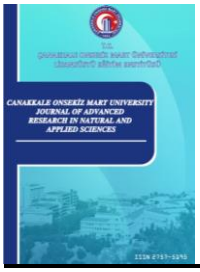
e-ISSN 2757-5195



Çanakkale Onsekiz Mart University

Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences

Open Access

doi.org/ 10.28979/jarnas.848568 2021, Cilt 7, Sayı 1, Sayfa: 82-99 dergipark.org.tr/tr/pub/jarnas

6 Şubat 2017, Mw=5.4 Ayvacık Depremi Öncesi ve Sonrası Temel Deprem Tehlike Parametrelerinin Analizi

Ayşe Gezer[1], Tolga Bekler[1,2,3*]

[1] Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye

[2]Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye

[3] Doğal Afetlerin Risk Yönetimi Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye

Makale Tarihçesi

Gönderim: 23.04.2020

Kabul: 20.11.2020

Yayım: 20.03.2021

Araştırma Makalesi

Öz − Kuzeybatı Ege bölgesinin en karmaşık tektonik unsurlarını barındıran Biga Yarımadası oldukça yoğun bir depremsellik gösterir. Bu yarımada ve yakın çevresi için farklı dönemlerde meydana gelen orta ve büyük depremlerin deprem tehlikesi analizi, çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Temel deprem parametreleri olarak da bilinen a ve b-değerleri bu çalışmanın veri tabanı olan aletsel dönem deprem kataloğundaki M>2 için belirlenmiş ve değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, ÇOMÜ ve KRDAE tarafından işletilen deprem istasyonları ve buna bağlı yüksek kaliteli faz okumaları sonucuna dayalı ortak bir deprem kataloğu kullanılmıştır. Ayvacık başta olmak üzere ve yakın çevresinde 6 Şubat 2017'de meydana gelen Mw=5.4 büyüklüğündeki deprem ile başlayan ve süreklilik gösteren deprem sonrası aktivitenin Tuzla deformasyon zonu çevresinde yaklaşık 25x10 km'lik bir alanda kümelendiği gözlenmiştir. Bu deprem öncesi ve sonrası yerel tektonik yapılar ve gerilme durumları ile ilişkilendirilebilecek başta b-değeri olmak üzere olasılıksal parametreler de değerlendirilmiştir. Kısa ve uzun dönemde bu parametrelerin ana deprem öncesi ve sonrası azalım ve artış eğilimleri yerel ve bölgesel hâkim gerilmelerin yanında üst kabuktaki heterojenite ve jeotermal kaynaklar da göz önünde bulundurularak sismisite ve sismotektonik yapıya katkısı ve ilişkisi uzaysal ve zamansal olarak incelenmiştir. Saroz-Ayvacık-Edremit doğrultusunda alansal olarak deprem verisi yoğunluğu dikkate alındığında *b-değerlerinin* gerilmelerle ters orantılı olarak deprem öncesi artışı ve akabinde de bu davranış azalımı 2014 ve 2017 depremleri ile kendisini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler − *Ayvacık, depremsellik, deprem tehlike analizi*

Analysis of Basic Hazard Parameters Before and After the February 6, 2017 Ayvacik Earthquake (Mw=5.4)

[1]Department of Geophysical Engineering, Faculty of Engineering, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

[2]Department of Geophycial Engineering Department, School of Graduate Studies, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

[3]Department of Risk Management of Natural Disaster, School of Graduate Studies, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

Article History

Received: 23.04.2020

Accepted: 20.11.2020

Published: 20.03.2021

Research Article

Abstract − The Biga Peninsula, which has the most complex tectonic segments of the northwestern Aegean region, shows a remarkable dense seismicity. The earthquake hazard analysis of medium and large earthquakes occurred at different periods for the peninsula and its vicinity is the basis of this study. The basic earthquake parameters those are generally known as a and b-values, were determined, and evaluated for the earthquakes M> 2 during the instrumental period earthquake catalog, which is the database of this study. A homogenous earthquake catalog combined of two institutions COMU and KOERI data, which are quite dense and have high solution quality, play a remarkable role in this study. It was observed that the dense seismic activity after the earthquake that initiated in the event of Mw = 5.4 on February 6, 2017, especially in Ayvacik and its close vicinity, and which has been continuing, was clustered around Tuzla deformation zone in an area of approximately 25x10 km. Probabilistic parameters including b-value which can be related with local tectonic structures and stress states before and after this earthquake were also evaluated. In the short and long term, the decreasing and increasing tendencies of these parameters before and after the main shock were examined spatially and temporally in addition to local and regional dominant stresses, heterogeneity in the upper crust and the contribution of the geothermal resources to the seismicity and seism tectonic structure. Considering the spatial density of earthquakes towards to Saroz-Ayvacık-Edremit, the pre-earthquake b-values increased inversely with the stresses, and then this decline in behavior was distinguished in the 2014 and 2017 earthquake sequences.

Keywords − *Ayvacik, seismicity, earthquake hazard analysis*

[1] ayse.jfz@gmail.com

[2] tbekler@comu.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Olasılıksal deprem tehlike analizi yaklaşımlarında Gutenberg-Richter bağıntısındaki (*LogN=a-bM*) temel iki regresyon parametresi depremsellik çalışmalarında önemli rol oynamaktadır (Gutenberg ve Richter, 1944). Kısaca belirtmek gerekirse bu bağıntıda 'a' ve 'b' pozitif gerçek sabit olduğu yerlerde deprem sayısı ve büyüklüğü tarafından kontrol edilmektedir. Burada; *a-değeri* olay (deprem) oranı tarafından belirlenmekte ve belirli bir bölge için dikkate alınan yoğunluk ve zaman aralığına bağlıdır. Diğer yandan *b-değeri* tektonizma ile ilişkilendirilen bir parametre olarak literatürde birçok araştırmacı (Wyss, 1973) tarafından değerlendirilmiştir. Yer içi heterojen yapısı ve gerilmeler, gözenek basıncı gibi fiziksel oryantasyonlar ile *b-değeri* arasındaki korelasyonlar yanında *b-değerinin* zaman ve mekansal değişimleri bu alandaki gelişmelerin incelenmesine konu olmuştur. Özellikle b-değerinin farklı ölçekteki değişimleri yerel ve global sismisite ile olan ilişkisine bağlı olarak açıklanmaktadır. Gutenberg ve Richter (1954), global ölçekte *b-değerinin* 1.0-1.6 arasında, McNally ve James (1989) *b-değerinin* 0.8-1.2 arasında, Udias ve Mezcua (1997) küresel sismisite için *b-değerinin* 0.6-1.6 arasında değişim gösterdiğini ifade etmişlerdir. Monterroso ve Kulhanek (2003), Orta Amerika sismisitesi için *b-değerlerinin* kıtasal çerçevede 0.6 ile 1.6 arasında olduğunu bulmuşlardır.

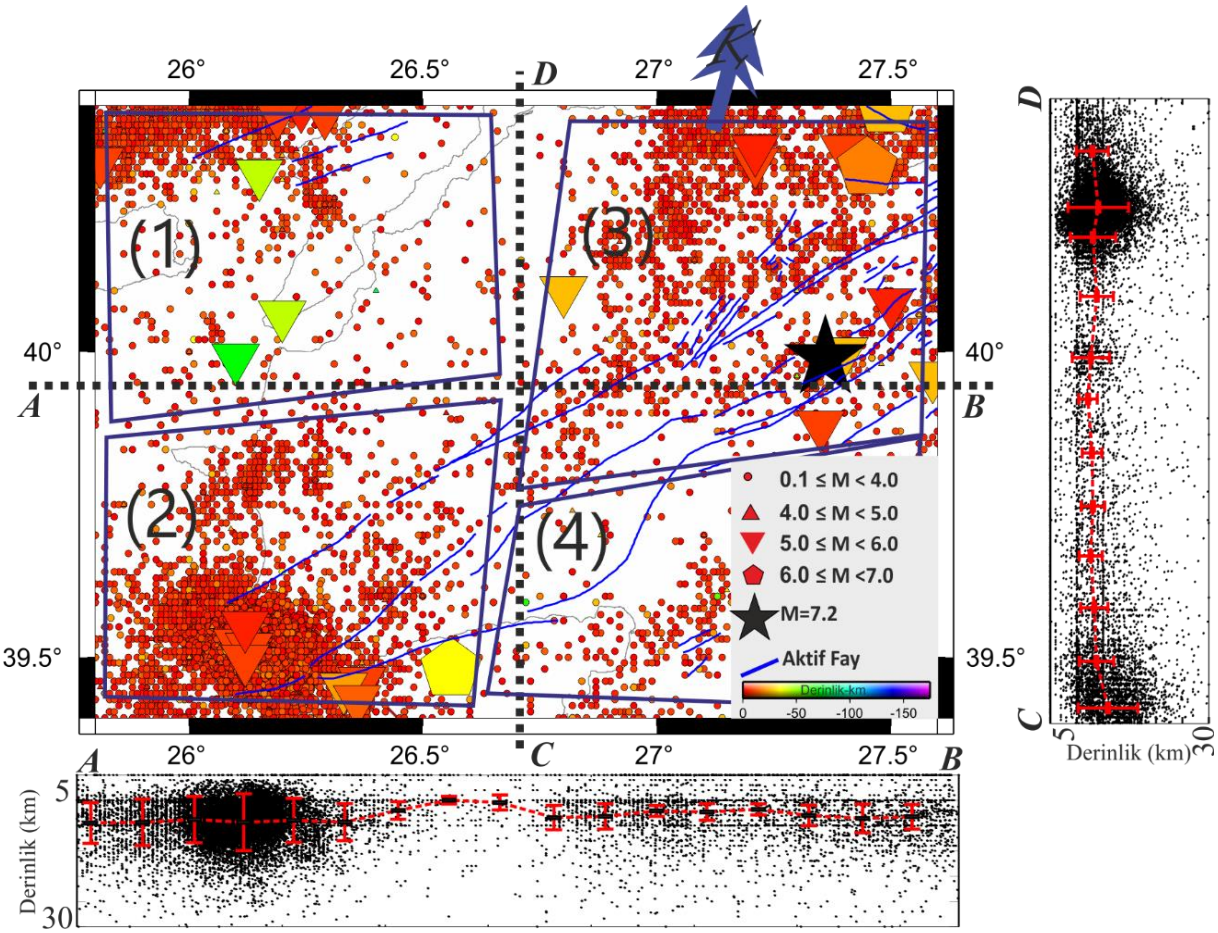
Türkiye'nin güney bölgesi için yapılan sismik tehlike çalışmasında, *b-değeri* 0.33 ile 1.13 arasında değişim göstermiştir (Yılmaztürk ve Burton, 1999). Marmara Bölgesi'nin depremselliğinin incelendiği Sayıl ve Osmanşahin (2005)'in çalışmasında, Tekirdağ Bölgesi (Saroz-Gaziköy fayı) için a=3.38, b=0.47; Saroz Bölgesi (Saroz Körfezi) için a=3.66, b=0.52; Bandırma Bölgesi (Çan- Biga fay kuşağı, Sarıköy fayı ve Yenice-Gönen fayı) için a=4.05, b=0.56 hesaplanmıştır. Sismik aktivitenin yoğun olduğu, dünyadaki belli başlı etkin fayları içeren bölgeler için yapılan çalışmalarda, *b-değeri* tektonizmanın karakterine ve deprem sayısına da bağlı olarak 0.55-1.19 arasında hesaplanmıştır (Bayrak vd., 2008). Poisson dağılımı uygulanarak, 100 yıl içerisinde büyüklüğü $M_s \geq 7.0$ olan bir depremin olma olasılığı, Tekirdağ ve çevresi için %60.3, Saroz Bölgesi için %50.9, Bandırma Bölgesi için ise %57.3 oranında bulunmuştur. Depremlerin istatistiksel hesaplamalara bağlı olarak oluşum ve tektonizma ile birlikte değerlendirilmelerinde sıkça kullanılan Gutenberg-Richter parametresi olan b-değeri ile ilgili literatürde oldukça fazla çalışma olmakla beraber bu çalışmaların birçoğu bu değerin düşük olduğu alanların yüksek gerilme alanları ile ilişkilendirilebileceğini savunmaktadır (Bridges ve Gao, 2006). Dolayısıyla *b-değeri* alansal değişimlerini deprem oluşma tehlikesinin daha fazla olduğu şeklinde değerlendirmek mümkündür. Orta ve büyük ölçekli depremlerin oluş mekanizmaları bu yaklaşım ile birçok tektonik bölgede uyumludur. Kuzeybatı Ege ve Biga Yarımadası'nda Saroz-Gaziköy ve Yenice-Gönen kırıklarının ürettiği depremlerin olduğu yerellerde düşük b-değeri elde edilmiştir. Tarihsel ve aletsel dönemde de bu deformasyon alanlarında yıkıcı depremler olduğu görülmektedir. Bölgesel b-değerlerinin güncel teknonizma ile olan ilişkilendirilmesi bu çalışmada yerel ölçekte ve daha sık güncel örnekleme verisi ile çalışılmıştır.

