



Seismological and Seismotectonic Characteristics of Earthquake Swarm in the Southern Nisyros Basin of the Aegean Sea

Haluk Eyidogan ¹

¹ Saksili Sok., Deniz Apt., 3/1, D.2, Heybeliada, Adalar, 34970, İstanbul, Türkiye
ORCID: 0000-0003-4218-5106

Keywords

Earthquake swarm, Extensional tectonics, Completeness magnitude, b -value, Active fault

Highlights

- * Earthquake swarm of the Southern Nisyros Basin in the Aegean Sea.
- * Spatial and temporal change of seismicity and Gutenberg-Richter (G-R) parameters.
- * Relationship of focal mechanism solutions and earthquake parameters with active tectonic.

Aim

Aim of the study is to investigate temporal and spatial changes of Nisyros Basin in the Aegean Sea.

Location

Nisyros Basin, Aegean Cycladic Volcanic Arc .

Methods

Gutenberg-Richter method has been used to map M_c , a - and b -variables of the study area.

Results

M_c was found as $M_c=2.7$ and the Gutenberg-Richter (G-R) equation was computed to be $\text{LogN}(M_L)=0.86*M_L-5.55$ for the annual a -value in the study area.

Supporting Institutions

This study has used location information of National Observatory of Athens (NOA).

Financial Disclosure: The author declares that this study has received no financial support.

Peer-review

Externally peer-reviewed

Conflict of Interest: The author has no conflicts of interest to declare.

Manuscript

Research Article

Received: 16.11.2021

Revised: 11.02.2022

Accepted: 19.02.2022

Printed: 30.06.2022

DOI

10.46464/tdad.1024334



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Non-Commercial License

Corresponding Author

Haluk Eyidogan

Email: eyidogan@itu.edu.tr

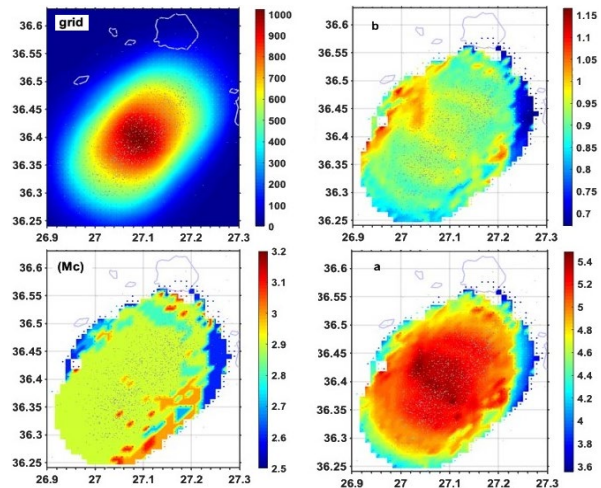


Figure
Spatial distribution of M_c , b and a values and number of events per grid area in two different periods

How to cite:

Eyidogan H., 2022. Seismological and Seismotectonic Characteristics of Earthquake Swarm in the Southern Nisyros Basin of the Aegean Sea, Turk. J. Earthq. Res. 4(1), 42-60, <https://doi.org/10.46464/tdad.1024334>



TÜRK DEPREM ARAŞTIRMA DERGİSİ

TURKISH
JOURNAL OF
EARTHQUAKE
RESEARCH



Ege Denizi Güney İncirli Havzası Deprem Fırtınasının Sismolojik ve Sismotektonik Özellikleri

Haluk Eyidoğan¹

¹ Saksılı Sok., Deniz Apt., 3/1, D.2, Heybeliada, Adalar 34970, İstanbul, Türkiye
ORCID: 0000-0003-4218-5106

ÖZET

Bu çalışmada, Ege Kıyıda Volkan Yayını'nın doğusunda yer alan Güney İncirli Havzası'nda 1 Nisan 2021-4 Ekim 2021 tarihleri arasında KD-GB doğrultusunda oluşan deprem fırtınasının sismolojik özelliklerinin zaman ve mekânda değişimi incelenmiştir. İlgili tarihler arasında büyüklüğü $M_L \geq 4.0$ olan 20 depremin odak mekanizması çözümleri, KB-GD yönündeki tektonik genişlemenin havza boyunca aktif olduğunu göstermektedir. Havzanın her iki tarafını denetleyen normal fayların deprem fırtınasından sorumlu olduğu saptanmıştır. Deprem fırtınasını temsil eden tamlik büyüklüğü $M_c=2.7$, Gutenberg-Richter (G-R) denklemi ise yıllık a -değeri için $\text{LogN}(M_L)=0.86 \cdot M_L - 5.55$ olarak bulunmuştur. 1 Nisan 2021 öncesi ve sonrası dönemde bölgedeki deprem etkinliğinin ve G-R değişkenlerinin zamansal ve mekânsal dağılımları kıyaslandığında, deprensellik örüntüleri ve G-R değerleri önemli farklılıklar göstermiştir. 1 Nisan 2021 sonrası deprem etkinliğinin daha önceki dönemde gelişen düşük b -değeri (yüksek gerilim) ve yüksek b -değeri (düşük gerilim) arasında kalan bir alanda oluştuğu gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler

Deprem fırtınası, Genişleme tektoniği, Deprem büyüklüğü tamlığı, b -değeri, Aktif fay

Öne Çıkanlar

- * Ege Denizi Güney İncirlik Havzası deprem fırtınası.
- * Deprenselliğin ve G-R değişkenlerinin zaman ve mekânda değişimi.
- * Odak mekanizma çözümlerinin ve deprem parametrelerinin aktif tektonik ile ilişkileri.

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 16.11.2021
Düzeltilme: 11.02.2022
Kabul: 19.02.2022
Basım: 30.06.2022

DOI

10.46464/tdad.1024334

Sorumlu yazar

Haluk Eyidoğan
Eposta:
eyidoğan@itu.edu.tr

Seismological and Seismotectonic Characteristics of Earthquake Swarm in the Southern Nisyros Basin of the Aegean Sea

Haluk Eyidoğan¹

¹ Saksılı Sok., Deniz Apt., 3/1, D.2, Heybeliada, Adalar, 34970, İstanbul, Türkiye
ORCID: 0000-0003-4218-5106

ABSTRACT

In this study, the temporal and spatial characteristics of the seismological parameters of the earthquake swarm occurred in the NE-SW direction on the Southern Nisyros Basin in east of the Aegean Cycladic Volcanic Arc between 1 April 2021 and 4 October 2021 was investigated. The focal mechanism solutions of 20 earthquakes with magnitude $M_L \geq 4.0$ between the relevant dates show that the NW-SE direction tectonic extension is active throughout the basin. It has been determined that the normal faults controlling both sides of the basin are responsible for the swarm. The completeness magnitude representing the earthquake swarm was $M_c=2.7$, and the Gutenberg-Richter (G-R) equation was found to be $\text{LogN}(M_L)=0.86 \cdot M_L - 5.55$ for the annual a -value. In the comparison of the temporal and spatial patterns of the earthquake activity and G-R variables in the region before and after April 1, 2021, the seismicity patterns and G-R values showed significant differences. It was observed that the earthquake swarm after 1 April 2021 occurred in an area between low b -value (high stress) and high b -value (low stress) that developed in the previous period.

Keywords

Earthquake swarm, Extensional tectonics, Completeness magnitude, b -value, Active fault

Highlights

- * Earthquake swarm of the Southern Nisyros Basin in the Aegean Sea.
- * Spatial and temporal change of seismicity and Gutenberg-Richter (G-R) parameters.
- * Relationship of focal mechanism solutions and earthquake parameters with active tectonic.

Manuscript

Research Article

Received: 16.11.2021
Revised: 11.02.2022
Accepted: 19.02.2022
Printed: 30.06.2022

DOI

10.46464/tdad.1024334

Corresponding Author

Haluk Eyidoğan
Email:
eyidoğan@itu.edu.tr

1. GİRİŞ

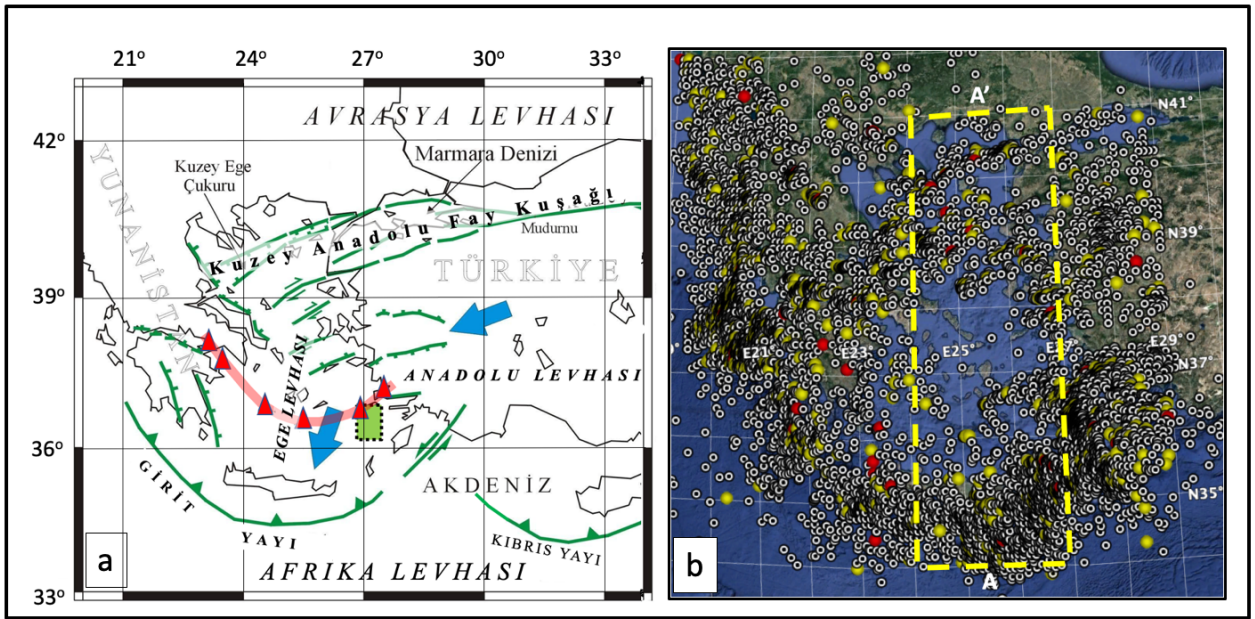
Deprem kümelenmesi veya deprem fırtınası olarak adlandırılan sismik etkinlikler öncü deprem, ana deprem ve artçı deprem silsilesinden farklı bir oluşum süreci izler. Deprem fırtınaları çok sayıda hafif ve orta büyüklükte depremlerden oluşur. Deprem fırtınaları gün, ay veya hatta yıllarca sürebilir. Böyle bir sismik enerji salınımı, genellikle ansızın başlayan çok sayıda sarsıntıdan oluşur ve büyük depremin artçı sürecinden farklı seyrederek. Küme veya fırtına türündeki depremler çoğunlukla güncel tektonik hareketlerin, volkanik ve jeotermal etkinliklerin ve okyanus ortası yarıkların bulunduğu alanlarda görülmektedir (Fischer ve diğ. 2010, Chiba ve Shimizu 2018, Eyidogan 2020). Ayrıca, baraj su düzeyi değişimleri, yeraltına sıvı ve gaz enjeksiyonu, madencilik ve petrol/gaz üretimi gibi insan kaynaklı endüstriyel girişimlerin de deprem kümelenmeleri yarattığı bilinmektedir (Heinicke ve diğ. 2018, Hicks ve diğ. 2019).

