



Kıbrıs Adası ve Çevresindeki Depremlerin Zamansal ve Mekânsal Dağılımı: Jeoistatistiksel Bir Yaklaşım

Spatial and Temporal Distribution of Earthquakes in Cyprus and its Surroundings: A Geostatistical Approach

ÇAĞAN ALEVKAYALI ^{1*}, HİLMİ DİNDAR ²

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, Isparta, Türkiye

² Uluslararası Kıbrıs Üniversitesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, Lefkoşa, Kuzey Kıbrıs

Geliş (*received*): 11 Ekim (October) 2021 Kabul (*accepted*): 29 Haziran (June) 2022

ÖZ

Yer kabuğundaki ani hareketler sonucunda meydana gelen depremler ortaya çıktıkları bölgenin tektonizması ile ilişkilidir. Kıbrıs Adası ve Kıbrıs Yayı; Afrika, Avrasya ve Arap levhalarının kesiştiği bölgede Alp-Himalaya Kıvrım Kuşağı'nın bir üyesidir. Bundan dolayı Kıbrıs Adası ve çevresi sismik açıdan aktif bir bölgedir. Depremlerin sismik özellikleri ve mekânsal ilişkilerinin ortaya konulması o bölgedeki fay sisteminin ve tektonizmanın işleyişi hakkında bilgiler vermektedir. Bu çalışmanın amacı Kıbrıs Adası ve çevresindeki depremlerin zamansal ve mekânsal dağılımını jeoistatistiksel yöntemlerle ortaya koyarak sismik aktivitenin fay hatları ile olan ilişkisinin açıklanmasıdır. Kıbrıs Adası ve çevresindeki depremlerin mekânsal yoğunluğu Kernel yoğunluk fonksiyonundan yararlanılarak belirlenmiştir. Depremlerin mekânsal kümelenme özellikleri Anselin Yerel Moran'ın I ve Getis-Ord-Gi* Kümelenme Analizleri kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca çalışma alanında depremlerin zamansal-mekânsal değişimleri, standart sapma elipsi, ortalama merkez ve medyan merkezi hesaplanarak ortaya konulmuştur. Çalışmada elde edilen sonuçlar depremlerin Kıbrıs Yayı'nın batısında ve Kıbrıs Adası'nın güneybatısında yoğunlaştığını göstermiştir. Kıbrıs Adası ve çevresindeki depremlerin mekânsal kümelenme özelliklerine bakıldığında kuzeybatıda küçük depremlerin, güneydoğuda ise büyük depremlerin kümelenme gösterdiği tespit edilmiştir. Kıbrıs Adası'nın güneyindeki depremlerin mekânsal yoğunluğu fazla olmasına rağmen bu bölgedeki küçük veya büyük depremlerde anlamlı kümelenme test edilememiştir. Kıbrıs Yayı ve Kıbrıs Adası'nın kuzeyinde $M \geq 6$ depremlerin gerçekleşmediği sismik bir boşluk belirlenmiştir. Bu bölgedeki enerji birikimi ve transform fayın bulunması büyük depremlerin gerçekleşme potansiyelini oluşturmaktadır. Son olarak Kıbrıs Adası ve çevresinde gerçekleşen depremlerin yıllar arasında mekânsal ortalama ve ortanca merkezlerinin Kıbrıs Yayı boyunca doğu-batı yönlerinde yer değiştirdiği ortaya konulmuştur..

Anahtar Kelimeler: Anselin Yerel Moran'ın I, Deprem, Getis-Ord-Gi*, Mekânsal Dağılım, Kümelenme Analizleri, Kıbrıs Adası