Bu çalışmada, 6 Şubat 2017 Ayvacık depremi (Mw=5.4) öncesi ve sonrası deprem parametrelerinin uzaysal ve zamansal değişimleri incelenmiştir. Ayvacık merkez olmak üzere 100 km^2 lik alanda yıkıcı olarak kabul edilebilecek bir depremin, 5 Şubat 2017 tarihine kadar olmaması bu bölgede yerel ölçekte deprem tehlike analizi yapılmasına imkan vermemiştir. Bunun yanında yerel fay sistemlerine bağlı çok sayıda deprem üretilmemiş olması da bu ve benzer deprem tehlike analizi kapsamında parametrelerinin de hesaplanamamasına neden olmuştur. İlk defa 6 Şubat 2017 Mw>5.4 olarak meydana gelen depremlerin olasılıksal parametrelerine bağlı tehlike analizi bu çalışma ile tartışılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Kuzey Anadolu Fay kuşağı, deprem üretkenliği açısından dünyadaki bilinen en önemli fay kuşaklarından birisidir. Biga yarımadası ve çevresinde genel olarak bu fay kuşağının uzantıları görülmektedir. Gelibolu ve Biga yarımadalarındaki Saroz-Gaziköy fayı, Etili fayı, Çan-Biga fay kuşağı, Sarıköy fayı ve Yenice-Gönen fayları meydana getirdikleri depremler nedeni ile diri oldukları bilinen faylardır. Sağ yanal doğrultu atım

karakterine sahip Saroz-Gaziköy fayı 1912 Mürefte-Şarköy (Tekirdağ) depremi (Ms=7.3, KRDAE) olarak bölgesel etkisi oldukça büyük yıkıcı bir depreme neden olmuştur. 1935 tarihinde 6.3 büyüklüğündeki depremin yaşandığı Çan-Biga fay kuşağı, kuzeydoğu-güneybatı yönelimli birçok fay parçasından oluşmaktadır. Biga yarımadası 1935 depreminden sonra yıkıcı etkisi olan bir deprem de bölgedeki yanal atım faylanma karakterinin baskın olduğu Yenice-Gönen fayının yırtılması ile sonuçlanan 18 Mart 1953 Gönen depremidir (Ms=7.2, KRDAE). Bölgesel faylanmaların genellikle jeotermal sahalarını sınırlayan alanlarda aktif olduğu, bu fayların da Biga yarımadası kuzeybatı kesiminde Kuzey Anadolu Fayı baskın yanal atım karakterli temel özelliklerini yansıtmakla beraber, Ayvacık güneybatı (KB-GD doğrultulu Tuzla fayı, Babakale ve Gülpınar fayı) ve Edremit Körfezi kuzey kesimlerinde (Edremit, Havran Balya fayları, KD-GB ve KB-GD doğrultulu Midilli-Ege Denizi fayları) Batı Anadolu açılma rejimi unsurlarının temsilcisi olan düşey atımlı fayların baskın olduğu görülmektedir (Sözbilir vd., 2018).

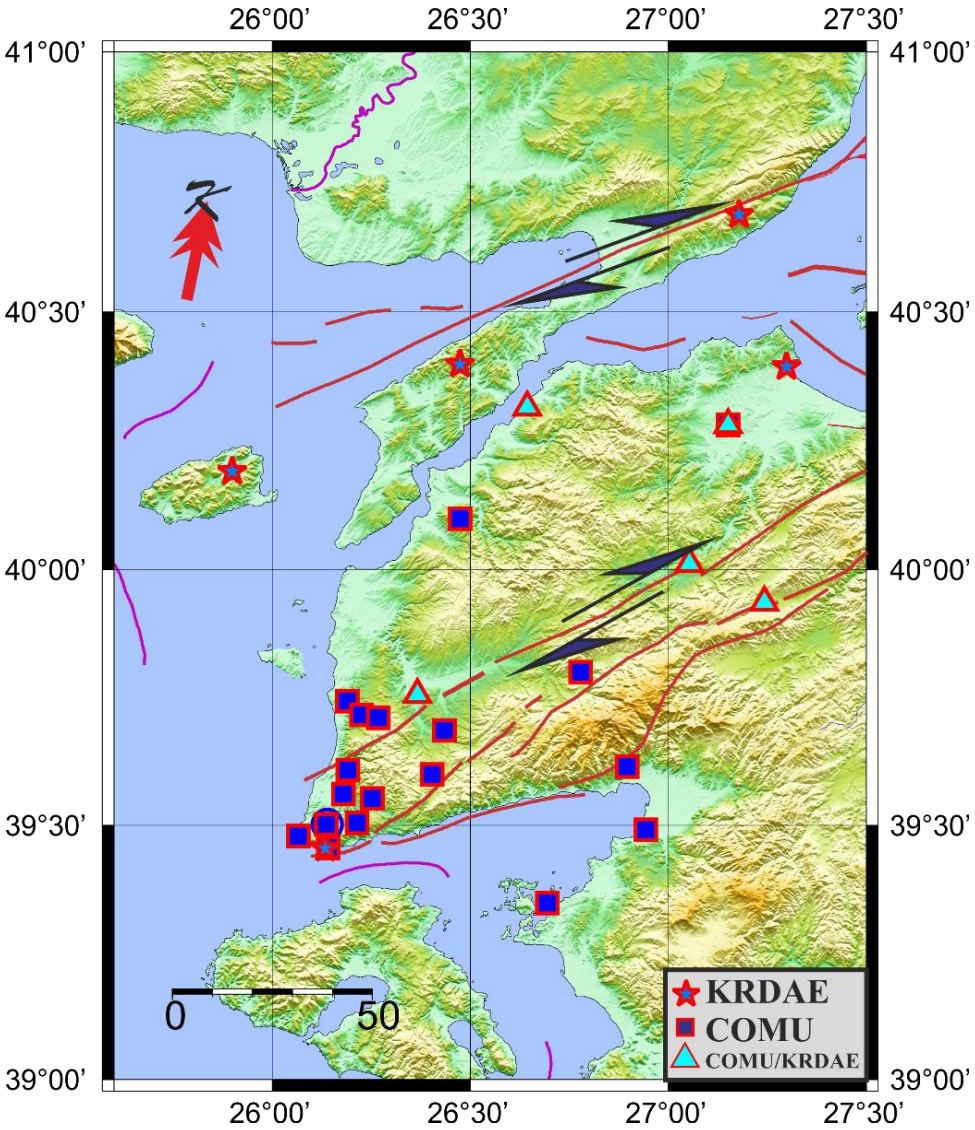


Şekil 1. Biga yarımadası sismisitesi ve deprem kaynak bölgeleri ile deprem odaklarının A-B ve C-D kesitleri boyunca dağılımları. Kesit boyunca çizgiler derinliklerin ortalama deprem yoğunluğu ölçeğindeki değişiminin standart sapmasını göstermektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

39°–41° K enlemleri ve 25°–28° D boylamları, Ayvacık ve çevresi için çalışma alanının sınırlarını oluşturmaktadır (Şekil 1). Çalışmada kullanılan deprem katalog bilgisi Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi (ÇOMÜ) Deprem Araştırmaları Uygulama ve Araştırma Merkezi (DAUM) ile Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem ve Tsunami İzleme Merkezi (KRDAE-BDTİM) veri tabanı kullanılarak oluşturulmuştur. Ayvacık depremi sonrasında başta depremin en çok etkilediği Yukarıköy'e yakın olan Ayvacık, Ezine, Edremit çevresi olmak üzere 15 adet geçici deprem istasyonu belirli süreler içinde

kurulmuş ve kaydedilen sürekli veri seti içinde depremler ayıklanmıştır. Bu istasyonlara ek olarak KRDAE istasyonları tarafından kaydedilen depremler de değerlendirmelere katılmıştır. Kullanılan istasyonların dağılımı Şekil 2'de verilmiştir.



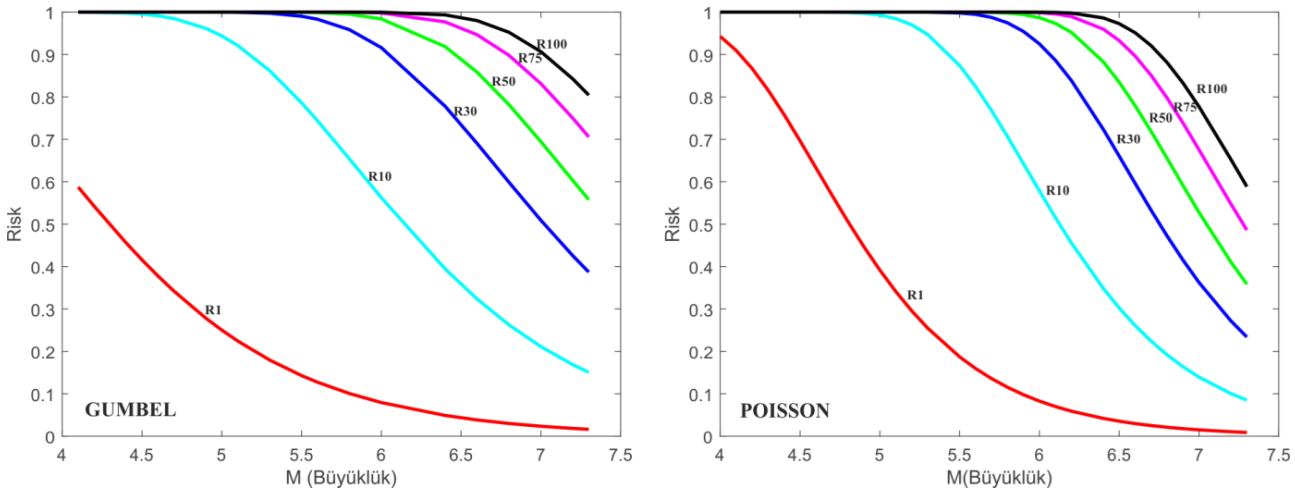
Şekil 2. Biga yarımadası, Ayvacık ve Edremit bölgesi deprem istasyonları (geniş peryod). KRDAE istasyonları yıldız, COMU istasyonları kare ve hem KRDAE hem de COMU tarafından ortak çalıştırılan istasyonlar üçgen ile temsil edilmiştir.