Bu çalışmada deprem etkinliği incelenen Güney İncirli Havzası, Ege Denizi ve çevresinin bugünkü coğrafik, jeolojik, sismolojik ve sismotektonik özelliklerini belirleyen ana tektonik rejimin etkisi altında gelişen bir alandır. Ege Denizi ve çevresinin jeolojik ve tektonik yapısı, Afrika-Nubia Levhası ile Avrasya Levhası'nın çarpışması ile gerçekleşen Neo-Tetis Okyanusu'nun kapanması sonrası (Geç Triyas) bugüne kadar gelişen sürecin ürünüdür (Sengor ve diğ. 2005). Afrika-Nubia Levhası'nın Ege ve Anadolu levhalarının güneyinde oluşturduğu dalma-batma kuşağı ve Anadolu Levhası'nın batıya hareketi bölgenin tektonik gelişimini belirleyen önemli tektonik olgulardır (Şekil 1a). Bugüne kadar yapılan sismolojik, jeolojik, jeofizik ve jeodezik (GPS) araştırmalar sonucunda, Afrika-Nubia ve Avrasya levhaları arasında kalan bölgenin yoğun ve karmaşık tektonik deformasyonunu açıklayan farklı tektonik modeller önerilmiştir. McClusky ve diğ. (2000)'nin çalışmalarından esinlenen Nyst ve Thatcher (2004), merkezi Yunanistan, Anadolu, Güney Ege ve Güney Marmara adlı dört mikro-kıtadan oluşan farklı bir tektonik deformasyon modeli önermiştir. Önceki bazı araştırma sonuçlarından yararlanan Vernant ve diğ. (2014), 11 bloktan oluşan bir tektonik deformasyon modelinin Ege Bölgesi'ndeki güncel yer bilim bulgularını daha iyi açıkladığını savunmuştur (Meade ve Hager 2005, Reilinger ve diğ. 2006, Hollenstein ve diğ. 2008, Aktug ve diğ. 2009, Floyd ve diğ. 2010, Shaw ve Jackson 2010, Nocquet 2012).

Ege Bölgesi'nde levha hareketlerinin neden olduğu topoğrafya, tektonik yapı ve deprensellik, bölgenin genişleme türü kıtasal deformasyona maruz kaldığının kanıtlarını sergiler. Ayrıntılı GPS ölçümleri, Ege ve Batı Anadolu levhalarının KD-GB doğrultusunda genişleyerek güneybatıya doğru hareket ettiğini, Ege Levhası'nın kayma hızının kuzeyden güney doğru artarak 30 mm/yıl değerine ulaştığını göstermektedir (McClusky ve diğ. 2000, Nyst ve Thatcher 2004, Reilinger ve diğ. 2006, Aktug ve diğ. 2009, Nocquet 2012). Sismoloji ve deniz jeofiziği çalışmaları, Ege Levhası'nda çok sayıda ve farklı tür ve uzunluklarda fayların aktif olduğunu göstermiştir (Nyst ve Thatcher 2004, Mountrakis 2005, Ocakoglu ve diğ. 2005, Chatzipetros ve diğ. 2013). D-B, KD-GB ve KB-GD doğrultularında uzanan aktif normal faylar ve bu normal faylar arasında gelişen doğrultu atımlı faylar (accommodation fault) tüm Ege'de baskın olan KD-GB doğrultulu tektonik genişleme hareketlerinin bir ürünüdür. Ege'de gelişen tüm bu aktif tektonik süreç sırasında büyük ve kuvvetli depremler yanı sıra birçok alanda yoğun ve uzun süren deprem fırtınaları oluşmaktadır (Chatzipetros ve diğ. 2013).

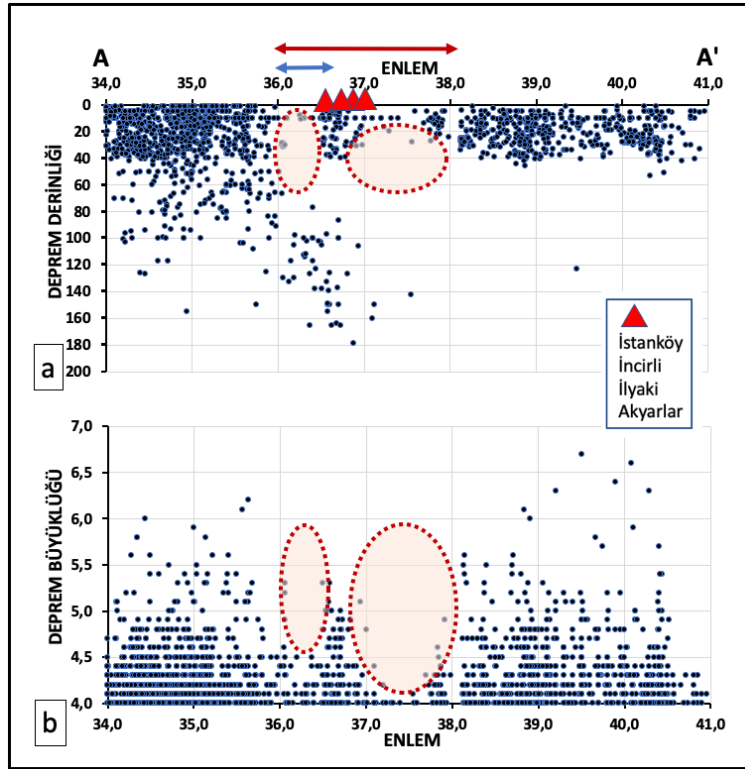
Afrika-Nubia Levhası'nın Ege Levhası ile çarpışma sınırı olan Girit Yayı önünde çeşitli boyutlarda birçok ada oluşmuştur. Bu adaların bir bölümü volkanik kökenlidir ve Yunanistan'ın Saronic Körfezi'nden itibaren bir yay çizerek (Şekil 1a) Methana, Poros, Değirmenlik (Milos), Santorini, İstanköy (Kos), İncirli (Nisyros) ve İlyaki (Tilos) adaları üzerinden Türkiye'de Bodrum Akyarlar volkanına uzanır (Dietrich ve Lagios 2018). Kiklad (Cyclades) volkan yayı olarak adlandırılan bu kuşak boyunca çok sayıda denizaltı volkanları yer alır. Pe-Piper ve Piper (2005) Kiklad volkan yayının doğu ve batısındaki magmatik petrojenezin farklı olduğunu ve doğu bölümdeki petrojenezin daha genç olduğunu belirtmişlerdir. Volkanlar Geç Pleistosen-Holosen dönemlerinde aktif olmuşlardır. Ege Levhası'nın birçok yerinde yer kabuğu yapısı ile ilgili olarak çok sayıda jeolojik ve jeofizik araştırmalar yapılmıştır. Ege Levhası'nda Moho sınırı derinliği 18

km ile 30 km arasında değişmektedir. Moho derinliğinin en az olduğu alan Girit Adası kuzeyinde yer almaktadır (Zhu ve diğ. 2006, Cossette ve diğ. 2016). İki ve üç boyutlu sismik tomografi çalışmaları, Kiklad volkan yayının (Şekil 1a) altında yer kabuğunun ve litosfer tabakasının 40-50 km'ye kadar incelendiğini ve astenosferde ise sismik hızların azaldığını göstermiştir (Papazachos ve diğ. 2005, Endrun ve diğ. 2008). Sismik hızın azalmasına neden olan fiziksel koşulun, Ege Levhası ile dalan Afrika Levhası arasında üst mantoda oluşan kama şeklindeki bölgede 1000°C sıcaklığa ulaşan bir "kısmi ergime" süreci olduğu belirtilmiştir. Kiklad volkan yayının kuzeyine denk gelen bu sıcak bölgede büyüklüğü 4.0 ve daha büyük olan deprem aktivitesinin 36.0°-38.0°K enlemleri arasında çok azaldığı ve "sismik boşluk" benzeri bir bölgeye dönüştüğü gözlenmektedir (Şekil 1b, Şekil 2). Bu özellik farklı deprem veri merkezlerinin (Uluslararası Sismoloji Merkezi-ISC, Avrupa-Akdeniz Sismoloji Merkezi-CSEM) yayınladığı deprem verileriyle de teyit edilmektedir. Bu makalede incelenen alan Kiklad volkan yayının doğu ucunda kalmaktadır (36.16°-36.66°K, 26.83°-27.31°D, Şekil 1a).



Şekil 1: a) Ege Levhası'nın tektonik özellikleri (Üzerinde üçgenler bulunan kırmızı kuşak Ege Levhası'nda yer alan Kiklad volkanik yayını, oklar ise Anadolu ve Ege levhalarının hareket yönlerini gösterir. Noktalı çizgiyle belirlenen yeşil renkli küçük alan İncirli-İlyaki deprem fırtınasının oluştuğu alandır.) b) Ege Levhası ve civarında 7 Aralık 1965-1 Ekim 2021 tarihleri arasında oluşan ve büyüklüğü 4.0 ve daha fazla olan depremlerin dış merkez konumları (Sarı kesik çizgiyle belirlenen alan (34°-41°K ve 24°-26.8°D) Şekil 2'de verilen deprem iç merkez dağılım grafiğindeki depremleri kapsar. Beyaz noktalar büyüklüğü 4.0-4.9, sarı noktalar büyüklüğü 5.0-5.9 ve kırmızı noktalar ise büyüklüğü 6.0 ve daha fazla olan depremleri gösterir. Deprem verileri Atina Ulusal Gözlemeviden alınmıştır (NOA 2021).)

Figure 1: a) Tectonic features of the Aegean Plate (The red belt with triangles shows the Cycladic volcanic arc located in the Aegean Plate, and the arrows show the motion directions of the Anatolian and Aegean plates. The small green area defined by the dotted line is the area where the Nisyros-Tilos earthquake swarm occurred.) b) Epicentral locations of earthquakes for magnitude greater or equal to 4.0 that occurred between 7 December 1965 and 1 October 2021 surrounding the Aegean Plate (The area shown by the yellow dashed line (34°-41°N and 24°-26.8°E) covers the hypocentral distribution given in the plot of Figure 2. White, yellow and red dots indicate the earthquakes of magnitude 4.0-4.9, 5.0-5.9 and 6.0 or greater, respectively. Earthquake data were accessed from National Observatory of Athens (NOA 2021).)



