü bilgiler sunabilir.

(iv) Düşük b -değerli bölgeler (<0.8) genellikle OAB'nin kuzeybatı ucunu içeren tüm alanlarda, TGFZ, SF ve NF boyunca, OAFZ'nin güneybatı kısımları boyunca ve çalışma alanının güneybatı kısmında hesaplanmıştır. Düşük b -değerli bu bölgeler daha yüksek gerilme veya düşük heterojenite ile ve OAB'nin aktif tektoniğinden kaynaklı deformasyon ile ilişkili olabilir.

(v) 2019 yılı başlangıcında birkaç sismik durgunluk bölgesi gözlenmiştir. Bu bölgeler, $39.48^{\circ}\text{K}-32.63^{\circ}\text{D}$ (TGFZ'nin ve çalışma alanının kuzeybatı), $39.13^{\circ}\text{K}-35.18^{\circ}\text{D}$ (SF'nin kuzeydoğusu ile OAFZ ve SF arasında), $38.76^{\circ}\text{K}-36.01^{\circ}\text{D}$ (OAFZ'nin kuzeydoğu kısımları), $38.14^{\circ}\text{K}-32.72^{\circ}\text{D}$ (Tuz Gölü'nün güneybatısı), $37.85^{\circ}\text{K}-34.59^{\circ}\text{D}$ (TGFZ'nin güneydoğu ucu ile TGFZ ve OAFZ arasında) ve $37.24^{\circ}\text{K}-35.34^{\circ}\text{D}$ (OAFZ ile YGFZ arasında) merkezli olarak verilebilir.

Sonuç olarak, düşük b -değerli ve yüksek Z -değerli alanlar gelecekteki güçlü/büyük deprem oluşumları için en olası bölgeler olarak düşünülebilir. Bu nedenle, sismotektonik parametreler arasındaki bu ilişkiler OAB için orta/uzun vadede güçlü/büyük deprem oluşumları için deprem tehlikesinin ortaya konmasında birincil ve önemli bulgular sağlayabilir. Eğer bu depremsellik davranışları güvenilir karakterler olarak tanımlanabilirse, OAB için deprem potansiyelinin ön değerlendirmesine katkı sağlayabilir.

TEŞEKKÜR

ZMAP yazılımını sağlayan Prof. Dr. Stefan Wiemer'e (ETH, Zürich), yapıcı tavsiyelerde bulunan hakem kuruluna ve editöre teşekkür ederim. Bu çalışmada kullanılan deprem verisini web sayfasından temin etmemi sağlayan AFAD ve KRDAE'ye teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Ali S.M., 2016. Statistical analysis of seismicity in Egypt and its surroundings, *Arab. J. Geosci.* 9, 52, doi.org/10.1007/s12517-015-2079-x.

Bozkurt E., 2001. Neotectonics of Turkey-a synthesis, *Geodin. Acta* 14, 3-30, doi.org/10.1016/S0985-3111(01)01066-X.

Chen C.C., Wang W.C., Chang Y.F., Wu Y.M., Lee Y.H., 2006. A correlation between the b -value and the fractal dimension from the aftershock sequence of the 1999 Chi-Chi, Taiwan, earthquake, *Geophys. J. Int.* 167, 1215-1219, doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.03230.x.

Chiba K., 2019. Spatial and temporal distributions of b -values related to long-term slow-slip and low-frequency earthquakes in the Bungo Channel and Hyuga-nada regions, Japan, *Tectonophysics* 757, 1-9, doi.org/10.1016/j.tecto.2019.02.021.

Console R., Montuori C., Murru M., 2000. Statistical assessment of seismicity patterns in Italy: Are they precursors of subsequent events? *J. Seismol.* 4, 435-449, doi.org/10.1023/A:1026540018598.

Frohlich C., Davis S., 1993. Teleseismic b -values: Or, much ado about 1.0, *J. Geophys. Res.* 98(B1), 631-644, doi.org/10.1029/92JB01891.