ABSTRACT

Earthquakes that arise as a result of sudden movements in the earth's crust are associated with tectonism in the region where they occur. The island of Cyprus and the Cyprus Arc; is a member of the Alpine-Himalayan Orogenic Belt System at the intersection of the Eurasian, African, and Arabian plates. Therefore, Cyprus and surroundings are a seismically active region. Revealing the seismic characteristics and spatial relationships of earthquakes gives information about the functioning of the fault system and tectonism in that region. The aim of this study is to explain the relationship between seismic activity and fault lines by revealing the temporal and spatial distribution of earthquakes in Cyprus and surroundings with geostatistical methods. Thus, the spatial intensity of earthquakes in Cyprus and surroundings was determined by using the Kernel density function. Spatial clustering characteristics of earthquakes were calculated by applying the spatial cluster analysis techniques such as Anselin Local Moran's I and Getis-Ord-Gi. In addition, spatio-temporal changes of earthquakes in the study area are revealed by using standard deviation ellipse, mean center and median center. The results obtained in the study have determined that the earthquakes are concentrated in the west of the Cyprus Arc and in the southwest of the Cyprus. Considering the spatial clustering characteristics of earthquakes in Cyprus and surroundings, it has been determined that small earthquakes in the northwest and large earthquakes in the southeast show clustering. Although the spatial density in terms of earthquakes is high in the south of Cyprus, significant clustering of small or large earthquakes in this region could not be tested. A seismic gap was identified in the north of the Cyprus arc and the whole island where $M \geq 6$ earthquakes did not occur. The seismic energy accumulation in this region and the presence of the transform fault create a potential for occurrence of massive earthquakes. Finally, in this study, it has been revealed that the spatial mean and median centers of earthquakes in Cyprus have been displaced in east-west directions along the Cyprus Arc..*

Keywords: Anselin Local Moran's I, earthquake, Getis-Ord-Gi*, Spatial Distribution, Cluster Analysis, Cyprus Arc

<https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.1008258>

*Sorumlu Yazar/ Corresponding Author: caganalevkayali@sdu.edu.tr

GİRİŞ

Büyüklikleri, başlangıç hızları, sıklıkları, süreleri ve coğrafi konumları değişiklikler gösteren depremlerin insan yaşamı ve ekonomi üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır (Al-Dogom, Schuckma ve Al Ruzouq, 2018). Depremler mekân ve zaman ölçeğinde farklı büyüklüklerde meydana geldiğinden afet oluşturma potansiyeli taşımaktadır (Jalali ve Ramazi, 2018). Kaotik ve stokastik davranışlar gösterdiği bilinen depremlerin fiziksel özelliklerinin anlaşılması için zaman, mekân ve büyüklük açısından incelenmeleri gerekmektedir (Feld vd., 2017). Depremlerin zamansal ve mekânsal dağılımının ortaya konulması tektonik yapının veya fay hatlarının ürettikleri depremlerin sismik paternleri ile ilişkilendirilmesiyle mümkündür (Tağıl ve Alevkayalı, 2014). Depremlerin sismik paternlerini ve mekânsal

ilişkilerinin ortaya konulmasında ise jeostatistiksel yöntemler kullanılmaktadır (Jalali ve Ramazi, 2017). Jeostatistik sadece yerbilimlerine yönelik dağılım problemlerinin çözümünde değil depremselliğin paterninin de ortaya konulmasında kullanılmaktadır (Jalali ve Ramazi, 2018). Bu kapsamda mikro depremlerin faylarla olan ilişkisi (Mouslopoulou ve Hristopulos, 2011), aletsel ve tarihi depremlerin mekânsal istatistiksel ilişkileri (Jalali ve Ramazi, 2018), depremlerin zamansal ve mekânsal dağılımı (Menteşe ve Tağıl, 2016; Vasykivska ve Huerta, 2017), küresel sismik kümelenmenin zamansal ve mekânsal dağılımı (Yang vd., 2019), depremselliğin mekânsal regresyon ile modellenmesi (Larson vd., 2021) şeklinde depremselliğin incelenmesi gibi birçok çalışmada jeostatistiksel yöntemlere başvurulmuştur.