Şekil 2: NOA veri merkezinin 7 Aralık 1965-4 Ekim 2021 tarihleri arasında rapor edilmiş deprem verisinden 34° - 41° K enlemleri ve 24° - 26.8° D boylamları arasında kalan bölgede (Şekil 1b'de sarı kesikli çizgili alan) kuzey-güney doğrultusunda alınmış kesitte, a) büyüklüğü 4.0 ve daha büyük olan deprem derinliklerinin ve b) deprem büyüklüklerinin enlemler boyunca dağılımı (Bu makalede incelenen alan çift taraflı mavi okla, Ege Levhası'ndaki sismik boşluk alanı ise kırmızı okla gösterilmiştir. 36° - 38° K enlemleri arasında deprem etkinliğinin azaldığı bir alanın (sismik boşluk) varlığı dikkat çekmektedir (noktalı elips). İstanköy, İncirli, İlyaki Adaları ve Bodrum Akyarlar volkanlarının konumları üçgenle gösterilmiştir.)

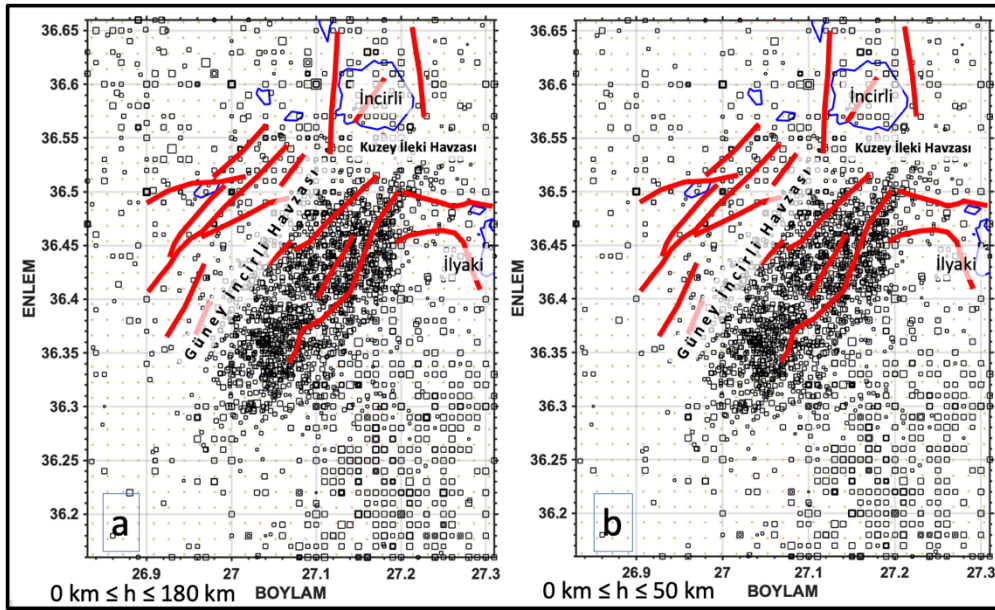
Figure 2: North-south cross-section for the region between 34° - 41° N latitude and 24° - 26.8° E longitude (yellow dashed area in Figure 1b) according to NOA earthquakes for magnitudes greater or equal to 4.0 between 7 December 1965 and 4 October 2021 across latitudes. a) Depth cross-section, b) distribution of earthquake magnitudes (The region studied in this article is indicated by double-head arrow (shown as blue color and horizontal), and the seismic gap region in the Aegean Plate is indicated by a double-head arrow (shown as red color and horizontal). It is noteworthy that there is a seismic gap (dotted ellipses) where the earthquake activity decreases between 36° - 38° N latitudes. Locations of the Kos, Nisyros, Tilos Islands and Bodrum Akyarlar volcanoes are shown with triangles.)

2. GÜNEY İNCİRLİ HAVZASI'NIN DEPREM ETKİNLİĞİNİN VERİ ANALİZİ VE ZAMAN VE MEKÂNDA DEĞİŞİM ÖZELLİKLERİ

Ege Levhası'nın altında gelişen dalma-batma kuşağı nedeniyle derin ve sığ depremler bir aradadır (Şekil 1b, Şekil 2) ve bu durum bölgenin genel sismotektonik karakterini yansıtır. Ege Levhası'nın altına dalan Afrika Levhası üzerindeki depremler inceleme bölgesinde 180 km derinliklere ulaşmaktadır. Bu çalışmada kullanılan deprem derinlikleri için yeniden derinlik hesabı yapılmamış, Atina Ulusal Gözlemevi (NOA) veri merkezinin raporladığı değerler kullanılmıştır (NOA 2021). İnceleme alanının sınırları (36.16 - 36.66° K, 26.83 - 27.31° D) yoğun deprem etkinliğini içerisine alacak şekilde belirlenmiştir. Bu alan içerisinde kaydedilen deprem verileri için CSEM ve NOA sismoloji merkezlerinin arşivleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. CSEM'e ait deprem verileri 2004 yılından sonrası için, NOA'ya ait deprem verileri ise 1964 yılından sonrası için sunulmaktadır. Her iki merkez de diğer tüm merkezlerin verilerini birleştirmekte ve deprem parametrelerini yeniden hesaplamaktadır. Bu yaklaşım daha fazla deprem kaydının bir araya getirilmesini ve böylece enlem, boylam, dış merkez derinliği ve oluş

zamanı gibi deprem parametrelerinin daha duyarlı olarak hesaplanmasını sağlamaktadır. 24 Şubat 1964 yılından itibaren verilerin raporlanmış olması ve bölgede depremlerin etkinliğini daha geniş zaman aralığında inceleme ve değerlendirme olanağı sağlaması ve büyüklük değerlerinin yerel büyüklüğe (M_L) göre homojenleştirilmiş olması nedeniyle NOA verisinin bu çalışmada kullanılmasına karar verilmiştir.

İnceleme alanında Güney İncirli Havzası ve çevresinde 7 Aralık 1965-4 Ekim 2021 tarihleri arasında olmuş derin depremler dâhil tüm depremlerin dış merkezleri Şekil 3a'da, derinliği 50 km'ye kadar olan depremlerin dış merkez dağılımları ise Şekil 3b'de gösterilmiştir. Bu çalışmada, 50 km ve daha sığ deprem etkinliğinin zaman ve mekânda dağılımları incelenmiş ve sismolojik karakteristikleri saptanmıştır. 50 km ve daha sığ depremlerin sayısı 2.468 adet olup, büyüklükler $1.5 \leq M_L \leq 6.1$ arasında değişmektedir.

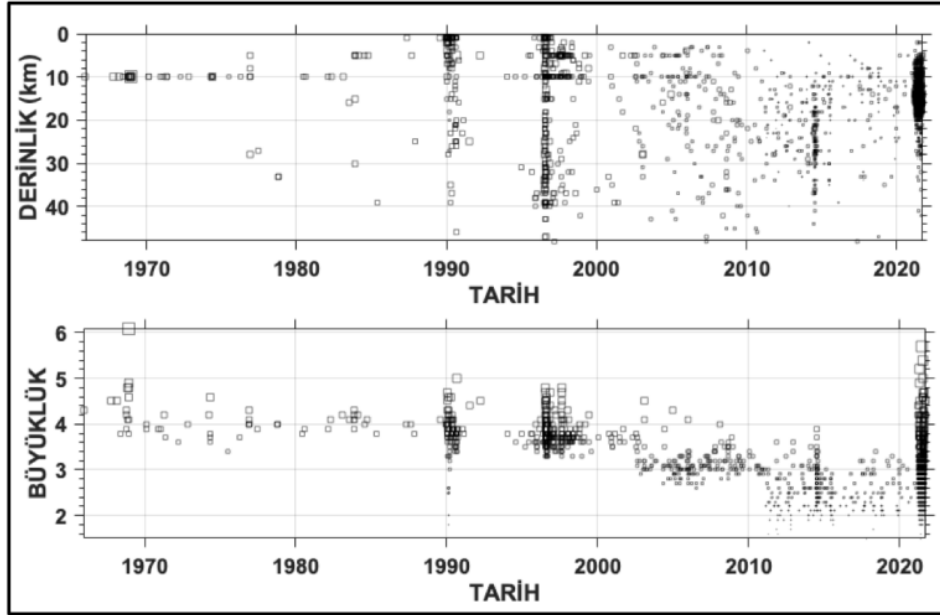


Şekil 3: İnceleme alanında 7 Aralık 1965-4 Ekim 2021 tarihleri arasındaki a) tüm odak derinlikleri ve b) maksimum 50 km odak derinliği için saptanmış ve rapor edilmiş tüm depremlerin episantr dağılımları (Kırmızı renkli çizgiler aktif fayları gösterir (Nomikou ve Papanikolaou 2010).)

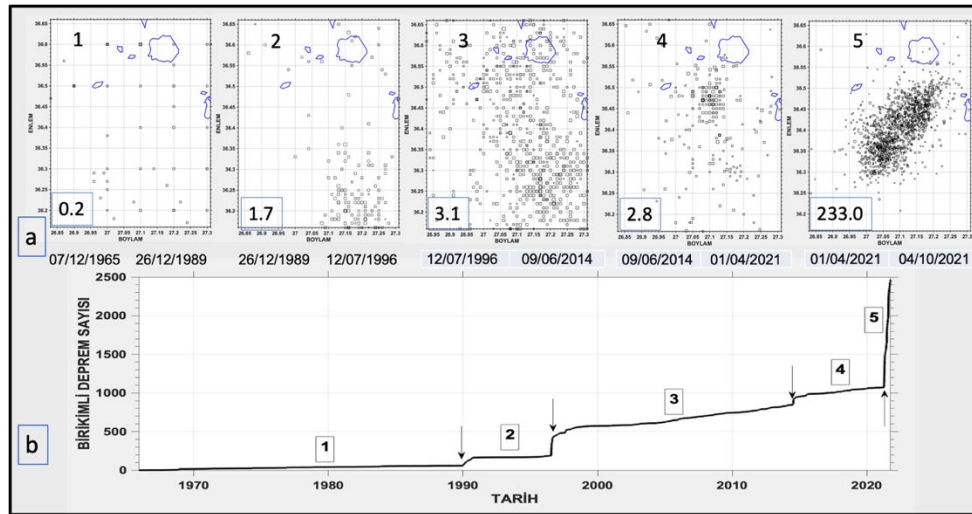
Figure 3: Epicenter distributions of earthquakes detected and reported for; a) all focal depths, and b) maximum 50 km focal depth, between 7 December 1965 and 4 October 2021 in the study area (Red lines indicate active faults (Nomikou and Papanikolaou 2011).)