Gentili S., Peresan A., Talebi M., Zare M., Giovambattista R.D., 2019. A seismic quiescence before the 2017 Mw 7.3 Sarpol Zahab (Iran) earthquake: Detection and analysis by improved RTL method, *Phys. Earth Planet. Inter.* 290, 10-19, doi.org/10.1016/j.pepi.2019.02.010.

Grassberger P., Procaccia I., 1983. Measuring the strangeness of strange attractors, *Physica D: Nonlinear Phenomena* 9(1-2), 189-208, doi.org/10.1016/0167-2789(83)90298-1.

Gutenberg R., Richter C.F., 1944. Frequency of earthquakes in California, *B. Seismol. Soc. Am.* 34, 185-188, doi.org/10.1038/156371a0.

Hirata T., 1989. Correlation between the b-value and the fractal dimension of earthquakes, *J. Geophys. Res.* 94, 7507-7514, doi.org/10.1029/JB094iB06p07507.

Kagan Y.Y., 2007. Earthquake spatial distribution: the correlation dimension, *Geophys. J. Int.* 168, 1175-1194.

Kahraman S., Baran T., Saatci İ.A., Salk M., 2008. The effect of regional borders when using the Gutenberg-Richter model, case study: Western Anatolia, *Pure Appl. Geophys.* 165, 331-347, doi.org/10.1007/s00024-008-0306-z.

Katsumata K., 2011. Precursory seismic quiescence before the Mw = 8.3 Tokachi-oki, Japan, earthquake on 26 September 2003 revealed by a re-examined earthquake catalog, *J. Geophys. Res.* 116, B10307, doi.org/10.1029/2010JB007964.

Oncel A.O., Wilson T.H., 2002. Space-time correlations of seismotectonic parameters and examples from Japan and Turkey preceding the İzmit earthquake, *B. Seismol. Soc. Am.* 92, 339-350, doi.org/10.1785/0120000844.

Oncel A.O., Wilson T.H., 2004. Correlation of seismotectonic variables and GPS strain-measurements in western Turkey, *J. Geophys. Res.* 109(B11), B11306. doi.org/10.1029/2004JB003101.

Ozmen B., Bayrak E., Bayrak Y., 2014. An investigation of seismicity for the Central Anatolia region, Turkey, *J. Seismol.* 18(3), 345-356, doi:10.1007/s10950-013-9411-2.

Ozmen B., 2015. Assessment of the statistical earthquake hazard parameters for the Central Anatolia region, Turkey, *Arab. J. Geosci.* 8, 6341-6351, doi.org/10.1007/s12517-014-1591-8.

Ozsayin E., Dirik K., 2007. Quaternary activity of the Cihanbeyli and Yeniceoba fault zones: İnönü-Eskişehir fault system, Central Anatolia, *Turk. J. Earth Sci.* 16, 471-492.

Ozturk 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 Geophys.* 59(2), 209-238, doi.org/10.2478/s11600-010-0050-5.

Ozturk S., 2012. Statistical correlation between *b*-value and fractal dimension regarding Turkish epicentre distribution, *Earth Sci. Res. J.* 16(2), 103-108.

Ozturk S., 2013. A statistical assessment of current seismic quiescence along the North Anatolian Fault Zone: Earthquake precursors, *Austrian J. Earth Sci.* 106(2), 4-17.

Ozturk S., 2015. A study on the correlations between seismotectonic b-value and Dc-value, and seismic quiescence Z-value in the Western Anatolian region of Turkey, *Austrian J. Earth Sci.* 108(2), 172-184, doi.org/10.17738/ajes.2015.0019.

Ozturk S., 2017. Space-time assessing of the earthquake potential in recent years in the eastern Anatolia region of Turkey, *Earth Sci. Res. J.* 21(2), 67-75, doi.org/10.15446/esrj.v21n2.50889

Ozturk S., 2018. Earthquake hazard potential in the Eastern Anatolian region of Turkey: seismotectonic b and Dc-values and precursory quiescence Z-value, *Front. Earth Sci.* 12(1), 215-236, doi.org/10.1007/s11707-017-0642-3.