Bu istasyonlar arasında deprem dalgası formunda olan olaya ait toplam 32,922 P ve S dalga fazı varış zamanları okunmak sureti ile bu depremlerin çözümleri yapılarak katalog oluşturulmuştur. Depremlerin çözümünde Kalafat vd., (1987) kabuk modeli kullanılmıştır. Yerel ve bölgesel aktif fayların kinematiği ve deprem episantr dağılımı da dikkate alınarak 4 ayrı sismik alt bölge oluşturulmuştur. 2017 Ayvacık depremleri öncesi katalog bilgisi 1912 yılından itibaren olmak üzere KRDAE veri tabanına göre seçilmiş 2017 ve sonrası depremlere ait ÇOMÜ kataloğu ile birleştirilerek M≥0.1 olan toplam 20,300 deprem çalışmanın veri setini oluşturmuştur. Depremlerin dağılımları ve seçilen sismik alt bölgeler Şekil 1' de verilmiştir.

3.1. Gumbel Uç Değerler ve Poisson Dağılımıyla Deprem Tehlikesinin İncelenmesi

Gumbel uç değerler dağılımında, yıllık en büyük deprem büyüklükleri kullanılarak, depremlerin olma olasılıkları ve geri dönüş peryodları hesaplanmaktadır (Bağcı 2000). Poisson dağılım modeli ile karşılaştırıldığında Gumbel uç değerler yaklaşımı olasılık modelinin oluşturulmasında daha esnektir; deprem oluşumlarının istatistiksel analizinde veri kümesinin eksik olması durumunda da kullanılabilmektedir. Genelde Gumbel teorisi, tanımlı bir zaman aralığında, en büyük deprem büyüklük değerleri kullanılarak deprem katalog kümesinde olayların sıralamasında kullanılmaktadır. Ayvacık ve Biga yarımadasını da kapsayan alan içinde 1 yıldan 100 yıla kadar beklenen büyüklüklere göre risk eğrilerine bakıldığında 30 yıl içerisinde büyüklüğü 6.0 olan bir depremin oluşma olasılığı %91 olarak değerlendirilmiştir. Bölgesel olarak ise 100 yıl içerisinde M>7.0 olan bir depremin oluşma olasılığı %90, tekrarlanma peryodu ise 42 yıl olarak elde edilmiştir (Şekil 3).

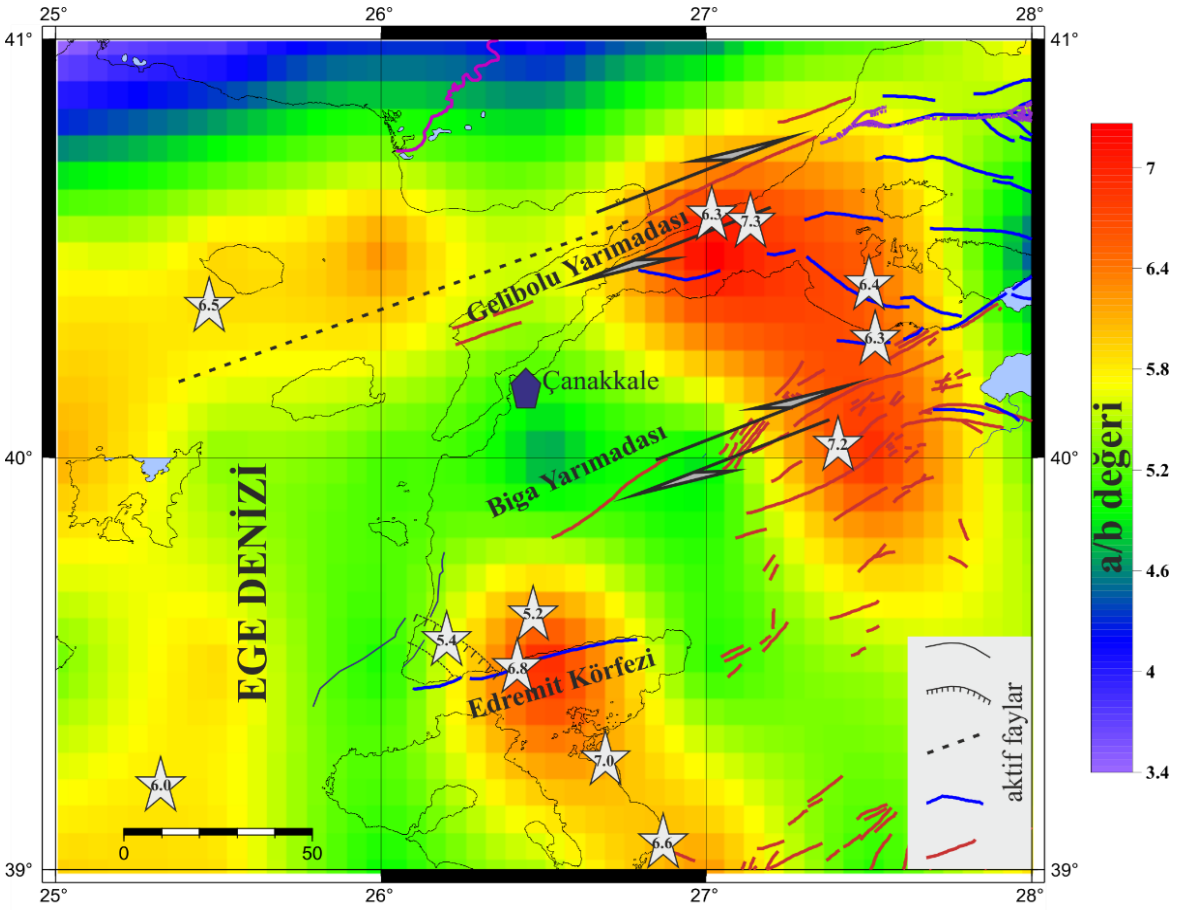
Genellikle depremlerin zamansal oluşumları Poisson ve Poisson olmayan bir modele göre değerlendirilir. Poisson modeli depremlerin Poisson sürecine göre basit bir değerlendirme imkânı sunarken Poisson sürecine uygun olmayan model, elastik yenilme (rebound) teorisi üzerine kuruludur. Poisson sürecini takip eden olaylar zaman, boyut ve depremin yerine göre rastgele ve bağımsızdır. Poisson olmayan model ise belirli bir fay veya segmentin üzerinde meydana gelen depremler geçmiş depremsellikle ilişkilendirildiği kabullenmesini yapar. Bu yüzden depremlerin oluşumu; olayların zamanları, etki alanları, konumları ve önceki depremler ile ilişkilidir. Bu modelin fiziksel esası da elastik yenilme teorisidir. Deprem oluşum modelleri ağırlıklı olarak Poisson dağılımını içerir. Deprem büyüklükleri ve oluşum sayıları ile ilgili temel regresyon bağıntısı Gutenberg ve Richter (1944) tarafından önerilen "*LogNc(M)=a-bM*" olarak verilen ifadedir. Bu, tüm sürecin bir eşik büyüklüğünün üzerinde olduğunu varsayar; Nc M'den daha büyük veya eşit birikimli deprem sayısıdır. Uygulamada ise modelin zayıf tarafı doğruluk, özellikle de düşük büyüklük aralıklarında analiz edilen veri kümelerinin tekdüzeliği ve tamamlılığın (*Mc*) eksik olmasıdır. Bu türde bir düzensizliği etkileyen en önemli faktörlerin başında sismik ağın, depremselliğin gözlenmesindeki hassasiyeti ve zamansal olarak düzenli kayıtta olmaması sayılabilir. Bu çalışmada kullanılan deprem istasyonlarının sayısı ve algılama kapasitesinin niteliği, Poisson sürecinin bu aşamadaki olumsuzlukları minimize etmiştir. Poisson modeline göre, Biga yarımadası genelinde 30 yıl içerisinde M> 6.0 olan bir depremin oluşma olasılığı %84 olarak değerlendirilirken, yaklaşık 16 yıl da tekrarlanma periyodu olarak hesaplanmıştır. 100 yıl içerisinde büyüklüğü 7.0 olan bir depremin olma olasılığı %80, 105 yıl da tekrarlanma aralığı olarak elde edilmiştir (Şekil 3)



Şekil 3. Gumbel uç değerler ve Poisson dağılımına göre deprem risk analizi eğrileri

3.2. Modal Değerin (a/b) Dağılımı

Son yıllarda yapılan bazı çalışmalar (Yılmaztürk ve Burton, 1999; Bayrak vd., 2008) ise, tek başına a ve b parametrelerine karşın *a/b-değerinin* sismisite ile tektonik unsurların uyumunu daha çok ön plana çıkarması ve bir ölçek olması açısından bu çalışmada da kullanılmıştır. *a/b-değerlerinin* yüksek olduğu bölgelerde büyük ve yıkıcı depremlerin olduğu gözlemlenmiştir**.** 1912 Mürefte-Şarköy (Ms=7.3, KRDAE), 1944 Edremit Körfezi (Ms=6.8, KRDAE) ve 1953 Yenice-Gönen (Ms=7.2, KRDAE) depremleri bu nitelikte depremlerdir. 1912-2018 yılları arasında meydana gelen büyüklüğü M≥*Mc* (*Mc*=2.2) olan deprem verileri kullanılarak, çalışma alanı için 0.05º x 0.05º 'lik bir grid ağı oluşturularak hesaplanan *a/b-değerleri* görüntülenmiştir (Şekil 4). Bölgesel deprem kataloglarına bağlı deprem parametrelerinin yüksek hassasiyette elde edilmesinde *Mc* değerinin değerlendirilmesi Cambaz vd., (2019) tarafından ele alınmış olup Ayvacık için *Mc*=2.0, *b-değeri* de 1.0 ± 0.08 hesaplanmıştır. Mevcut çalışma ile bu değerlerin oldukça uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Çalışma alanındaki *a/b-değerlerinin* basitleştirilmiş tektonik harita (Emre vd., 2013) üzerindeki dağılımı. Yıldızlar M>5 olan depremlerin yerlerini göstermektedir.

3.3. *b-değerinin* Zamana Bağlı Değişimi

b-değerindeki geçici değişimlerin potansiyelini incelemek için kısa, orta ve uzun vadeli olarak, deprem öncüsü çalışmaları son yıllarda özellikle depremlerin zamansal dağılımının gerilme birikimi olan ilişkisinin araştırılmasında ön plana çıkmaktadır. Sonuçlar büyük depremlerin genellikle *b-değerindeki* artışın orta vadede gerçekleştiğini ardından depremden önceki haftalarda/aylarda bir azalış olduğunu göstermektedir (Sammonds, Meredith ve Main, 1992). Molchan ve Dmitrieve (1990)'ın ana şoktan önceki günler-saatlerde öncü depremler için geçici *b-değerleri* çalışmaları vardır. Monterroso (2003)'ün Orta Amerika için deprem

kataloglarında *b-değerinin* büyük depremlerden önce önemli ölçüde azaldığı hipotezini destekleyen çalışması vardır. Büyük magnitüdlü depremlerle karşılaştırıldığında küçük depremlerin oluşumu, *b-değerleri* kullanılarak düşük *b-değerlerinin* olduğu bir alandan itibaren başladığını göstermektedir. Bu durum büyük gerilmelerin bir göstergesi olarak da düşünülebilir. 2017 Ayvacık depremi sonrası *b-değerinin* düştüğü, kırılan alanın Tuzla fayı ile ilintili olduğu sonucu ortaya konulmaktadır. Benzer sonuçlar her ne kadar yüksek frekanslı da olsa Abdikan vd., (2019) tarafından yapılan Ayvacık depremi Insar analizlerinde de görülmektedir.