2.1) Deprem Etkinliğinin Zaman ve Mekânda Değişimi

7 Aralık 1965-4 Ekim 2021 tarihleri arasında NOA tarafından raporlanan ve derinlikleri 50 km'ye kadar olan depremlerin derinliklerinin ve büyüklüklerinin zamana göre dağılımı incelendiğinde bazı tarih aralıklarında birbirinden farklı beş farklı deprem etkinlik dönemi gözlenmektedir (Şekil 4). 2000 yılından sonra deprem etkinliğindeki küçük deprem sayısının sistematik bir biçimde arttığı gözlenmektedir. Ağustos 2011 tarihinden sonra bölgede büyüklüğü 3.0'ten küçük deprem sayısında bir artış vardır. Küçük depremlerin sayısının zamanla artışının olası nedeni olarak bölgedeki deprem kayıt performansının artması, dolayısıyla küçük depremleri saptanma kabiliyetinin gelişmiş olduğu düşünülmektedir. Şekil 4'ten faydalanarak saptanan tarih aralıklarına göre hazırlanan dış merkez dağılım örüntüleri incelendiğinde (Şekil 5), depremlerin zamanla yer değiştirdiği ve etkinlik düzeyinin önce beş farklı dönemde ele alınabileceği anlaşılmaktadır.



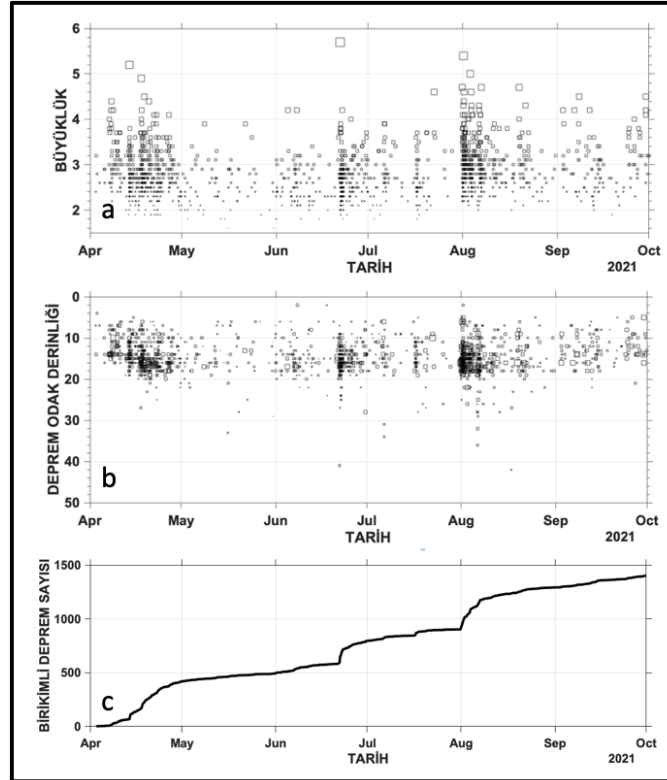
Şekil 4: İnceleme alanında (36.16° - 36.66° K, 26.83° - 27.31° D) derinliği 50 km'ye kadar olan depremlerin derinliklerinin ve büyüklüklerinin zamanla değişimi
 Figure 4: The variation of depths and magnitudes of earthquakes down to 50 km depths in the study area (36.16° - 36.66° N, 26.83° - 27.31° E)



Şekil 5: a) Güney İncirli Havzası'nda 50 km'den daha şif olan depremlerin beş farklı dönemdeki dış merkez dağılımları (Haritaların sol alt köşesindeki sayılar ay başına düşen deprem oranını gösterir.) b) İlgili etkinlik dönemlerinde oluşan depremlerin birikimli sayılarının zamanda değişimi
 Figure 5: Epicentral distributions of earthquakes shallower than 50 km in the Southern Nisyros Basin in five different time periods (The numbers in the lower left corner of the maps show the number of earthquakes per month.) b) Temporal change of the cumulative numbers of earthquakes occurring during the relevant activity periods

288 ay süren birinci dönemde 6.1 büyüklüğünde bir deprem yanı sıra büyüklüğü 3.5 ve daha büyük olan az sayıda deprem olmuştur. Bu depremlerin bir bölümü artçı depremler olabilir. O dönemde kayıt olanaklarının yetersizliği nedeniyle çok sayıda küçük depremin kaydedilemediği düşünülmektedir. İkinci dönemde deprem etkinliği alanın güneyinde yoğunlaşmış ve etkinlik 79 ay sürmüştür. 214 ay süren üçüncü dönemde, deprem etkinliğinin inceleme alanının tümünde yaygın ve dağınık olduğu görülmektedir. Dördüncü dönemde deprem etkinliği İncirli Adası'nın yakın güneyinde dar bir alanda yoğunlaşmış, 81 ay süren

durağan bir deprem etkinliği oluşmuştur. Bu dönemdeki etkinlik kümesinde 3.5'den daha büyük deprem yoktur. Şekil 4 ve Şekil 5'teki deprem etkinliğinin ilk dört dönemdeki örüntüler incelendiğinde, 1 Nisan 2021 tarihinde başlayan beşinci dönem deprem etkinliğinin 6 ay gibi bir sürede büyüklükleri 1.5 ile 5.7 arasında değişen 1.398 adet deprem içerdiği gözlenmiştir. Şekil 4'te dikkati çeken diğer önemli bir örüntü daha vardır. 2002 yılı sonrası büyüklüğü 3.0 ve daha küçük deprem etkinliği artarken, 4.0 ve daha büyük kuvvetli deprem etkinliğinde belirgin bir azalma başlamış ve azalma eğilimi 2020 yılının sonuna kadar sürmüştür. Büyüklüğü 4.0 ve daha büyük depremler mevcut deprem kayıtçıları tarafından kaçırılmayıp mutlaka raporlanacağı için Şekil 4'te ortaya çıkan bu örüntünün, deprem istasyonu kayıt performansı ile ilişkili olmadığı, gerçek bir sismolojik bir olgu olduğu düşünülmektedir. 2002 yılından sonra gözlenmeye başlanan bu "kuvvetli deprem azlığı" örüntüsü ayrıca incelenecek bir konuyu oluşturmaktadır. Şekil 4 ve Şekil 5'teki bulgular, Güney İncirli Havzası'nda 1 Nisan 2021'de başlayan deprem etkinliğinin, önceki dönem etkinliklerden zaman ve mekânda farklı bir örüntü sergileyerek deprem fırtınası karakteri kazandığını göstermiştir. 1 Nisan 2021-4 Ekim 2021 tarihleri arasında oluşan depremlerin zamana göre derinlik, büyüklük ve birikimli deprem sayısı değişimi Şekil 6'da gösterilmiştir. Çok sayıda küçük ve orta kuvvette, zaman zaman azalan ya da artan bu yoğun deprem etkinliğinin (Şekil 5a, Şekil 6c) sismolojik ve sismotektonik özellikleri ayrıntılı araştırılmıştır.



Şekil 6: 1 Nisan 2021-4 Ekim 2021 tarihlerinde İncirli-İlyaki adaları arasındaki alanda meydana gelen deprem fırtınasının; a) deprem derinliklerinin, b) deprem büyüklüklerinin ve c) birikimli deprem sayısının zamanla değişimi

Figure 6: Time variation of earthquake cluster that occurred in Nisyros-Tilos Islands between 1 April 2021 and 4 October 2021 with; a) earthquake depths, b) earthquake magnitudes, and c) cumulative number of earthquakes

1 Nisan 2021'de başlayan deprem etkinliğinin iç merkez derinlikleri önceki dönemdeki depremlere kıyasla daha sığdır ve genelde 20 km'den daha az derinliklerde yoğunlaşmıştır (Şekil 6b). Deprem etkinliği, 2021 yılının Mayıs, Haziran ve Ağustos aylarında hafif artışlar göstererek sürmüştür (Şekil 6c).

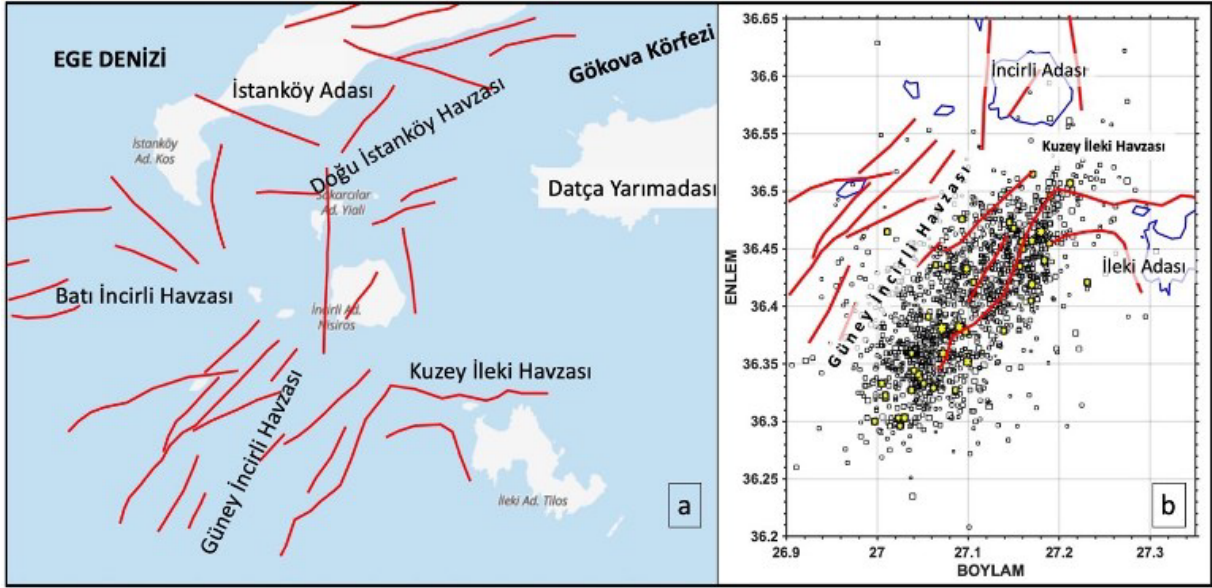
2.2) Güney İncirli Havzası Sismotektonik Yapısı

Şekil 3'de gösterilen inceleme alanının büyük bir bölümünü volkanik İstanköy Adası'ndan İlyaki Adası'na kadar olan denizaltı bölgesi kapsar. Çevredeki diğer ufak volkanik adalar yanı sıra deniz tabanında volkanik havzalar oluşmuştur. Volkanik yapılar çeşitli yüksekliklerde olup bölgede geniş alanlara yayılmıştır ve karmaşık bir morfoloji göstermektedir (Nomikou ve Papanikolaou 2011, Nomikou ve diğ. 2013). Denizaltı jeolojisi ve jeofiziği bulguları, Kiklad volkan yayının doğu tarafının günümüzde yoğun jeodinamik süreçler geçirdiğini göstermektedir. Kiklad volkan yayının batı ucundaki devamında Bodrum İlçesi'ndeki Akyarlar Volkanı yer almaktadır (Şekil 7).