Bu çalışmada depremlerin zamansal ve mekânsal özellikleri Doğu Akdeniz'de yer alan Kıbrıs Adası ve çevresinde incelenmektedir. Bu bölgede Afrika levhasının Doğu Akdeniz'deki kuzey yönlü hareketiyle Anadolu levhasına doğru gerçekleştirdiği dalım, Helen ve Kıbrıs Yayları boyunca dalma batma zonu olarak bilinen bir sistem meydana getirmektedir (Palamakumbura vd., 2016). Afrika levhasından daha hızlı bir şekilde kuzeye doğru hareket eden Arap Levhası'nın Afrika Levhası ile sınırında Ölü Deniz transform fay sistemi bulunmaktadır. Doğu Akdeniz'deki tektonizma Anadolu mikro levhası, Arabistan ve Avrasya levhaları arasındaki Bitlis-Zagros Bindirme Kuşağı'nı oluşturan yakınlaşma hareketinden dolayı Helen Yayına doğru güneybatı yönünde hareket etmektedir (Özbakır vd., 2017). Helen-Kıbrıs Yayı (HKY), Girit Adası'nın ve Rodos Adasının güneyinden itibaren Türkiye'nin güneyine Fethiye Körfezi'ne doğru uzanan ters fay bileşenli sol yönlü doğrultu atımlı fay olarak tanımlanmaktadır (Demirtaş, 2018). Bu sistemin etkisiyle Kıbrıs'ın güneyinde ve doğusundan elde edilen derin sismik yansıma verileri kuzeybatı-güneydoğu yönlü kırılmaların olduğunu göstermektedir (Vidal vd., 2000). Bunun nedeni Kıbrıs Yayının güneyinde bulunan Eratosthenes Deniz Dağının (Guyot) Geç Pliyosen- Erken Pleistosen'den bu yana Afrika Levhası'nın kuzeye doğru hareketini yavaşlatmasıdır (Klimke ve Ehrhardt, 2014). Eratosthenes Deniz Dağının bu etkisi Anadolu levhasına doğru dalan 45 km derinlikte kuzeye eğimli bir yitim levhasının bulunmasından kaynaklanmaktadır (Feld vd., 2017). İlgili literatür incelendiğinde Kıbrıs Adası ve çevresinin sismik aktivitesi ile fay hatları arasında ilişki kurulan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmanın amacı Kıbrıs Adası ve çevresinde depremlerin zamansal ve mekânsal dağılımını jeostatistiksel yöntemlerle ortaya koyarak sismik aktivitenin fay hatları ile olan ilişkisinin incelenmesidir.

Dahası bu çalışmada Kıbrıs Adası'nın tektonizması dikkate afet oluşturma potansiyeli olan $M > 4$ büyüklüğündeki depremlerin mekânsal özellikleri ve tektonik yapı arasındaki ilişkinin ortaya konulması hedeflenmektedir.