Coulomb gerilme düşümündeki maksimum değişim fay düzleminde oluşmaktadır. Bu yüzden ana şokun oluştuğu, esas kayma düzlemini meydana getiren kırılmaların çevresindeki küçük fay segmentlerinde artçı mekanizmaların meydana gelmesi beklenir. 12 Kasım 1999 Düzce depremi (Mw=7.2, KRDAE) ana şokun olduğu bölgede düşük *b-değerlerinin* yüksek Columb gerilme artışı ile işkili olduğu değerlendirilmiştir. Bu düşük b-değerinin nedeni asperite yakınındaki gerilme durumudur Görgün vd., (2009) ve yırtılma sonrası *b-değerinde* yükselme eğilimi olmaktadır. Şekil 5 ve Şekil 6'daki *b-değeri* değişimi, artçı olayların faylanma bölgesindeki ana gerilme alanlarındaki dağılımı ile uyumludur. Çalışma alanında b-değerleri her alt bölge için hesaplanmıştır; en yüksek *b-değeri* Alan 4'te (b= 1.100), en düşük *b-değeri* ise Alan 3'te (b= 0.5844) hesaplanmıştır. Bu bölgelerde meydana gelen deprem büyüklükleri dikkate alındığında Alan 4'te meydana gelen en büyük deprem büyüklüğünün 5.9 olduğu, Alan 3'te ise 6.3, 6.4, 7.2 ve 7.3 büyüklüğündeki depremlerin üretildiği görülmektedir.

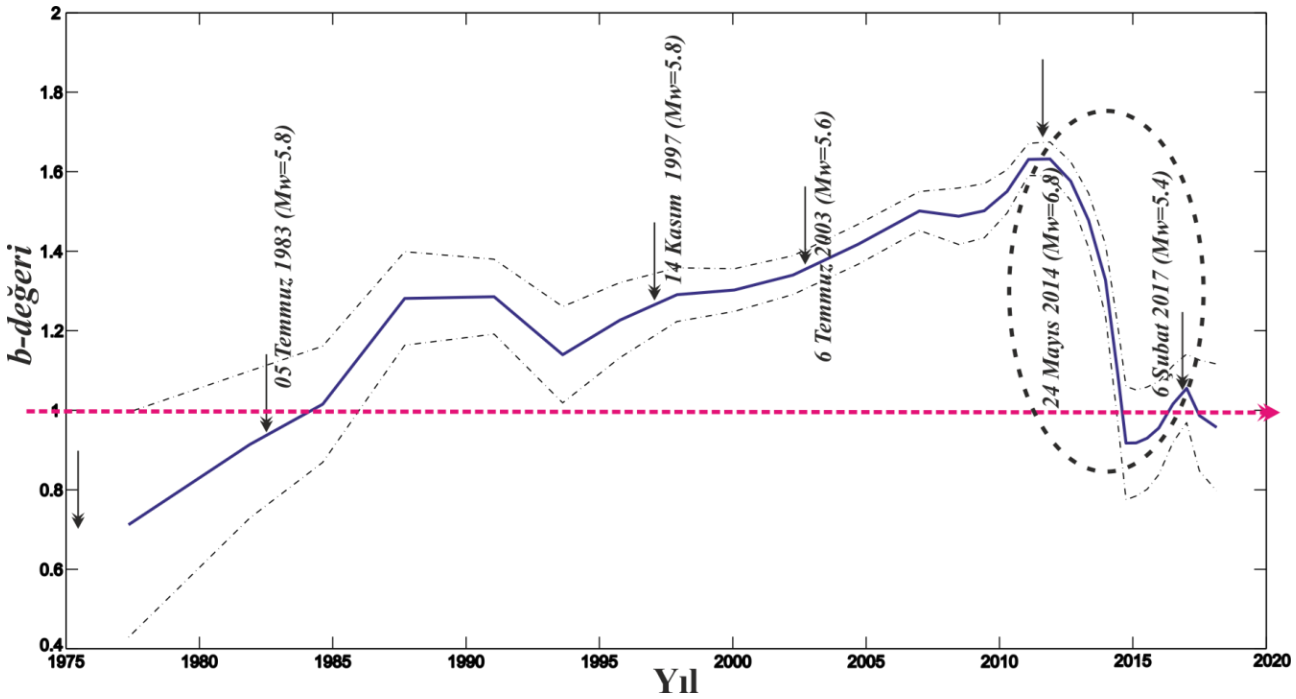
Yerel ve bölgesel tektonizma ile fay topluluklarının farklı geometrilerde yırtılma mekanizmalarının istatistiksel davranışının incelenmesinde *b-değeri* oldukça etkin bir parametre olmakla beraber sayısal veya yığınsal farklılık göstermesi sebebi ile ampirik bir bağıntı üyesidir. Bölgesel ve yerel gerilme koşulları ile *b-değeri* arasındaki ters orantı bu konuda yapılan birçok çalışma ile de ortaya konulmuştur. Yırtılma öncesi gerilmenin arttığı bölgelerde *b-değerindeki* göreceli düşüş yine ko-sismik davranış sonrası *b-değerindeki* artışın olması çoklu kırılma veya deformasyonun yüksek seyrettiği yerlerde belirgin anomali gösterebilmektedir. Bu bakımdan Şekil 4'teki *b-değerinin* zamana bağlı uzun peryod değişimleri Biga ve Ayvacık yarımadaları için tipik belirteçtir denilebilir.

Orta ve büyük depremler öncesi depremsellik yoğunlaşması olan bölgeler, ana şok öncesi gerilme artışı potansiyel alanları ile ilişkilendirilebilecek bölgeler olarak da değerlendirilebilir. Diğer yandan özellikle Ayvacık ve Biga yarımadalarında jeotermal kaynakların oldukça yoğun olduğu düşünülürse, böylesi hızlı metamorfizmayı kontrol eden arka plan depremlerin de yine tektonik yüklenmeler ile yoksa tersi bu arka plan depremlerin yerel gerilmelere neden olacağı konusunda hipotezler vardır. Buna göre *b-değerleri* bir sonraki gerilme boşalım alanları hakkında bir fikir verecektir.

Zamana bağlı *b-değerinin* değişimlerini incelemek için kayan bir zaman-pencere yöntemi kullanılmaktadır. Bunun için, bir deprem kataloğundan bir grup deprem seçilir, *b-değeri* ilk *N* olayı için hesaplanır. Ardından, pencere belirli sayıda olaya karşılık gelen bir zamana göre kaydırılır, örn. *N*/10 olay. Yeni veri grubu için *b-değeri* hesaplanır ve son olaya ulaşılana kadar işlem tekrarlanır.

Hesaplanan her *b-değeri*, ilgili pencerenin orta noktasına atanır. Şekil 5'te çalışma alanındaki *b-değeri* zamana bağlı değişimi hesaplanmıştır. Buradaki değişimin üst ve alt sapma değerleri (kesikli çizgi), KRDAE kataloğuna ek olarak ve ÇOMÜ kataloğundaki (Şubat, 2017-Aralık 2018) deprem verisinde 50 olay ve 5 olay kayması içeren zaman penceresi kullanılarak hesaplanmaktadır.

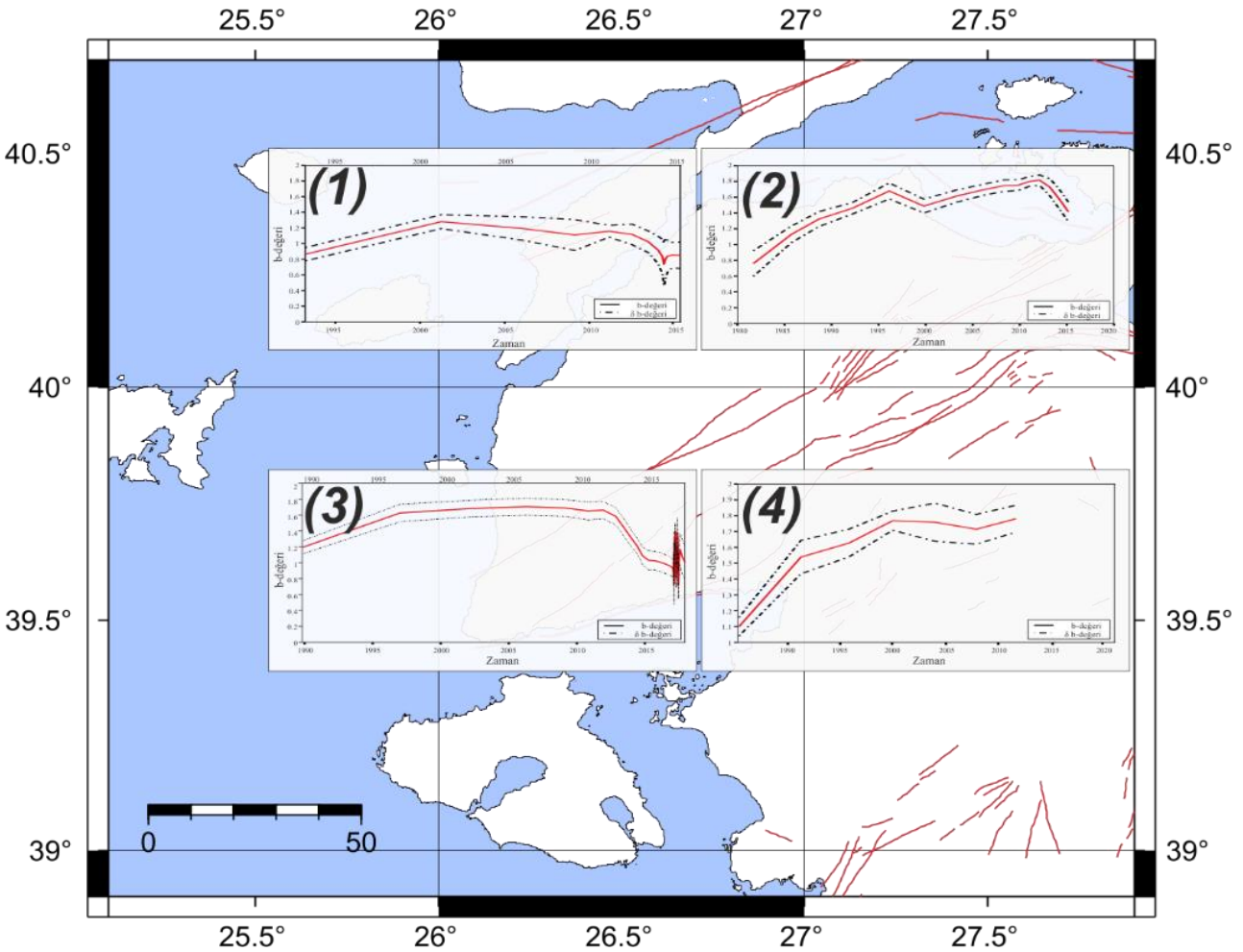
Çalışma alanındaki b-değerinin %95 güven aralığında kaldığını ortaya koymak, *b-değeri* değişimindeki kararlılığı doğrulamak için farklı zaman pencereleri test edilmiştir. Pencere içindeki deprem sayısının seçimi zamandaki seçilebilirlik ile daha geniş pencerelilerin yuvarlatma etkisi arasında uyumu açısından önemlidir (detayları için Wiemer, 2001). Pencere içinde kullanılan farklı sayıda (50 -150) deprem kullanılması yanında her pencerenin kaydırma miktarının (5-10 adımda bir) çözünürlüğü değiştirmediği görülmüştür.