Şekil 7: Muğla, Bodrum Akyarlar Volkanı
Figure 7: Akyarlar Volcano, Bodrum, Muğla, Türkiye

Bölgede volkanik etkinlik Orta Pleistosen döneminde başlamış ve Holosen'de sürmüştür (Dietrich ve Lagios 2018, Nomikou ve diğ. 2021). İstanköy-İncirli volkan sahasının genel tektonik yapısı, KB'da İstanköy ve GD'da İlyaki adalarına bitişik tektonik yükseltiler (horst) ile sınırlanan, DKD-BGB doğrultulu genç tektonik çöküntü havzalarını kapsar. İncirli ve İlyaki adaları arasında normal fay denetimli ve ortalama 600 m derinliğe sahip Güney İncirli Havzası yer almaktadır. Bu çalışmada incelenen 1 Nisan 2021-4 Ekim 2021 tarihleri arasında oluşan deprem fırtınasının dış merkez dağılım örüntüsü, İncirli-İlyaki adaları çevresinde gelişen ve Güney İncirli Havzası'nı sınırlayan aktif normal fay yapılarının etkinleştirdiğini göstermektedir (Şekil 8).



Şekil 8: a) Volkanik İstanköy-İncirli-İlyaki adaları çevresindeki normal faylar (kırmızı çizgi) ve çöküntü havzası (graben) konumları b) 1 Nisan 2021 tarihinde başlayan deprem fırtınası Güney İncirli Havzası içerisinde, havza sınırını denetleyen normal faylarla benzer doğrultuda konumlanmıştır (Nomikou ve Papanikolaou, 2011) (1 Nisan 2021-4 Ekim 2021 tarihlerindeki deprem fırtınasında büyüklüğü 1.5 ve daha fazla olan toplam 1.398 adet deprem rapor edilmiştir. Dış merkez haritasında sarı yıldızla gösterilen depremlerin büyüklüğü 4.0 ve daha fazladır.)

Figure 8: a) Locations of normal faults (red lines) and grabens around the volcanic Kos-Nisyros-Tilos Islands b) The earthquake swarm that started on April 1, 2021 is located in the Southern Nisyros Basin in a similar direction to the normal faults that control the basin boundary (Nomikou ve Papanikolaou, 2011) (A total of 1.398 earthquakes with magnitudes greater or equal to 1.5 were reported in earthquake swarm activity between April 1, 2021 and October 4, 2021. Events with a yellow star on the epicentral map have magnitude 4.0 or greater.)

2.3) Deprem Odak Mekanizması Çözümleri

Deprem odak mekanizması çözümleri, depremlerle ilişkili aktif fayların türlerini tanıma ve tektonik deformasyon özelliklerinin anlaşılmasında önemli kanıtlar sunarlar. Bu amaçla, 1 Nisan 2021-4 Ekim 2021 tarihleri arasında oluşan deprem fırtınası içerisinde yer alan ve büyüklükleri 4.0 ve daha fazla olan depremlerin odak mekanizması çözümleri incelenmiştir. NOA veri merkezinden derlenen odak mekanizması çözümleri Tablo 1’de sunulmuştur.

Odak mekanizması çözümleri ve bölgedeki aktif normal faylar deprem dış merkez haritası üzerine aktararak yorumlanmıştır (Şekil 9). Elde edilen bulgular bir arada yorumlandığında, KD-GB doğrultulu normal faylarla denetlenen Güney İncirli Havzası’nın çok etkinleştiği, KB-GD yönünde genişleme hareketinin çok güçlü olduğu ve havzanın büyüdüğü anlaşılmaktadır.

Odak mekanizması çözümlerinden elde edilen çekme gerilimi eksen (T) azimutu ortalaması 103° olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, Ege Denizi’nin doğusunda önemli bir havza olan Güney İncirli Havzası’nın KB-GD yönlü genişleme sürecinin ve havza oluşumunun günümüzde etkin olarak sürdüğünü göstermektedir.

Bölgenin çok genç bir volkanik kuşak olduğu düşünüldüğünde mevcut volkan yapıları ve deprem fırtınası arasında ilişkilerin ayrıca araştırılması yararlı olacaktır.

Tablo 1: 1 Nisan 2021-4 Ekim 2021 tarihleri arasında oluşan Güney İncirli Havzası'nda oluşan deprem fırtınasında, büyüklüğü 4.0 ve daha fazla olan 20 depremin odak mekanizması çözüm parametreleri (Çözümler Şekil 9'da gösterilmiştir.)

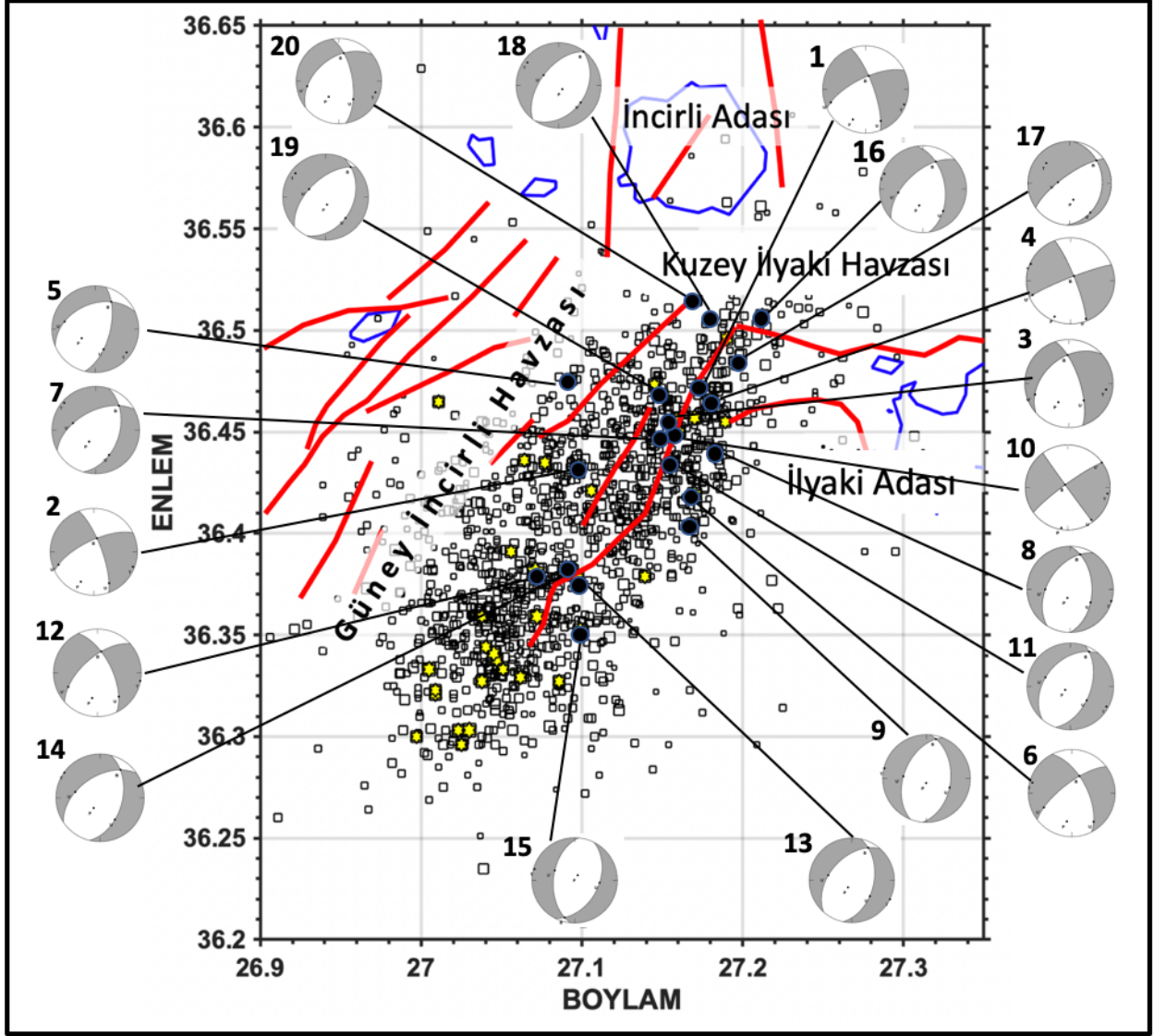
Table 1: The focal mechanism parameters of 20 earthquakes with magnitude of 4.0 or greater in the earthquake cluster that occurred in the Southern Nisyros Basin between 1 April 2021 and 4 October 2021 (Focal mechanism solutions are shown in Figure 9.)

No	Tarih (g.ay.yıl)	Zaman-UTC (sa:dk)	Enlem (°)	Boylam (°)	Derinlik (km)	Büyüklük (M_L)	Doğrultu Açısı	Eğim Açısı	Kayma Açısı
1	07.04.2021	07:08	36.474	27.174	6	4.0	340	75	-158
2	08.04.2021	00:33	36.456	27.159	8	4.4	331	80	-166
3	08.04.2021	15:23	36.430	27.098	8	4.4	342	70	-128
4	13.04.2021	20:28	36.465	27.180	8	5.1	339	81	-174
5	17.04.2021	17:08	36.419	27.170	7	4.9	14	62	-122
6	17.04.2021	20:57	36.476	27.093	7	4.2	333	61	-159
7	18.04.2021	16:26	36.457	27.170	6	4.4	17	45	-125
8	20.04.2021	05:09	36.440	27.184	6	4.6	0	48	-113
9	22.04.2021	19:49	36.405	27.169	8	4.2	5	44	-102
10	26.04.2021	19:58	36.450	27.161	8	4.0	144	89	173
11	04.06.2021	20:23	36.435	27.157	9	4.1	20	51	-103
12	21.06.2021	22:14	36.381	27.071	12	5.4	334	63	-148
13	22.07.2021	14:16	36.378	27.097	10	4.4	12	47	-111
14	01.08.2021	04:31	36.382	27.090	6	5.4	14	48	-121
15	03.08.2021	12:38	36.352	27.099	10	5.0	27	43	-74
16	08.09.2021	01:40	36.507	27.212	8	4.3	352	48	-134
17	26.09.2021	04:40	36.488	27.199	4	4.3	5	23	-137
18	29.09.2021	22:22	36.473	27.145	7	4.3	34	35	-93
19	29.09.2021	23:27	36.515	27.171	6	4.0	26	35	-107
20	04.10.2021	14:03	36.510	27.180	7	4.3	351	64	-128

3. GUTENBERG-RICHTER (G-R) DEĞİŞKENLERİNİN ZAMANDA VE MEKÂNDA DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

Güney İncirli Havzası ve çevresinde 7 Aralık 1965-4 Ekim 2021 tarihleri arasında olan depremlerin Gutenberg-Richter (G-R) değişkenleri olan M_c , a -değeri ve b -değeri beş farklı zaman aralığı için (Şekil 5) hesaplanmıştır. Analiz için ZMAP yazılımı kullanılmıştır. Tamlik büyüklüğü olarak adlandırılan M_c değeri, verilen bir deprem büyüklüğü için bulunan birikimli deprem sayısı ile büyüklük değer dağılımının oluşturduğu eğrinin en büyük olduğu noktadaki değer (maximum curvature) yöntemi ile hesaplanmış ve b -değeri için en yüksek olasılık yöntemi (maximum likelihood) kullanılmıştır (Wiemer ve Wyss 2000, Wiemer 2001).