Öztürk S., 2009. Deprem tehlikesi ve artçı şok olasılığı değerlendirme yöntemlerinin Türkiye'deki depremlere bir uygulaması. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 346s.

Pailoplee S., Choowong M., 2014. Earthquake frequency-magnitude distribution and fractal dimension in mainland Southeast Asia, *Earth Planets Space* 66, 8, doi.org/10.1186/1880-5981-66-8 .

Polat O., Gok E., Yilmaz D., 2008. Earthquake hazard of the Aegean Extension region (West Turkey), *Turk. J. Earth Sci.* 17, 593-614.

Radziminovich N.A., Miroshnichenko A.I., Zuev F.L., 2019. Magnitude of completeness, b-value, and spatial correlation dimension of earthquakes in the South Baikal Basin, Baikal Rift System, *Tectonophysics* 759, 44-57, doi.org/10.1016/j.tecto.2019.04.002.

Reasenberg P.A., 1985. Second-order moment of Central California seismicity, 1969-1982, *J. Geophys. Res.* 90(B7), 5479-5495, doi.org/10.1029/JB090iB07p05479.

Rodriguez-Perez Q., Zuniga F.R., 2018. Imaging b-value depth variations within the Cocos and Rivera plates at the Mexican subduction zone, *Tectonophysics* 734-735, 33-43, doi.org/10.1016/j.tecto.2018.03.019.

Roy S., Ghosh U., Hazra S., Kayal J.R., 2011. Fractal dimension and b-value mapping in the Andaman-Sumatra subduction zone, *Nat. Hazards* 57, 27-37, doi.org/10.1007/s11069-010-9667-6.

Scholz C.H., 1968. The frequency-magnitude relation of microfracturing in rock and its relation to earthquakes, *B. Seismol. Soc. Am.* 58, 399-415.

Saroglu F., Emre O., Kuscu O., 1992. Active fault map of Turkey; General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara, Turkey.

Singh C., 2016. Spatial variation of seismic b-values across the NW Himalaya, *Geomat. Nat. Haz. Risk.* 7(2), 522-530, doi.org/10.1080/19475705.2014.941951.

Telesca L., Chen Ch-ch., 2019. Fractal and spectral investigation of the shallow seismicity in Taiwan, *J. Asian Earth Sci.* 174, 1-10, doi.org/10.1016/j.jseae.2018.10.009.

Ulusay R., Tuncay E., Sonmez H., Gokceoglu C., 2004. An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey, *Eng. Geol.* 74(3-4), 265-291, doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.04.002.

Utsu T., 1971. Aftershock and earthquake statistic (III): Analyses of the distribution of earthquakes in magnitude, time and space with special consideration to clustering characteristics of earthquake occurrence (1), *J. Fac. Sci., Hokkaido Univ. Ser. VII (Geophysics)* 3, 379-441.

Wiemer S., Wyss M., 1994. Seismic quiescence before the Landers (M=7.5) and Big Bear (6.5) 1992 earthquakes, *B. Seismol. Soc. Am.* 84(3), 900-916.

Wiemer S., Wyss M., 2000. Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: Examples from Alaska, the Western United States, and Japan, *B. Seismol. Soc. Am.* 90(3), 859-869, doi.org/10.1785/0119990114.

Wiemer S., 2001. A software package to analyze seismicity: ZMAP, *Seismol. Res. Lett.* 72(2), 373-382, doi.org/10.1785/gssrl.72.3.373.

Wu Y.M., Chiao Y.L., 2006. Seismic quiescence before the 1999 Chi-Chi, Taiwan, M_w 7.6 Earthquake, *B. Seismol. Soc. Am.* 96(1), 321-327, doi.org/10.1785/0120050069.

Wyss M., Martirosyan A.H., 1998. Seismic quiescence before the M7, 1988, Spitak earthquake, Armenia, *Geophys. J. Int.* 134, 329-340.