Şekil 5. Ayvacık, Biga yarımadası, Saros ve Edemit Körfezlerini de kapsayan alanda *b-değerinin* yıllara göre değişimi ve büyüklüğü M>5.4 olan depremlerin dağılımı. Grafikte, 24 Mayıs 2014 ve 6 Şubat 2017 depremleri öncesi *b-değerinde* belirgin artışın olduğu görülmektedir

Şekil 5'te Ayvacık-Biga yarımadası ve yakın çevresinde 1980' den 2018 yılının sonuna kadar *b-değerinin* değişimi verilmiştir. Bu tarihten önce aletsel döneme ait *b-değerinin* elde edilmesi için yeterli sayıda veri olmadığından regresyon katsayıları belirlenememiştir. Bu grafikte en çarpıcı olan, 24 Mayıs 2014 Gökçeada depremi (Mw=6.8) öncesi *b-değerinde* artış ve ardından yaklaşık 3 yıl sonra 6 Şubat 2017 depremi (Mw=5.4) öncesi b-değerindeki agresif düşüştür. *b-değerindeki* bu artış, bir sessizlik (quiescence) anomalisinin aynı zamanda "belirgin bir anomali" (daha küçük boyutlu olayların sayısındaki nispi bir artış, daha büyük olanların sayısındaki nispi düşüş) olduğunu göstermektedir. 6 Şubat 2017 Ayvacık depremi (Mw=5.4) öncesi *b-değeri* yerel olarak yüksek olmakla beraber, düşme eğilimi gösterdiği 24 Mayıs 2014 Gökçeada depremi (Mw=6.8) sonrası izlenebilmektedir. Ana depremden yaklaşık 2.5 ile 3 yıl öncesinden başlayan b-değerindeki artış oldukça belirgindir.

Yüksek *b-değerleri* büyük heterojenitenin ve düşük dayanımlı bölgelerde beklendiği gibi çok sayıda küçük depremler ile ilişkilendirilmektedir. Buna karşın, düşük *b-değerleri* ise yüksek direnç ve düşük heterojenlik gösteren alanlara tekabül etmektedir. Bölgesel *b-değerlerinin* küresel ölçekte yüksek seyrettiği ve bu konumlardan düşüş gösteren *b-değerlerinin* de *y*üksek gerilme birikimi ve gelecekte büyük yırtılma olasılığı olan faylanma alanları ile örtüştüğü şeklinde yorumlamak mümkündür.



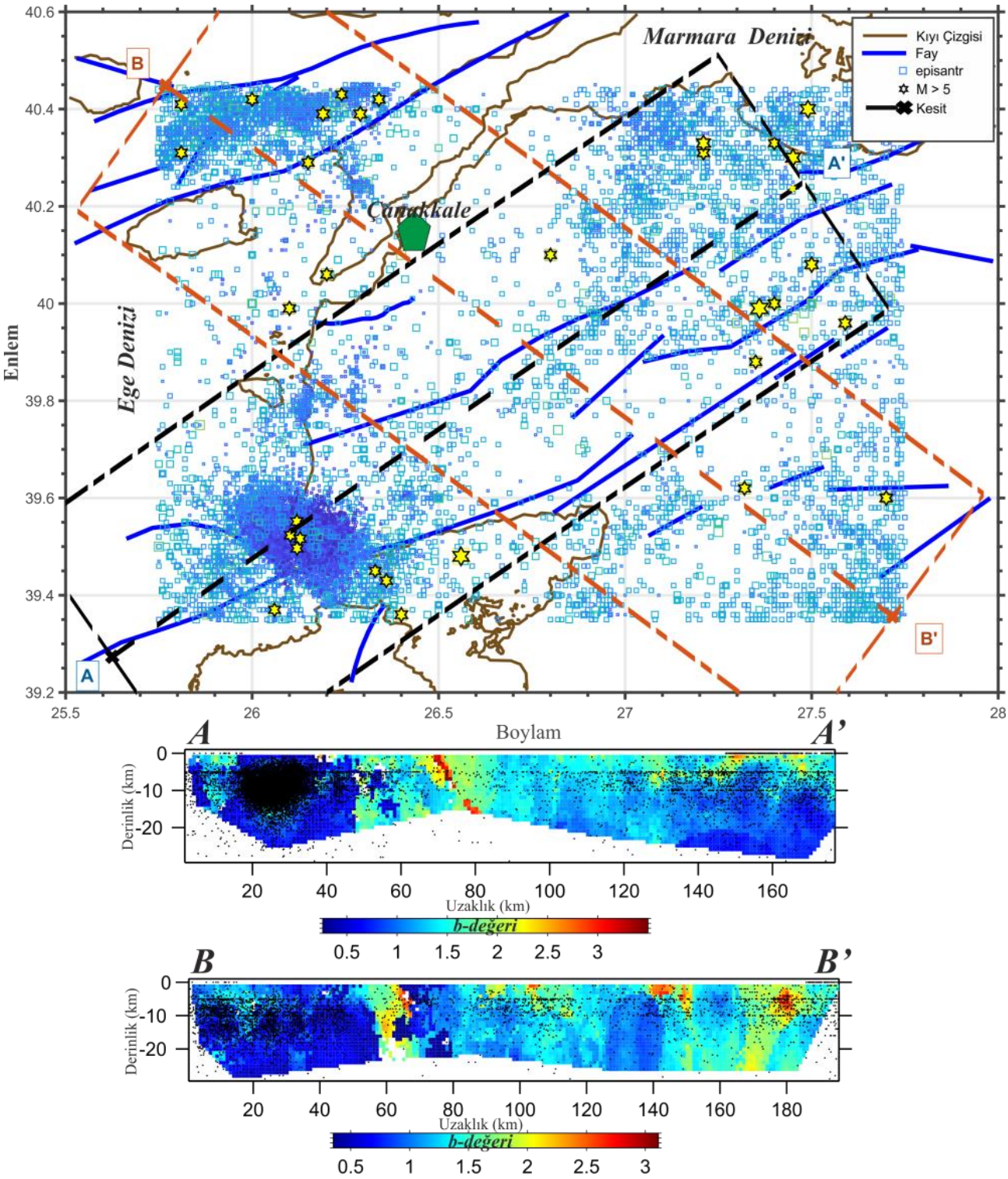
Şekil 6. Ayvacık ve Biga yarımadalarını kapsayan Kuzeybatı Ege Bölgesi depremleri kullanılarak elde edilen Mc ve *b*-değerlerinin tüm ve alt bölgeler bazında zamana bağlı değişimleri. Kesikli çizgi standart sapmayı göstermektedir.

Depremsellik çalışmaları açısından en önemli istatistiksel parametrelerden biri magnitüd tamamlılık (*Mc*) analizidir. *Mc* için doğru bir tahmin çok önemlidir, kullanılabilir verinin göz ardı edilmesi durumunda oldukça yüksek değerler olması nedeni ile veri örnekleme kalitesi de düşük olacaktır. Bu durumda depremsellik parametrelerinin sezgisel olmayan bir analizini yapmak da oldukça güçleşecektir. *Mc* değerine bağlı yerel ve bölgesel depremselliğin değerlendirilmesinde *Mc*'nin zamana bağlı değişimleri sismik ağın kalitesi ve sürdürülebilirliği ile doğrudan ilintilidir. Şekil 6'da *b-değerinin* 1. bölge için belirli bir monotonlukta değişim sergilediği, 2010 yılından sonra da hafif bir düşme eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu değişimi takip eden 4 yıl sonrasında 2014 depremi ana şokunun meydana gelmiş olması yerel gerilme yüklemelerinin de artması sonucu ile bağdaştırılmıştır. Depremsellik çalışmalarında önemli ölçüde güvenilir sonuçlar elde edilebilmesi için çok sayıda deprem verisi kullanmak gerekir. Bu çalışmada Ayvacık ve yakın çevresi için ortalama *Mc* değerinin zamanla değişimini ortaya koyabilmek için 21,000 adet depremi içeren katalog verisi oluşturularak gözlemlenen değişim, standart sapması ile birlikte Şekil 6'da verilmiştir.

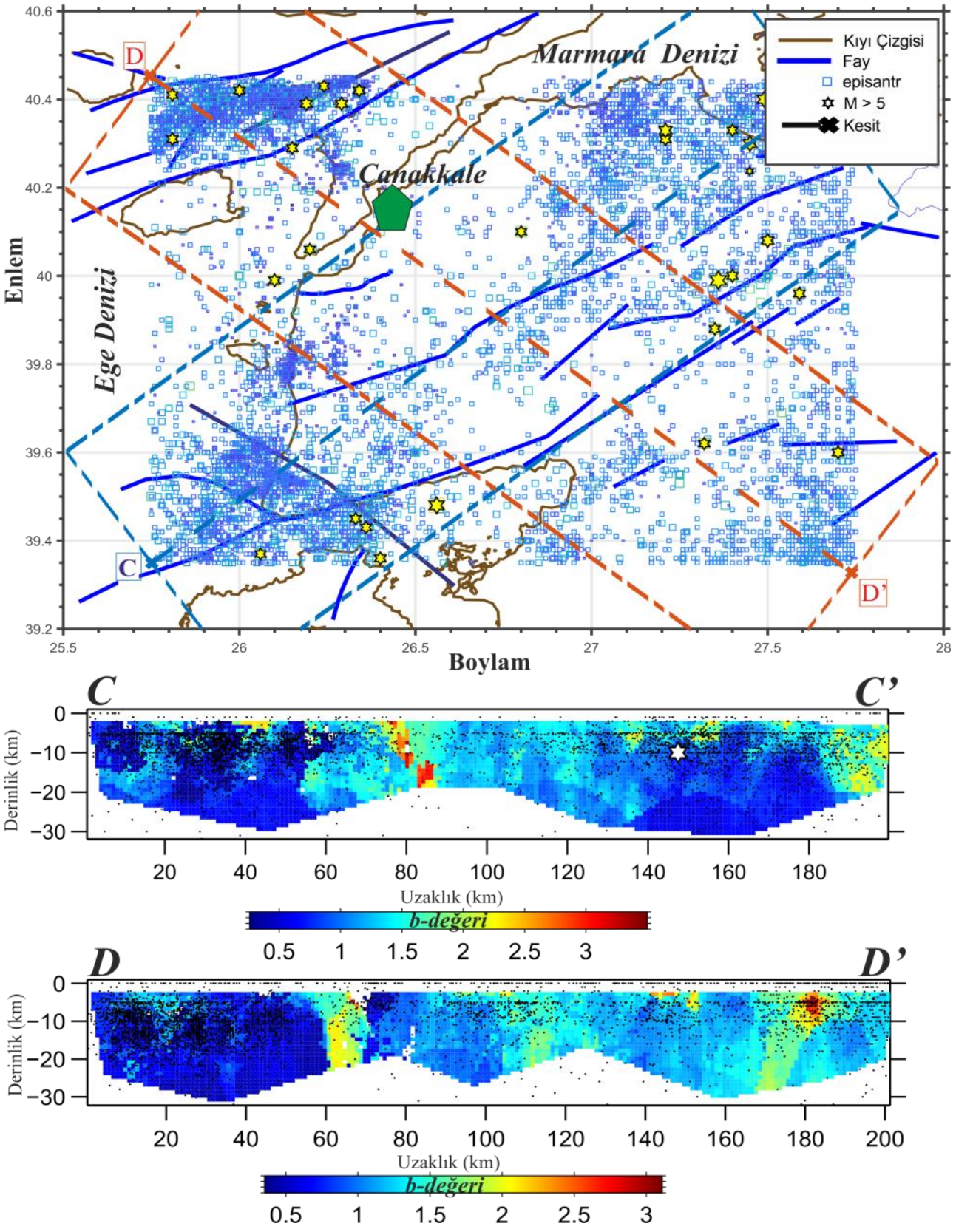
Depremin kaynak bölgesi tektonik gerilimlerle yavaş yavaş yüklenirken, odak bölge er ya da geç kritik bir duruma gelecek ve faylanma ile sonuçlanacak olan yırtılma oluşacaktır. *b-değerlerinin* hesaplanmasında daha geniş alanlar ve uzun zaman aralığı, depremin oluşmasında odak bölgesindeki ön plana çıkmayan öncü nitelikli olayları maskeleyecektir. Aslında, *b-değeri* Gutenberg-Richter (Gutenberg ve Richter, 1944) ilişkisinde istatistiksel bir ölçüdür. Fakat aynı zamanda, *b-değerinin* sanki bir gerilim metre veya gerilim göstergesi şeklinde kabul edilen mekanik temelleri vardır. Bazı deneylerde *b-değeri* ile diferansiyel gerilmenin ters