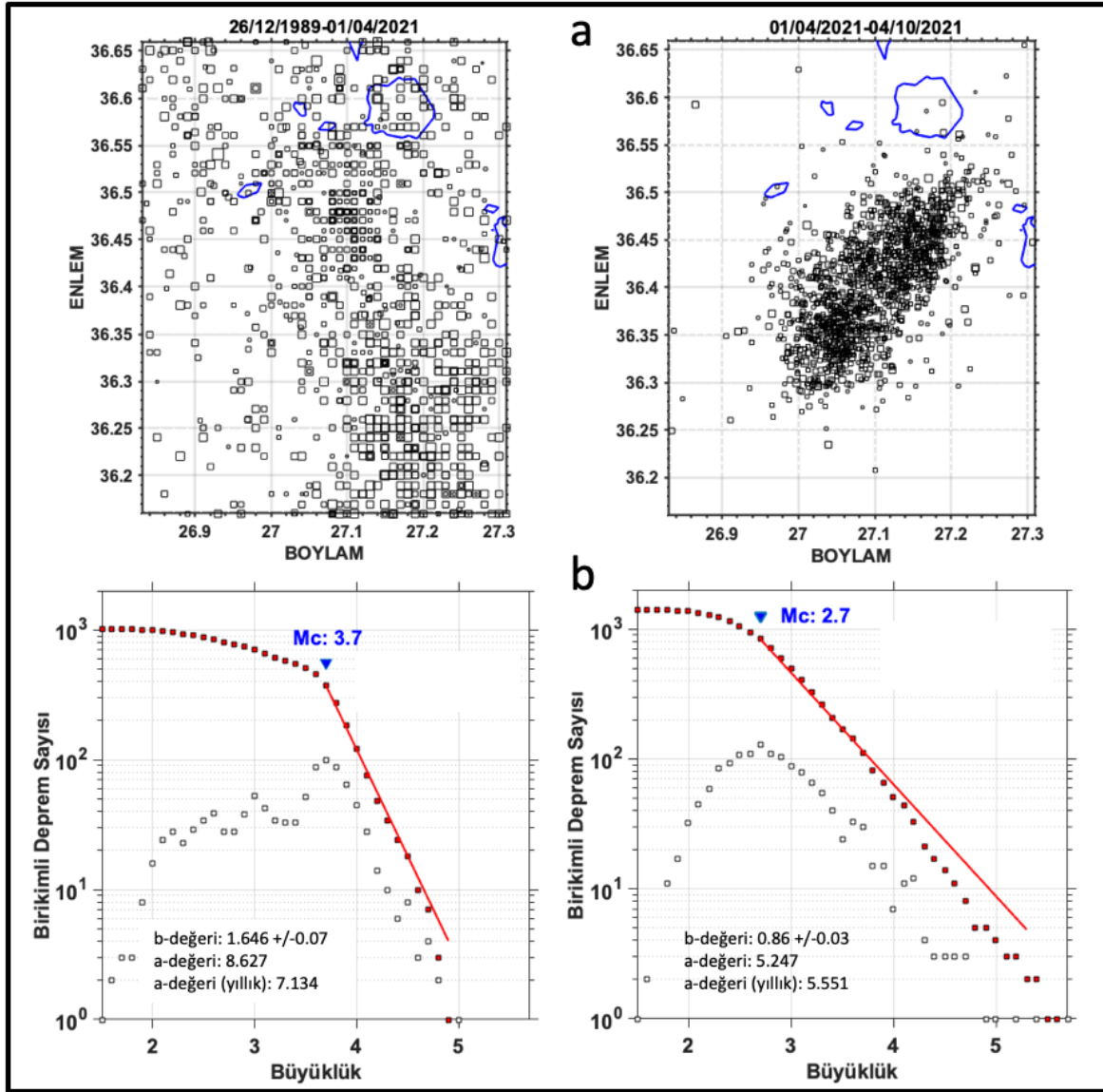
7 Aralık 1965-4 Ekim 2021 tarihleri arasında olan depremler için ortalama M_c , b - ve a -değerlerinin mekânsal özelliklerini saptamak amacıyla, alanda belirlenen her grid noktasında hareket edecek dairesel mekân penceresinin yarıçap büyüklüğü (R_m) ve her pencere alanına düşen en az deprem sayısı için çeşitli değerler denenmiş ve en az standart sapmayı temsil eden ölçütler belirlenmiştir. Farklı ölçütler için elde edilen sonuçlar çok farklı olmamakla birlikte çalışma alanında grid aralığı sabit 1.0 km x 1.0 km, pencere içerisine düşen minimum deprem sayısı en az $N=50$, kayan pencere için yarıçap sabit $R_m=10$ km olarak kabul edilmiştir.



Şekil 9: Güney İncirli Havzası'nda oluşan deprem fırtınası alanında yer alan 20 orta büyüklükteki depremin odak mekanizması çözümleri (Odak mekanizması çözümleri alt yarım küre projeksiyonuna göre yapılmıştır. Sarı renkli yıldızlar büyüklüğü $M_L \geq 4.0$ olan depremleri gösterir.)

Figure 9: Focal mechanism solutions of 20 medium-sized earthquakes in the earthquake swarm area in the Southern Nisyros Basin (Focal mechanism solutions are computed according to the lower hemisphere projection. Yellow colored stars indicate earthquakes with magnitude $M_L \geq 4.0$.)

7 Aralık 1965-26 Aralık 1989 döneminde içerisinde 6.1 büyüklüğünde deprem olması ve buna rağmen artçı depremler dâhil çok az sayıda (59) deprem etkinliği oluşması nedeniyle, bu dönemdeki deprem etkinliği için G-R değişkenlerinin değerlendirilmesi yapılmamıştır. Deprem dış merkezlerinin ve deprem büyüklüklerinin zaman içerisindeki örüntülerindeki farklılıklar nedeniyle, inceleme alanındaki depremlerin G-R değişkenlerinin 26 Aralık 1989-1 Nisan 2021 tarihleri arası ve 1 Nisan 2021-4 Ekim 2021 tarihleri arası iki dönem için saptanmasına karar verilmiştir. Bu karar doğrultusunda her iki dönem için elde edilen birikimli deprem sayısı-büyüklük grafiklerinde (FMD) önemli farklılıklar bulunmuştur (Şekil 10). Dış merkez haritaları incelendiğinde depremlerin Güney İncirli Havzası'nın güneyinde ve kuzeyinde daha yoğun olduğu gözlenmektedir. 26 Aralık 1989-1 Nisan 2021 tarihleri arası oluşan etkinlikteki toplam deprem sayısı 1.011, tamlık büyüklüğü $M_c=3.7$ ve b -değeri=1.65 olarak saptanmıştır. Bu tarih aralığı içerisinde tamlık büyüklüğünün kararsızlığı G-R grafiğinde gözlenmektedir.

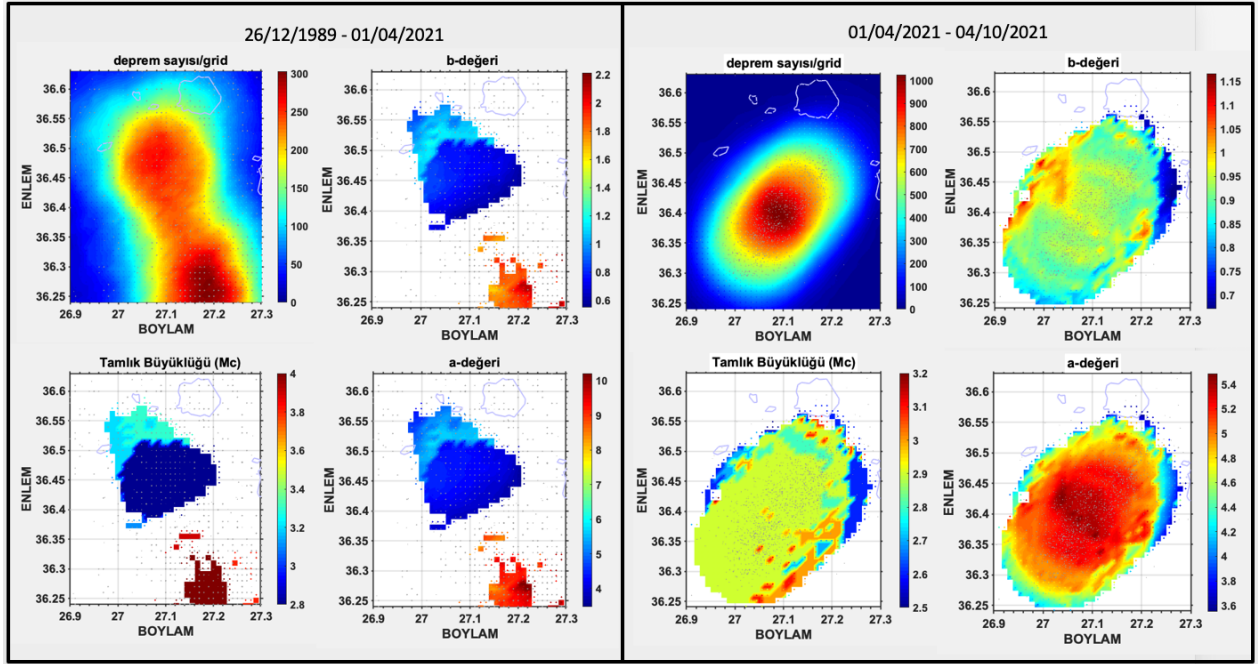


Şekil 10: a) 26 Aralık 1989-1 Nisan 2021 tarihleri ile 1 Nisan 2021-4 Ekim 2021 tarihleri arasındaki farklı iki dönem için elde edilen deprem etkinliğinin dış merkez dağılım haritası ve b) birikimli deprem sayısı-büyüklük ilişkisi

Figure 10: a) Epicentral distribution map of earthquake activity obtained for two different periods between 26 December 1989-1 April 2021 and 1 April 2021-4 October 2021 and b) frequency-magnitude distribution

Şekil 4'teki grafikten de görüleceği gibi, bunun nedeninin, büyüklüğü 3.0'ten küçük depremlerin 2011 yılına kadar rapor edilememesi olduğunu söyleyebiliriz. 1 Nisan 2021-4 Ekim 2021 tarihleri arasındaki deprem fırtınasını oluşturan 1.398 deprem için tamlik büyüklüğü $M_c=2.7$, yıllık a -değeri ve yerel büyüklükler M_L olmak üzere G-R bağıntısı $\log N(M_L)=5.55-0.86 \cdot M_L$ olarak saptanmıştır (Şekil 10). İkinci dönem için kayıt performansı küçük depremler için yetersiz olduğu varsayılarak $M_c=3.7$ için G-R değişkenleri hesaplandığında, kalan 111 adet deprem için b -değeri $=1.13 \pm 0.11$ ve yıllık a -değeri: 6.53 olarak elde edilmektedir. Ancak, daha az sayıda deprem nedeniyle elde edilen G-R değişkenlerinin, alandaki sismolojik karakteri değerlendirmede sağlıklı sonuç vermesi beklenmemelidir.