orantılı olduğu ifade edilmiştir (Lei 2003). Diğer yandan *b-değerinin* hem kıtasal kabukta hem de dalma-batma zonu ortamlarında gerilme ile doğrusal azaldığı belirtilmiştir. Dolayısıyla, büyük bir depremin farklı süreçlerinde odak bölgesindeki gerilme rejimi de farklılık gösterecektir. Buna bağlı olarak kaynak bölgesindeki *b-değeri* ana şok öncesi belirteçlerin oluşmasına ve bu şekilde yorumlanabilmesine yönelik gerilmelerdeki farklılıkla değişiklik gösterecektir. Ana şok öncesi *b-değerinde* her zaman istikrarlı bir değişim söz konusu olmayabilir. Bunun başlıca nedenleri arasında; ortam ve gerilmelerin heterojenitesi, faylanma türleri, kabuk yapısı ve reolojisi, kayaç türleri ve gevrekliği ve sünek davranışı, akışkanlık ve yapısal etkileşim sayılabilir. Bu durumda büyük depremler öncesi *b-değeri* oldukça karmaşık olabilir. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminden (Mw=7.4, KRDAE) 1 yıl önce ana şokun bulunduğu lokasyondan 10km uzakta düşük bir *b-değeri* tanımlanmıştır (Kalafat ve Görgün, 2019). Bu örnekte asperite bölgesinin tektonik karmaşası ile *b-değerinin* büyük ve küçük depremler arasında bir ilişki kurulabileceği gösterilmektedir. Tüm bu faktörler göz önünde bulundurularak, *b-değerinin* zamansal değişimini farklı durumlar için özetlenebilir. Örneğin büyük bir deprem meydana gelmeden önce *b-değerinin* birkaç yıl veya daha fazla arttığı ve ana şokun ardından düştüğü durumdur. 24 Mayıs 2014 ve 6 Şubat 2017 depremlerinde bu patern sergilenmektedir (Şekil 5 ve Şekil 6'da 1 ve 3. Bölge). Diğer bir durum ise *b-değerinin* ana depremden uzun bir süre önce artış eğilimi gösterdiği, ana depremden çok kısa bir süre içinde de düşüş gösterdiğidir. Çalışma alanında da 2 ve 4. alt bölgelerindeki değişimin bu yaklaşımı sergiler bir patern gösterdiği izlenimi olmakla beraber bölgesel tektonizmanın bunu doğrulayacak büyük bir yırtılmanın bu zaman sürecinde olmadığı anlaşılmaktadır.

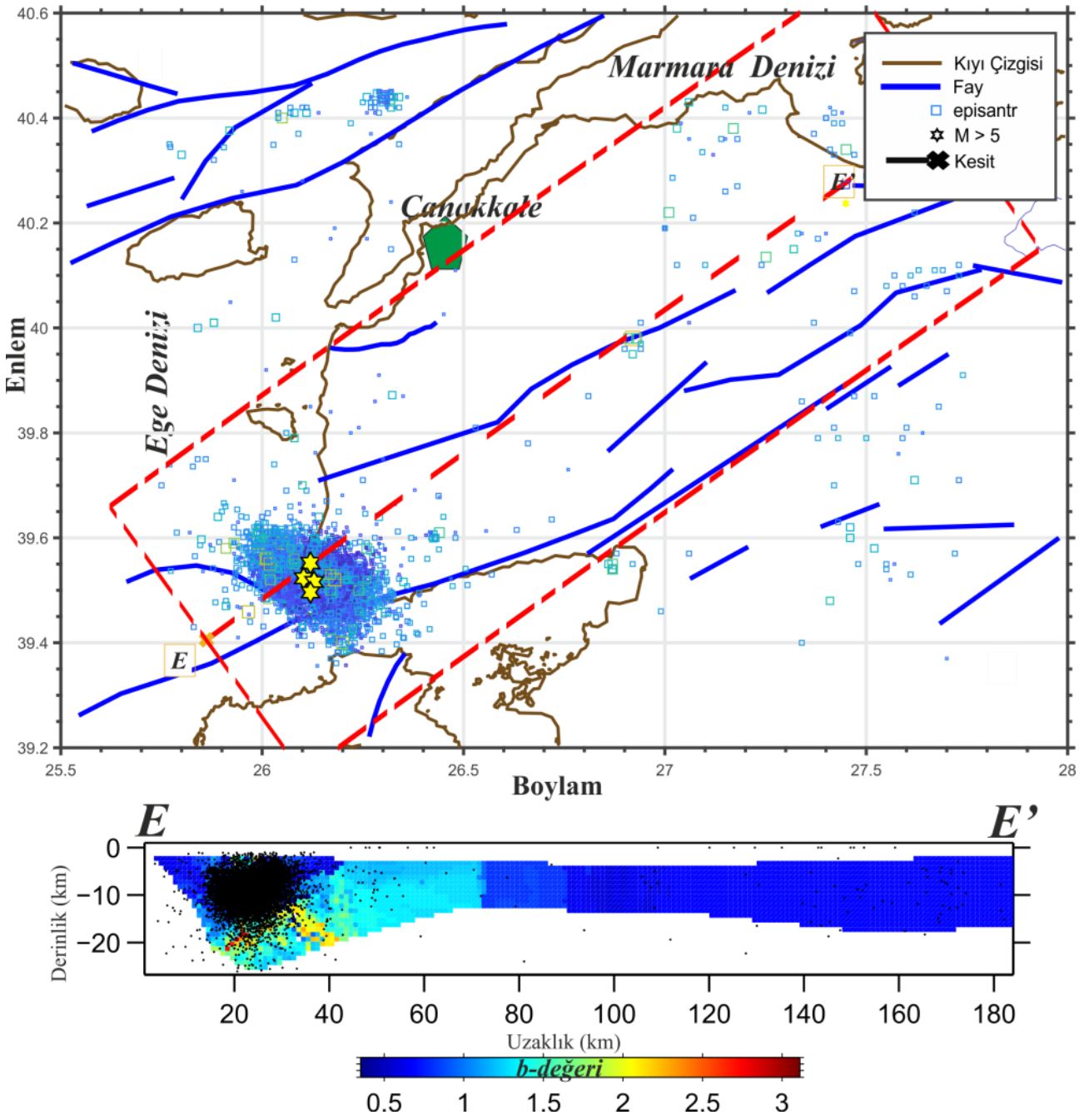
Mc değeri 2010 yılına kadar büyük değerlere sahiptir ve 2.5 - 3.5 arasında bir değişim göstermektedir. Sismik kaynakların karakterine ve episantral dağılıma göre farklı bölgelere ayırdığımız çalışma alanındaki 1. ve 2. bölgelerde 24 Mayıs 2014 Gökçeada depremi (Mw=6.8) ve 3. Bölgede ise 6 Şubat 2017 Ayvacık depremi (Mw=5.9) bağlı olarak *Mc* değerinde artışlar dikkati çekmektedir. Bir diğer dikkat çekici nokta bazı yüksek *Mc* değerleri artçı şok dizilerinin ilk kısımlarından yüksek olabilir, çünkü küçük depremler kaydedilmeyebilir. 2017 yılından sonra çalışma bölgesinde kurulan ek istasyonlar sayesinde *Mc* değerinde önemli ölçüde bir düşüş gözlenir ve ortalama 0.5 – 1.5 arasında değişim gösterir. Artan istasyon sayısı ile büyük depremlerin yanında mikro depremlerin de kaydedilmesiyle birlikte magnitüd tamamlılık değeri düşüş göstermiştir. *b*-değerinde gözlemlenen değişimler, bölgesel gerilme artışı, jeolojik yapı ve heterojenite derecesi gibi bir çok faktörden kaynaklanabilir. Ayrıca meydana gelen büyük bir deprem, *b-değerindeki* değişimleri etkileyebilmektedir. Bu durum büyük bir depremden önce *b-değerinde* azalma veya büyük bir depremin hemen öncesinde *b-değerinde* artış ve sonra keskin bir şekilde azalma olarak izlenebilmektedir. Diğer yandan *b-değeri* artçı deprem silsilesi süresince stokastik bir değişim göstermektedir. Dolayısı ile *b-değeri* belirgin olarak küçük veya büyük olaylarla ilişkili değildir ve büyük alanlar ile uzun zaman aralıklarında değişimler gösterir (Wyss, Klein, Nagamine ve Wiemer, 2001). Bu çalışmada hesaplana *b-değerindeki*, zaman grafiğine baktığımızda 2010 yılından sonraki keskin azalış ve artışlarının bu dönemlerde meydana gelen 2014 Gökçeada ve 2017 Ayvacık depremlerine bağlı olduğunu görmek mümkündür. 6 Şubat 2017 depremi öncesinde Ayvacık ve yakın çevresinde ulusal sismik ağlara (KRDAE ve AFAD) ait istasyon sayısının az olmasından dolayı *Mc*=2.10 olarak elde edilmiştir. Ancak bölgede meydana gelen mikro deprem aktivitesini gözlemlemek amacı ile ana deprem sonrası mevcut deprem istasyonlarının sayısını arttırmak üzere bölgedeki deprem algılama eşiğinin artması ile *Mc* değerinin de az da olsa düştüğü görülmüştür (*Mc*=2.0). Gerek istasyon sayısındaki artışa bağlı tanımlanabilir küçük magnitüdlü depremlerin artması gerekse kısa dönem aralığında veri tabanı ile çalışılması bu farkın oluşmasına neden olabilmektedir. Diğer yandan deprem büyüklüklerinin tayinindeki ve çözülen deprem sayılarındaki çözünürlük yanında özellikle 6 Şubat 2017 Ayvacık depremi hemen sonrası yakın dönem içinde sismik ağın ana şokun olduğu dönemde olmaması ve oldukça az sayıda istasyon olması, bu farkın da düşük olmasına neden olacaktır.