26 Aralık 1989-1 Nisan 2021 tarihleri ile 1 Nisan 2021-4 Ekim 2021 tarihleri arasındaki farklı iki dönemdeki deprem etkinliğinin M_c , a -değeri ve b -değeri ile birim alan başına düşen deprem sayısının mekânsal dağılımı karşılaştırmalı olarak hesaplanmış ve yorumlanmıştır (Şekil 11).



Şekil 11: 26 Aralık 1989-1 Nisan 2021 tarihleri (375 ay) ile 1 Nisan 2021-4 Ekim 2021 tarihleri (6 ay) arasındaki farklı iki dönemde grid alanı başına düşen M_c , b - ve a -değerlerinin ve olay sayısının mekânsal dağılımı (Kırmızı renk en yüksek değeri, mavi renk en düşük değeri gösterir.)

Figure 11: Spatial distribution of M_c , b and a values and number of events per grid area in two different periods from 26 December 1989 to 1 April 2021 (375 months) to 1 April 2021 to 4 October 2021 (6 months) (Red and blue colors indicate the highest and lowest values, respectively.)

1 Nisan 2021 öncesi bölgedeki deprem etkinliğinin KKB-GGD doğrultusunda iki farklı deprem etkinlik kümesi oluşturduğu görülmektedir. KB'daki etkinlikte M_c , a -değeri ve b -değeri sırasıyla 2.8, 4.0 ve 0.7 düzeyindedir. GD'daki etkinlikte ise M_c , a -değeri ve b -değeri sırasıyla 3.9, 4.0 ve 2.0 düzeylerinde gerçekleşmiştir. Güney İncirli Havzası'nda 1 Nisan 2021-4 Ekim 2021 tarihleri döneminde oluşan deprem fırtınasının yoğunlaşma alanı önceki dönemdeki deprem etkinliğinin en az olduğu $36.4^{\circ}\text{K}-27.1^{\circ}\text{D}$ koordinatı civarında yoğunlaştığı (Şekil 11) görülmektedir. Bu alanda M_c büyüklüğünün 2.9, a -değerinin 4.5 ve b -değerinin 0.9 düzeyine ulaştığı gözlenmiştir.

26 Aralık 1989-1 Nisan 2021 tarihleri arasındaki 375 aylık süredeki deprem dış merkez örüntüsü iki ana etkinlik alanı oluşturmaktadır. Bu alanlardan KB'da olanda b -değeri: 0.7, GD'da olanda ise b -değeri: 2.0 düzeyinde bulunmuştur. Bu analiz sırasında elde edilen sonuçlardan biri de, 1 Nisan 2021 sonrası başlayan deprem fırtınasının bu iki farklı b -değeri arasındaki geçiş bölgesinde ortaya çıkmış olmasıdır (Şekil 11). Eğer b -değerini 'gerilim (stres) ölçer' gibi yorumlarsak (Scholz 2015, Chiba ve Shimizu 2018) deprem fırtınasının yüksek gerilim (düşük b -değeri) ile düşük gerilim (yüksek b -değeri) arasında harekete geçen normal faylanma sürecinin bir sonucu olduğunu düşünebiliriz. Diğer bir ifadeyle, 1 Nisan 2021 öncesi dönemde bölgenin KB'sında çok belirgin olarak gelişen düşük b -değeri alanının (Şekil 11), normal fayların hareketini başlatacak yüksek gerilim koşullarını sağladığı söylenebilir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Ege Denizi, Kıklad volkanik ada yayının doğusunda yer alan İncirli ve İlyaki adalarının çevresindeki deprem etkinliği incelenmiştir. Adalar, Pleistosen-Holosen zamanında volkanik etkinlik göstermiştir. İncirli ve İlyaki adaları arasında KD-GB doğrultusunda yer alan Güney İncirli Havzası ve onu sınırlayan normal fayların üzerinde 1 Nisan 2021'de başlayan deprem etkinliği bir süre sonra deprem fırtınasına dönüşmüştür. Deprem fırtınasının sismolojik ve sismotektonik özelliklerinin zamana ve mekâna bağlı değişimleri 36.16° - 36.66° K ve 26.83° - 27.31° D koordinatları arasında kalan alanda ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu amaçla, NOA deprem arşivindeki veriler derlenmiş ve inceleme alanında 7 Aralık 1965-4 Ekim 2021 tarihleri arasında olan tüm depremler değerlendirmeye alınmıştır. Afrika-Nubia dalma-batma kuşağının oluşturduğu derin depremler elenmiş ve 50 km ve daha sığ olan depremler bu çalışmada kullanılan veri tabanını oluşturmuştur. Belirlenen alanda incelemeye alınan tüm deprem sayısı 2.468, deprem büyüklükleri ise 1.5 ile 6.1 arasında değişmektedir. 7 Aralık 1965-4 Ekim 2021 tarihleri arasında oluşan deprem etkinliği zamanda ve mekânda beş farklı dönem halinde farklılıklar göstermiştir (Şekil 4, Şekil 5). Belirlenen zaman aralığındaki dönemlerde deprem etkinliklerinin mekânsal örüntülerinin sismolojik özellikleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Buna göre, 6.1 büyüklüğünde bir depremle birlikte 59 depremin yer aldığı birinci dönem deprem etkinliği değerlendirme dışına çıkarılmış, 26 Aralık 1989-1 Nisan 2021 tarihleri ile 1 Nisan 2021-4 Ekim 2021 tarihleri arasındaki iki ana etkinlik dönemi için oluşturulan deprem verileri sismolojik ve sismotektonik değerlendirmeye alınmıştır.

1 Nisan 2021-4 Ekim 2021 tarihleri arasında oluşan deprem fırtınasında, büyüklüğü 4.0 ve daha fazla olan 20 deprem için NOA tarafından rapor edilen odak mekanizması çözümleri, bölgede KD-GB doğrultusunda normal fay hareketlerinin çok etkin olduğunu göstermektedir (Şekil 9). Güney İncirli Havzası'nın doğusunu ve batısını sınırlayan normal faylar birbirleriyle etkileşimli olarak uzun süren ve oldukça etkin olan bir deprem fırtınası oluşturmuştur. Odak mekanizması çözümlerinden elde edilen çekme gerilmesi ekseninin, normal faylara dik yönde ve ortalama azimutu 103° olarak konumlandığı bulunmuştur. Depremlerin dış merkez dağılım örüntüsü, odak mekanizması çözümleri ve bölgenin aktif fay özellikleri birlikte değerlendirildiğinde, Güney İncirli Havzası'nın KB-GD yönünde genişleme hareketinin günümüzde baskın olarak sürdüğü anlaşılmaktadır.

26 Aralık 1989-1 Nisan 2021 tarihleri arası ve 1 Nisan 2021-4 Ekim 2021 tarihleri arası dönemler için birikimli deprem sayısı-büyükölçüm grafiklerinde (FMD) tamlık büyüklüğü M_c : 3.7, yıllık a -değeri: 7.13 ve b -değeri: 1.65 olarak saptanmıştır (Şekil 10). Bu tarih aralığı içerisinde tamlık büyüklüğünün kararsızlığı G-R grafiğinde gözlenmektedir. Bunun ana nedenlerinden birinin, büyüklüğü 3.0'den küçük depremlerin 2011 yılına kadar rapor edilememesidir (Şekil 4). Güney İncirli Havzası'nda deprem fırtınası örüntüsünü oluşturan etkinliğin sürdüğü 1 Nisan 2021-4 Ekim 2021 tarihleri arasında tamlık büyüklüğü M_c : 2.7, b -değeri: 0.86 ve yıllık a -değeri: 5.55 bulunmuştur. 1 Nisan 2021 sonrası dönemdeki b -değeri ile önceki dönemdeki b -değerini kıyaslamak için M_c : 3.7 değerine sabitlendiğinde (Şekil 10b), b -değeri: 1.13 ve yıllık a -değeri: 6.53 olarak elde edilmiştir. Buna rağmen, b -değerinin önceki dönemdeki 1.65 değerine kıyasla daha düşük değerde kalacağı ve bölgede göreceli olarak yüksek gerilim düzeyinin sürdüğü anlaşılmaktadır.

Güney İncirli Havzası'nda 26 Aralık 1989-1 Nisan 2021 tarihleri arasındaki deprem etkinliğinin mekânsal analizinde KKB-GGD doğrultusunda ayrı iki farklı deprem etkinlik kümesi olduğu gözlenmiştir (Şekil 11). KB'daki depremler için M_c , a -değeri ve b -değeri sırasıyla 2.8, 4.0 ve 0.7 olarak elde edilirken, GD'daki depremler için bu değerler sırasıyla 3.9, 4.0 ve 2.0 düzeylerinde bulunmuştur. 1 Nisan 2021 tarihinde başlayan ve 6 ay gibi bir sürede deprem fırtınasına dönüşen etkinlik önceki dönemdeki depremler için bulunan farklı iki b -değeri bölgesi arasındaki geçiş alanında ortaya çıkmıştır. 26 Aralık 1989-1 Nisan 2021 tarihleri arasında İncirli ve İlyaki adaları arasında gelişen yüksek gerilim (düşük b -değeri) alanı (Şekil 11), Güney İncirli Havzası'ndaki KD-GB doğrultusunda bulunan normal fayların hareket sürecini başlatmış olan

bir mekanizma olarak önerilebilir. *b*-değeri ile aktif tektonik ortamlarda gelişen gerilim değerlerinin değişimi arasında doğrudan bir bağlantı olduğu kabul edilmektedir. Depremlerin *b*-değeri, tektonik ortamdaki yapısal heterojenlikten, termal değişimlerden, gerilim ve gerinim değişiminden vb. etkilenmektedir (Scholz 2015, Ozturk 2019). Durağan tektonik bölgelerde *b*-değeri genellikle ortalama 1.0'e eşittir. Yüksek *b*-değerlerinin ($\geq 1,5$) yerel gerilimin yüksek olduğuna, yer kabuğunda heterojenliğin fazlalığına veya termal ve magmatik akışkan hareketlerin yoğunluğuna; düşük *b*-değerlerinin ise ($\leq 1,0$) yer kabuğunda yüksek gerilim birikimine ve düşük heterojen yapıya işaret ettiği kabul edilir. Japonya'da 2000 yılında olan 7.3 büyüklüğündeki Tottori depremi öncesi, çevrede olan deprem fırtınaları için hesaplanan *b*-değerleri oldukça düşük değerlerde (0.51-0.67) elde edilmiştir (Shibutani ve diğ. 2002). Chiba ve Shimizu (2018) volkanik alanlardaki yüksek *b*-değerlerinin ($\geq 1,4$) volkanik püskürme öncesi ortamda oluşan kırıkların artması ile ilgili olduğunu, püskürme sonrası ise *b*-değerinin azaldığını (0.6-0.9) belirtmiştir.

Mekânsal dağılım haritasına göre, Güney İncirli Havzası deprem fırtınasının en yoğun olduğu alanda tamlik büyüklüğü değeri M_c : 2.9, *a*-değeri: 5.3 ve *b*-değeri: 0.9 olarak saptanmıştır ve bu değerler Şekil 10b'de saptanan G-R grafiğindeki değerlerle uyumludur. Güney İncirli Havzası'nda 1 Nisan 2021 deprem fırtınası için bulunan *b*-değerinin, alanda halen tektonik gerilimin yüksek olduğunu ve deprem etkinliğinin biraz daha sürebileceğine dair bir bulgu olabileceğini söyleyebiliriz.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan veriler Atina Ulusal Gözlemevi (NOA) internet veri tabanından alınmıştır. Veri tabanını erişime açtığı ve kullanıma izin verdiği için NOA'ya teşekkür ederim. Yazar, değerli eleştirileri ile makalenin gelişmesine katkı sunan Editörler Orhan Polat ve Şakir Şahin'e ve makaleyi değerlendiren hakemlere teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Aktug B., Nocquet J.M., Cingoz A., Parsons, Erkan Y., England P., Lenk O. Gurdal M.A., Kilicoglu A., Akdeniz H., Tekgul A., 2009. Deformation of western Turkey from a combination of permanent and campaign GPS data: Limits to block-like behavior, *J. Geophys. Res.* 114, B10404, 1-22
- Chatzipetros A., Kiratzi A.A., Sboras S., Zouros N., 2013. Active faulting in the north-eastern Aegean Sea Islands, *Tectonophysics* 106, 597-598
- Chiba K., Shimizu H., 2018. Spatial and temporal distributions of *b*-value in and around Shinmoe-dake, Kirishima volcano, Japan. *Earth Planets and Space*, 70(1), art. no. 122
- Cossette E., Audet P., Schneider D., Grasemann B., 2016. Structure and anisotropy of the crust in the Cyclades, Greece, using receiver functions constrained by in situ rock textural data, *J. Geophys. Res. Solid Earth* 121, 2661-2678
- Dietrich V., Lagios E., 2018. Nisyros Volcano: The Kos-Yali-Nisyros Volcanic Field; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 339 p.
- Endrun B., Meier T., Lebedev S., Bohnhoff M., Stavrakakis G., Harjes H.P., 2008. S-velocity structure and radial anisotropy in the Aegean region from surface wave dispersion, *Geophys. J. Int.* 174, 593-616
- Eyidogan H., 2020. Investigation of the temporal and spatial properties of earthquake activity and Gutenberg- Richter parameters in the vicinity of Manisa Akhisar, *Turk. J. Earthq. Res.* 2(2), 138-159

Fischer T., Horalek J., Michalek J., Bouskova, A., 2010. The 2008 West Bohemia earthquake swarm in the light of the WEBNET network, *J. Seism.* 14(4), 665-682

Floyd M.A., Billiris H., Paradissis D., Veis G., Avallone A., Briole P., McClusky S., Nocquet J.M., Palamartchouk K., Parsons B., England, P. C., 2010. A new velocity field for Greece: Implications for the kinematics and dynamics of the Aegean, *J. Geophys. Res.* 115, B10403, 1-25

Heinicke J., Woith H., Alexandrakos C., Buske S., Telesca, L., 2018. Can hydroseismicity explain recurring earthquake swarms in NW-Bohemia, *Geophys. J. Int.* 212(1), 211-228

Hicks S.P., Verdon J., Baptie B., Lockett R., Mildon Z.K., Gernon T., 2019. A shallow earthquake swarm close to hydrocarbon activities: discriminating between natural and induced causes for the 2018-2019, Surrey, United Kingdom, Earthquake Sequence, *Seismol. Res. Lett.* 90(6), 2095-2110

Hollenstein C., Müller M.D., Geiger A, Kahle H-G., 2008. Crustal motion and deformation in Greece from a decade of GPS measurements, 1993-2003, *Tectonophysics* 449(1), 17-40

Mcclusky S., Balassanian S., Barka A, Demir C., Ergintav S., Georgiev I., Gurkan O, Hamburger M., Hurst K., Kahle H., Kastens K., Kekelidze G., King R., Kotzev V., Lenk O., Mahmoud S., Mishin A., Nadariya M., Ouzounis A., Paradissis D., Peter Y., Prilepin M., Reilinger R., Sanli I., Seeger H., Tealeb A., Toksöz M.N., Veis G., 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus, *J. Geophys. Res.* 105(B3), 5695-5719

Meade, B.J., Hager B.H., 2005. Block models of crustal motion in southern California constrained by GPS measurements, *J. Geophys. Res.* 110, B03403, 1-19

Mountrakis D., 2005. Tertiary and Quaternary tectonics in Aegean area, *Developments in Volcanology* 7, 1-10

NOA, 2021. Institute of Geodynamics, National Observatory of Athens, NOAIG-Catalogue (1964 up to today). Erişim adresi: <https://www.gein.noa.gr/en/services-products/earthquake-catalogs/>

Nocquet J.M., 2012. Present-day kinematics of the Mediterranean: A comprehensive overview of GPS results. *Tectonophysics* 579, 220-242

Nomikou P., Bell K.L.C., Papanikolaou D., Livanos I., Fero Martin, J., 2013. Exploring the Avyssos-Yali-Strogyli submarine volcanic complex at the eastern edge of the Aegean Volcanic Arc, *Zeitschrift für Geomorphologie* 57(3), 125-137

Nomikou P., Krassakis P., Kazana S., Papanikolaou D., Koukouzas N., 2021 The volcanic relief within the Kos-Nisyros-Tilos tectonic graben at the eastern edge of the Aegean Volcanic Arc, Greece and Geohazard Implications, *Geosciences* 11, 231, 1-22

Nomikou P., Papanikolaou D., 2011. Extension of active fault zones on Nisyros Volcano across the Yali-Nisyros channel based on onshore and offshore data, *Marine Geophysical Research* 32(1-2), 181-192

Nyst M., Thatcher W., 2004. New constraints on the active tectonic deformation of the Aegean, *J. Geophys. Res.* 109, B11406, 1-23

Ocakoglu N., Demirbag E., Kuscu I., 2005. Neotectonic structures in the area offshore of Alacati, Doganbey, and Kusadasi (western Turkey): evidence of strike-slip faulting in the Aegean extensional province, *Tectonophysics* 391, 67-83

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

Papazachos B.C., Dimitriadis S.T., Panagiotopoulos D.G., Papazachos C.B., Papadimitriou E.E., 2005. Deep structure and active tectonics of the southern Aegean volcanic arc, *Developments in Volcanology* 7, 47-64

Pe-Piper G., Piper D.J.W., 2005. The South Aegean active volcanic arc: Relationships between magmatism and tectonics, *Developments in Volcanology* 7, 113-133

Reillinger R., McClusky S., Vernant P., et al., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, *J. Geophys. Res.* 111, B05411, 1-26

Scholz C.H., 2015. On the stress dependence of the earthquake b value. *Geophys. Res. Lett.* 42, 1399-1402

Sengor A.M.C, Tuysuz O., Imren C., Sakinc M., Eyidogan H., Gorur N., Le Pichon X., Rangin C., 2005. The North Anatolian Fault: A New Look, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 33, 37-112

Shaw B., Jackson J., 2010. Earthquake mechanisms and active tectonics of the Hellenic subduction zone, *Geophys. J. Int.* 181(2), 966-984

Shibutani T., Nakao S., Nishida R., Takeuchi F., Watanabe K., Umeda Y., 2002. Swarm-like seismic activity in 1989, 1990 and 1997 preceding the 2000 Western Tottori earthquake, *Earth Planets and Space*, 54, 831-845

Vernant P., Reillinger R., McClusky S., 2014. Geodetic evidence for low coupling on the Hellenic subduction plate interface, *Earth and Planetary Science Letters* 385, 122-129

Wiemer S., 2001. A software package to analyze seismicity: ZMAP, *Seismol. Res. Lett.* 72(3), 373-382

Wiemer S., Wyss M., 2000. Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: examples from Alaska, the western United States, and Japan, *Bull. Seism. Soc. Am.* 90(4), 859-869

Zhu L., Mitchell B. J., Akyol N., Cemen I., Kekovali K., 2006. Crustal thickness variations in the Aegean region and implications for the extension of continental crust, *J. Geophys. Res.* 111, B01301, 1-10

ARAŞTIRMA VERİSİ (Research Data)

Çalışma kapsamında Atina Ulusal Gözlemevi (NOA) tarafından çözümlenen deprem lokasyon bilgileri kullanılmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI / İLİŞKİSİ (Conflict of Interest / Relationship)

Araştırma kapsamında herhangi bir kişiyle ve/veya kurumla çıkar çatışması/ilişkisi bulunmamaktadır.

YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI (*Author Contributions*)

- Çalışmanın tasarlanması (*Designing of the study*): H.E.
- Literatür araştırması (*Literature research*): H.E.
- Saha çalışması, veri temini/derleme (*Fieldwork, collection/compilation of data*): H.E.
- Verilerin işlenmesi/analiz edilmesi (*Processing/analysis of data*): H.E.
- Şekil/Tablo/Yazılım hazırlanması (*Preparation of figures/tables/software*): H.E.
- Bulguların yorumlanması (*Interpretation of findings*): H.E.