Şekil 7. Kuzeybatı Anadolu'da büyüklüğü M>1 olan 1912 – 2018 (Aralık 31) yılları arasında meydana gelen depremlerin episantr dağılımı (üstte) ve GB-KD (A-A') ve KB-GD (B-B') episantr uzaklığı – derinlik kesitleri *b-değeri* dağılımı



Şekil 8. Kuzeybatı Anadolu'da büyüklüğü M>1 olan 1912 – 2017 (Ocak 5) yılları arasında meydana gelen depremlerin episantr dağılımı (üstte) ve GB-KD (C-C') ve KB-GD (D-D') episantr uzaklığı – derinlik kesitleri *b-değeri* dağılımı



Şekil 9. Kuzeybatı Anadolu'da meydana gelen büyüklüğü M>1 olan 2017 (Ocak 5) – 2018 (Aralık 31) yılları arasında meydana gelen depremlerin episantr dağılımı (üstte) ve GB-KD (C-C') ve KB-GD (D-D') episantr uzaklığı – derinlik kesitleri *b-değeri* dağılımı

Kabuk içinde depremlerin oluş derinlikleri, kayaç heterojenitesi, gerilme ve kırılganlık ile *b-değerleri* arasında bir ilişki olduğu son yıllarda bu alanda yapılan araştırmalara da konu olmuştur. Gutenberg ve Richter (1954), sığ, orta ve derin depremler için *b-değerlerinin* sırasıyla 0.90 ± 0.02, 1.2 ± 0.2 ve 1.2 ± 0.2 olduğunu bulmuşlardır. *b-değerlerinin* derinlik ile olan ilişkisi, kabuktaki heterojenitesinin derecesini ve gerilme koşullarını yansıtabilir. Bazı araştırmacılar (Wiemer ve Wyss, 2002) derinlikteki basınçla gerilme koşullarının kırık sistemlerini ve zayıflık bölgelerini oluşturacağını ve *b- değerinin* azalacağını belirtmişlerdir. Farklı dönemleri içeren b-*değeri* dağılımları Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmektedir. Kesit genelinde yoğun tektonizma geçirmiş Saroz körfezi, Ayvacık ve Biga yarımadası sismojenik zonlarında yukarıdaki yaklaşımlar

doğrulanırken, Ayvacık depremlerini de içeren kısımda tam tersi bir patern göze çarpmaktadır. Gerilme düşümü, yüksek *b-değerinin* düşmesi ile de desteklenmektedir. Diğer yandan, ana deprem sonrası takip eden artçı depremlerin fazlalığı ve oluşum sıklığı birbirine yakın tektonik unsurların gerilme serbestliğinin sürekliliği ve yüksek *b-değeri* ile kendini göstermektedir (Şekil 9). Sismik aktivitenin başladığı ve uzaklıkla *b-değerinin* azaldığı fay alanındaki yüksek *b-değerlerinin* Ayvacık depremleri artçıları ile uyumlu olduğu görülmüştür. Dikkati çeken bir başka karşılaştırma *b-değeri* dağılımı ile çalışma alanındaki ısı kaynaklarının örtüştüğüdür. Jeotermal sahalarda yerel yüksek sıcaklık ve basıncın olduğu derinliklerde de genelde *b-değerinde* artış gözlenmektedir (Wyss, Mcnutt ve Wyss, 1998).

Singh ve Chadha (2010) çalışmalarında Hindistan'da (Koyna-Warna fay alanı) *b-değerinin* 8 km derinliğe kadar sistematik düştüğünü, daha derinlerde ise arttığını ve artışın sıvı varlığı ile ilişkilendirilebileceğini belirtmiştir. Çalışmanın dikkat çeken bir sonucu da 5 km derinlikte düşük *b-değerinin* bir sonraki muhtemel yırtılmanın olacağı yerel yüksek gerilme alanını işaret etmesidir. Benzerlik ve karşılaştırma yapıldığında, Biga yarımadası genelinde özellikle Ayvacık başta olmak üzere (Tuzla) Ayvacık kuzeydoğusu (Külcüler, Çan, Evciler, Kırkgeçit) aktif hidrotermal veya jeotermal sahalara sahiptir. Biga yarımadasındaki düşük *b-değerleri*, gerilmelerin jeotermal aktivite ile daha düşük seviyede kalmasının bir göstergesidir.

Kabuktaki heterojenitenin ve gerilmenin düşük olduğu bölgeler 1.0'dan daha büyük bir *b-değeri* ile 1.0'dan daha düşük değerler ise yüksek diferansiyel gerilmeler ile ilişkilendirilir (Wiemer ve Wyss, 2002). Bu durum belirli bir doğrultuda etkin levha hareketlerinin neden olduğu kuvvetlerin yüklemelerinden kaynaklanmaktadır ki bu genellikle daha büyük gerilmelere neden olur. Fiziksel olarak kayacın maruz kalabileceği en büyük ve en düşük gerilme farkı olarak adlandırılan bu farklılık (diferansiyel gerilme) deformasyona uğramış metamorfik kayaçların doğasındaki gerilmelerden de sorumludur. Kayaç, büyük diferansiyel gerilmelere maruz kaldığında, özellikle derin fay zonları boyunca taneler ezilecek ve sürekli kırılmalar ve parçalanmalar oluşacaktır. Bazen fay bölgeleri boyunca deformasyon, sanki bir modelleme kili deformasyonu gibi plastik davranış gösterecektir. Bu durum Ayvacık depremlerinde olduğu gibi ani yırtılmalar yerine küçük ve orta büyüklükte depremlerin oluşmasına neden olacaktır. Çoğu zaman bu ani ve büyük fay zonlarının da yırtılmasının önüne geçecektir. Başka bir deyişle, yüksek bir *b-değeri* küçük depremlerin baskın olduğu anlamına gelir; tersi durumda da, düşük *b-değeri*, büyük depremlerin daha küçük depremleri baskıladığı sonucudur. Dolayısı ile kıtasal kabukta diferansiyel gerilme ile deprem *b-değerlerinin* ters orantılı olduğu doğrulanmıştır. Bölgesel yüksek gerilmeyi işaret eden düşük *b-değeri* ile ilgili farklı bir görüş ise ergimiş kayaçların oluşturacağı aşırı basınçlı gaz ihtiva eden formasyonların varlığıdır.

Ayvacık yarımadası ve Biga yarımadası olarak farklı bölgedeki depremlerin mekanizmaları ile de karşılaştırılabilecek bir durum olarak da değerlendirmek mümkündür. Özellikle Ayvacık ve Biga yarımadalarındaki jeotermal sahaların ısı kaynakları olan derinlik kayaçlarının fizikokimyasal yapılarının bu yoruma bağlı zayıflık zonları oluşturması mümkündür. Bu düşük b-değeri bölgeleri, aynı zamanda asperite gibi davranabilir (Wiemer ve Wyss, 2002) ve gerilme altında büyük yapısal süreksizlikler bulunan kayma bölgelerinde kırılma gerçekleşmezse gelecekte meydana gelecek depremler şeklinde sonuçlanabilir. Bu yüzden *b-değerinin* zamana bağlı değişimlerini izlemek ve buna altlık oluşturacak olan kataloğun ortaya çıkması tektonizmanın ve yerel sismik kaynakların etkilerinin araştırılmasında önemli bir rol oynar. Farklı sismik kaynak özelliklerine göre ayrılan bölgelerde alınan ve birbirini kesen profillerde yüksek *b-değeri* değişimi (Şekil 7 ve Şekil 8), düşük *b-değeri* bölgelerine kıyasla nispeten azdır. Bu durum tüm bölgenin kritik olarak yüksek stres altında olduğunu gösterir ve artçı deprem aktivitesi oluşma yoğunluğu daha fazla gevrek (brittle) yapının baskın olduğu zonları işaret ettiği şeklinde değerlendirilebilir. Mori ve Abercrobie (1997) Kaliforniya'da *b-değerinin* derinliğe göre değişimini araştırmış ve artan deprem derinliği ile *b-değerinde* sistematik bir düşüş olduğunu tespit etmişlerdir. Gözlemleri açıklamak için, sığ kabuktaki (0-6 km) kabul edilen uygun yükseklikteki malzeme heterojenitesi ve düşük litostatik gerilme nedeniyle kırılma girişimlerinin daha büyük depremlerden önce durması ve daha küçük depremler oluşturması olasıdır. Zhu vd. (2005) deprem

odak derinlikleri arttıkça *b-değerinde* de sistematik bir azalma olduğunu açıklamıştır. Sığ derinlikte (h<8 km) daha küçük depremler olduğunu gösterirken, daha derinlerde (8-25 km) daha büyük depremler meydana geldiğini göstermektedir. Ayvacık yarımadasında meydana gelen 6 Şubat 2017 tarihli Mw=5.3 Yukarıköy-Avacık depreminin episantr bölgesinde *b-değerleri* 0.4 – 1.4 aralığında hesaplanmıştır (Şekil 9). Kesit boyunca *b-değerinin* derinliğe bağlı düşük ve yüksek değerlerde bir düzende davrandığı gözlenmektedir. Deprem üreten sismik kaynakların bu bölgede düşük *b-değerleri* ilk 10 km de tekdüze bir dağılıma sahipken, daha derinlerde yüksek *b-değerleri* baskındır. Özellikle 5-10 km derinliklerde bu iki farklı değişimin düzgün dağılımı dikkat çekicidir. Bu patern, üst kabukta ortalama 7 km sismojenik zonun yüksek diferansiyel strese sahip ve hala sismik olarak aktif olduğunu, bu derinliklerin altındaki orta kabuğun ise nispeten düşük gerilmeye ve yüksek kabuk heterojenitesine sahip olduğunu ve kısa zaman aralıklı oluşma davranışı gösteren artçı deprem aktivitesinin sık görülmesi nedeniyle enerjinin serbest bırakıldığını göstermektedir. Yerel ve bölgesel depremlerin çözümünde GB-KD doğrultusunda da derin odaklı depremlerin olmadığı buna karşın orta büyüklükteki depremlerin odak mekanizması çözümleri ortalama 10 km derinliklerde yoğunlaştığı görülmüştür.

Tektonik karmaşıklık yanında deprem kaynaklarının derinliği ile *b-değeri* arasında ters bir ilişki olduğunu Wiemer ve Wyss (2002) San-Andreas fayı için öne sürmüştür. Parkfield yakınlarında ve Hindu-Kush'taki deprem odaklarının uzaysal dağılımı ile *b-değerleri* incelendiğinde düşük *b-değerlerinin* daha derinlerde gözlendiği belirtilmektedir. Bu görüş, gerilmelerin derinlikle sınırlandırılmasındaki genel artıştan kaynaklandığı şeklinde yorumlanabilir. Tektonizma içinde farklı faylanma karakterlerine göre de *b-değeri* dağılımının sistematik olarak patern farklıkları gösterdiği Schorlemmer, Wiemer ve Wyys (2005) tarafından ortaya atılmıştır. Normal faylanma bölgelerinin yüksek *b-değerlerine* sahip olduğu bulunurken, ters ve doğrultu atımlı faylanmaların sırasıyla orta ve düşük *b-değerleriyle* ilişkili olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ters faylanma dinamiği için gereken yüksek gerilmelerdir. Tüm bu görüşlerin aksine Aden körfezi ve Batı Anadolu'daki hakim normal faylanma alanlarında gözlenen düşük *b-değerleri* veya ters faylanma ile ilişkili Zagros, kuzey Kafkasya ve Pamir-Hindu-Kush'taki yüksek *b-değerleri* yukarıda belirtilen ilk varsayım modelle tutarsızdır (Schorlemmer, Wiemer ve Wyys, 2005). Ayvacık ve Biga depremlerinin mekanizmaları oluş derinlikleri ve sismik kaynakların kinematik özellikleri ile *b-değerleri* karşılaştırıldığında bu görüş ile uyumlu bir durum olmadığı anlaşılmaktadır.

4. Sonuçlar

Bu çalışma, başta 2017 Şubat ayında meydana gelen Ayvacık depremi sonrası, yerel ve bölgesel sismik ağ verisi ele alınarak depremlerin olasılıksal tehlike analizi ve ağırlıklı olarak *b-değeri* dağılımının tektonik anlamlandırılması üzerine yapılmıştır. Ayvacık-Biga yarımadası ve Edremit Körfezini içine alan bir kesimin inceleme alanına ait *b-değeri*, tektonik parametresinin ve a/b modal değerinin dağılım haritalarını incelediğimizde göreceli olarak *b-değerinin* düştüğü yerlerde, daha yüksek *a/b-değerleri* görülmektedir. Bu alanlar genel olarak kırılma bölgelerinin olduğu ve büyük depremlerin gözlemlendiği alanları işaret etmektedir. Ayvacık kuzeybatısında ve Çanakkale Ezine civarında düşük *a/b-değerleri* elde edilmiştir. Gerek Gumbel ve gerekse Poisson dağılımları kullanılarak büyüklüğü 7 ve üzeri büyük depremlerin oluşma olasılıkları ve tekrarlanma peryodları bu bölge ve bu bölgeyi de içine alan çalışmaları destekler niteliktedir. 100 yıl içinde 7 ve daha büyük bir depremin oluşma olasılığı %90 iken tekrarlanma peryodu ise ortalama 50 yıldır. Poisson dağılımı ile değerlendirmede %65 olma olasılığına karşılık tekrarlanma peryodu da 100 yıl hesaplanmıştır. Tektonizma ve sismisite uyumlu *a*, *b* ve *a/b değerlerinin* dağılımları incelendiğinde büyük depremler ve zayıflık zonları ile ilişkili bölgelerin ortaya çıktığı görülmektedir. Buna göre, Edremit Körfezi kuzeyi, Yenice arasında kalan KB-GD uzanımlı bir alan ve Saroz körfezi batısı yüksek deprem tehlikesi gösteren yerlerdir.

Düşük *b-değerleri*, sismik olarak geniş bir alanda Biga yarımadasının güneybatı, kuzeybatı ve kuzeydoğusunda ağırlıklı görüntülenmektedir. Bu durum bölgesel olarak magmatik ortamın etkisini kaybetmiş gerçeği ile ilişkilidir denebilir. Öte yandan *a-değeri* bölgesel yıllık veya toplam sismik aktiviteyi işaret etmektedir ve *b-değeri* kadar yorum yapılabilecek, fiziksel açıdan anlamı oldukça sınırlıdır. Dolayısı ile tektonik dönüşümün düşük *b-değeri* olarak yansıması olacaktır. Aslında çok sayıda havzayı da barındıran Ayvacık ve kuzeydoğu kesiminde meydana gelen depremler, makaslamayı veya etkili gerilmeyi arttıran ve *b-değerini* azaltan normal faylanmaya karşılık gelir.

Diğer yandan özellikle mevcut çalışmada da olduğu gibi yerel ve nispeten daha küçük bölgesel faylanma alanlarında bu görüşler arasında bir uyum gözlenirken daha makro ölçekteki çalışmalarda veri niteliği ve çözüm kalitesine bağlı olarak uyumsuzluk olabilmektedir. Bunun bir nedeni olarak da bölgenin genel jeolojisi ele alındığında Kestanbol granitleri olarak bilinen ve daha sağlam bir litoloji gösteren birimler düşünülebilir. Deprem üreten fay sistemlerinin bulunduğu yerlerdeki jeotermal sahaların dağılımı ile *b-değeri* parametresi arasındaki uyum dikkat çekmektedir. Saroz-Ayvacık-Edremit doğrultusunda alansal olarak deprem verisi yoğunluğu dikkate alındığında *b-değerlerinin* gerilmelerle ters orantılı olarak deprem öncesi artışı ve akabinde de bu davranış azalımı 2014 ve 2017 depremleri ile kendisini göstermiştir.

Teşekkür

Bu çalışmanın bir kısmı Çanakkale Onsekiz Mart Üniversite Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi FBA-2018-2814 ve FBA-2019-2923 no'lu projeler ve İçişleri Bakanlığı AFAD-Ç-09-19 kodlu proje tarafından desteklenmiştir.

Yazar Katkıları

Ayşe Gezer: Veri değerlendirme ve sonuçların yorumlamasını yapmıştır.

Tolga Bekler: Deprem verisinin toplanması, değerlendirme sürecine hazır hale getirilmesi ve yorumlamaya katkı vermiştir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

Abdikan, S., Imamoglu, M., Alasag, T., Toker, M., Kutoglu, S. H. ve Şahin, S. (2019). Insar analysis of Ayvacık 2017 (Mw 5.3) earthquake swarm (Canakkale, Nw-Turkey). *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42*(2/W13). https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-1907-2019

Bağcı, G. (2000). Güney Marmara Bölgesinin Depremselliği. *Güney Marmara Depremleri Jeofizik Toplantısı*. Bursa, 22 Eylül 2000, 22-43.

Bayrak, Y., Öztürk, S., Koravos, G. C., Leventakis, G. A. ve Tsapanos, T. M. (2008). Seismicity assessment for the different regions in and around Turkey based on instrumental data: Gumbel first asymptotic distribution and Gutenberg-Richter cumulative frequency law. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 8*(1), 109-122. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00299490

Bridges, D. L. ve Gao, S. S. (2006). Spatial variation of seismic b-values beneath Makushin Volcano, Unalaska Island, Alaska. *Earth and Planetary Science Letters, 245*(1-2), 408-415. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2006.03.010

Cambaz, M. D., Turhan, F., Yılmazer, M., Kekovalı, K., Necmioğlu, Ö., ve Kalafat, D. (2019). An Investigation on the Evaluation of Regional Earthquake Tsunami Monitoring Center (RETMC) Seismic Network and Catalogue. *Yerbilimleri, 40*(1), 110-135. https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.500472

Görgün, E., Zang, A., Bohnhoff, M., Milkereit, C. ve Dresen, G. (2009). Analysis of Izmit aftershocks 25 days before the November 12th 1999 Düzce earthquake, Turkey. *Tectonophysics, 474*(3-4), 507-515. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.04.027

Gutenberg, B. ve Richter, C. F. (1944). Frequency of earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America, 34*(4), 185-188. https://authors.library.caltech.edu/47734/

Gutenberg, B. ve Richter, C. F. (1954). Seismicity of the Earth: Princeton. New Jersey, *Princeton University.*

Gutenberg, B., ve Richter, C. F. (1954). Seismicity of the Earth, 310 pp. *Princeton University Press, Princeton, NJ, 235*, 1-15.

Kalafat, D., Gürbüz, C. ve Üçer, S. B. (1987). Batı Türkiye'de kabuk ve üst manto yapısının araştırılması. *Deprem Araştırma Bülteni, 59*, 43-64.

Kalafat, D. ve Görgün, E. (2019). Source characteristics and b-values of the Tuz Gölü Fault Zone in Central Anatolia, Turkey, *Journal of Asian Earth Sciences, 179*, 337-349. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2019.05.005

Lei, X. (2003). How do asperities fracture? An experimental study of unbroken asperities. *Earth and Planetary Science Letters, 213*(3-4), 347-359. https://doi.org/10.1016/S0012-821X(03)00328-5

McNally, K. C. ve James, D. E. (1989). Earthquakes and seismicity. *The Encyclopedia of Solid Earth. Geophysics*, 308-315.

Molchan, G. M., Kronrod, T. L. ve Nekrasova, A. K. (1999). Immediate foreshocks: time variation of the b-value. *Physics of the Earth and Planetary Interiors, 111*(3-4), 229-240. https://doi.org/10.1016/S0031-9201(98)00163-0

Monterroso, J. D. A. (2003). *Statistical Seismology Studies in Central America: b-value, seismic hazard and seismic quiescence* (Doctoral dissertation, Acta Universitatis Upsaliensis). http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-3613

Monterroso, D. A. ve Kulhánek, O. (2003). Spatial variations of b-values in the subduction zone of Central America. *Geofísica Internacional, 42*(4). http://dx.doi.org/10.22201/igeof.00167169p.2003.42.4.312

Mori, J. ve Abercrombie, R. E. (1997). Depth dependence of earthquake frequency-magnitude distributions in California: Implications for rupture initiation. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 102*(B7), 15081-15090. https://doi.org/10.1029/97JB01356

Sammonds, P. R., Meredith, P. G. ve Main, I. G. (1992). Role of pore fluids in the generation of seismic precursors to shear fracture. *Nature, 359*(6392), 228-230. https://doi.org/10.1038/359228a0

Sayıl, N. ve Osmanşahin, İ. (2005). Marmara Bölgesinin Depremselliğinin İncelenmesi. *Deprem Sempozyumu, 2005*, Kocaeli, Türkiye.

Schorlemmer, D., Wiemer, S. ve Wyss, M. (2005). Variations in earthquake-size distribution across different stress regimes. *Nature* 437**,** 539–542. https://doi.org/10.1038/nature04094

Singh, C. Ve Chadha, R. K. (2010). Variations in the frequency–magnitude distribution of earthquakes with depth in the Koyna–Warna region, India. *Journal of Asian Earth Sciences, 39*(4), 331-334. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2010.03.014

Sözbilir, H., Uzel, B., Sümer, Ö., Eski, S., Softa, M., Tepe, Ç., Özkaymak, Ç. ve Baba, A. (2018). Çanakkale-Ayvacık Deprem Fırtınasının (14 Ocak-20 Mart 2017) Sismik Kaynakları. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B- Teorik Bilimler, 6,* 1-17. https://dergipark.org.tr/tr/pub/estubtdb/issue/42755/516060

Udias, A. ve Mezcua, J. (1997). Fundamentos De Geofisica, Qe 501. Alianza Editorial, Madrid, 476s.

Wiemer, S. (2001). A software package to analyze seismicity: ZMAP. *Seismological Research Letters, 72*(3), 373-382. https://doi.org/10.1785/gssrl.72.3.373

Wiemer, S. ve Wyss, M. (2002). Mapping spatial variability of the frequency-magnitude distribution of earthquakes. *In Advances in Geophysics*, 45, 259-302. https://doi.org/10.1016/S0065-2687(02)80007-3

Wyss, M. (1973). Towards a physical understanding of the earthquake frequency distribution. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 31*(4), 341-359. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1973.tb06506.x

Wyss, M., McNutt, S. R. ve Wyss, M. (1998). Temporal and three-dimensional spatial analyses of the frequency–magnitude distribution near Long Valley Caldera, California. *Geophysical Journal International*, *134*(2), 409-421. https://doi.org/10.1046/j.1365-246x.1998.00561.x

Wyss, M., Klein, F., Nagamine, K. ve Wiemer, S. (2001). Anomalously high b-values in the South Flank of Kilauea volcano, Hawaii: Evidence for the distribution of magma below Kilauea's East rift zone. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, *106*(1-2), 23-37. https://doi.org/10.1016/S0377-0273(00)00263-8

Yılmazturk, A. ve Burton, P. W. (1999). An evaluation of seismic hazard parameters in southern Turkey. *Journal of Seismology*, *3*(1), 61-81. https://doi.org/10.1023/A:1009791320420

Zhu, A., Xu, X., Hu, P., Zhou, Y., Chen, G. ve Gan, W. (2005). Variation of b value with hypocentral depth in Beijing area: Implications for earthquake nucleation. *Chinese Science Bulletin*, *50*(7), 691-695. https://doi.org/10.1360/982004-43