MATERYAL VE METOT

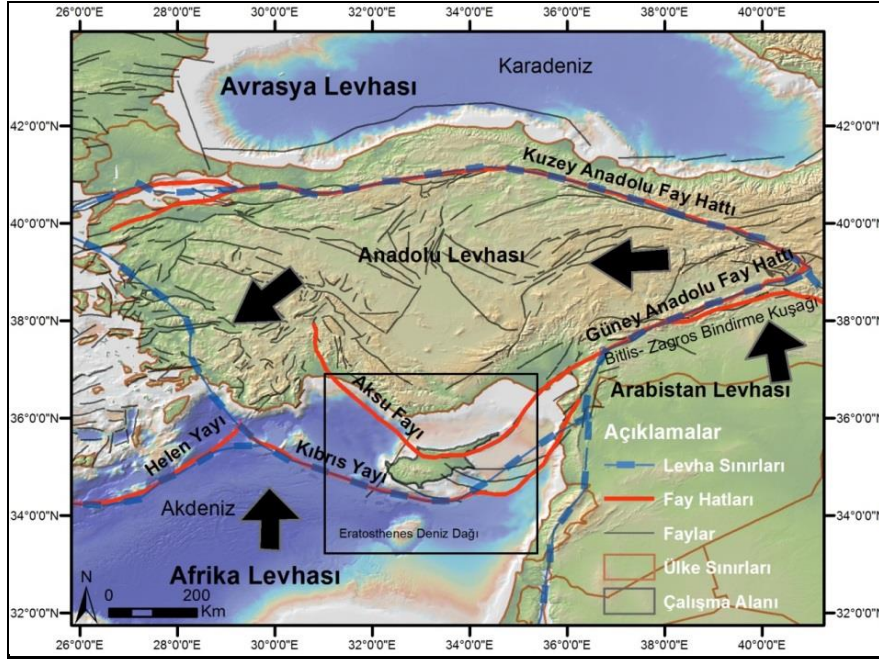
Çalışma alanı

Depremlerin zamansal ve mekânsal özelliklerinin konu alındığı aynı zamanda çalışma alanı olan Kıbrıs Adası; Doğu Akdeniz'de 32° - 35° Doğu meridyenleri, 34° - 36° Kuzey paralelleri arasında Türkiye'nin güneyinde ve Suriye ile Lübnan'ın batısında yer almaktadır (Şekil 1). Kıbrıs Adası'nın mevcut tektonizması Avrasya, Afrika, Arap levhaları, mikro levhalar ve bloklarla ilişkilidir. Çalışma alanı olan Kıbrıs Adası civarında çarpışma, bindirme, transform fay hatları gibi birçok küçük tektonik yapının olduğu bilinmektedir (Malaliçi vd., 2019). Bu bölgede genellikle bindirme ve doğrultu atımlı mekanizmalar yer almaktadır (Robertson vd., 1995). Kıbrıs Adası, Alp-Himalaya orojenez sisteminin üzerinde aktif fay zonlarından "Kıbrıs Yayı" olarak bilinen dalma batma zonunun etkisi altındadır (Şekil 1).

Kıbrıs Adası ve çevresindeki tektonizmanın neden olduğu sismik aktivitelerle ilgili son elli yıllık dönemde farklı araştırmacılar tarafından tarihsel ve aletsel dönemi kapsayan birçok çalışma yapılmıştır (Ambraseys, 1965; Ambraseys, 1992; Ambraseys ve Adams, 1993; Cagnan ve Tanırcan, 2010; Galanopoulos ve Delibasis, 1965; Palamakumbura ve diğer., 2016; Papadimitriou ve Karakostas, 2006; Papazachos, 1973; Papazachos ve Papaioannou, 1999). Bu çalışmalar dikkate alındığında Kıbrıs Adası ve çevresinde; aktif ve karmaşık neotektonik gelişim süreçleri doğrultusunda tarihsel ve aletsel ölçümlerin yapıldığı yıkıcı depremler kayıt edilmiştir (Harrison vd., 2004). Son elli yılda Kıbrıs Adası yakınlarında 1996 yılında $M_w=6.8$ büyüklüğünde ve bir gün ardından artçı

olarak $M_w=5.8$ büyüklüğünde depremlerin meydana gelmesi Afrika ve Anadolu mikro levhasının yaklaşma mekanizmasından kaynaklanmaktadır (Polidou vd., 2004). Ayrıca, Kıbrıs Adası kapsamında yapılan sismik tehlike çalışmalarında Kıbrıs Adası'nın güneyinde

sismik tehlikenin daha fazla olduğu ileri sürülmektedir (Cagnan ve Tanircan, 2010). Kıbrıs Adası ve çevresindeki tektonik ve sismik araştırmalar dikkate alındığında bölgenin aktif deprem kuşağında yer aldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 1. Kıbrıs Adası ve çevresinin genel tektonizması (Fay hatları kaynak: Feld vd., 2017; Batimetri kaynak: Ryan vd., 2009).

Figure 1. General tectonism of Cyprus island and its surroundings (Fault lines source: Feld et al., 2017; Bathymetry source: Ryan et al., 2009).

Veri

Kıbrıs Adası ve çevresinde gerçekleşen depremlerin episantırlarının konumu ve büyüklüğü ile ilgili katalog verileri, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi tarafından internet üzerinden sunulan <http://www.koeri.boun.edu.tr/> adresinden elde edilmiştir (B.Ü.KRDAE-BDTİM, 2021). Bu çalışmada kullanılan veriler aletsel ölçümlere dayanan Kıbrıs çevresindeki 200 km alanda gerçekleşmiş depremlerin koordinatları (enlem, boylam), gerçekleşme dönemleri (yıl, ay), magnitüdüleri ve derinliklerinden oluşmaktadır.

Kıbrıs Adası ve çevresindeki tektonizma ve depremler arasındaki ilişkinin ortaya konulabilmesi bakımından çalışma alanında meydana gelen depremlerin tamamından değil etki düzeyleri fazla olan $M>4$ büyüklüğündeki depremlerden yararlanılmıştır.

Yöntem

Depremlerin mekânsal dağılımlarındaki zamansal değişiminin izlenmesi için son 120 yılda kaydedilen depremler 30 yıllık periyotlarda (1900-1930, 1931-1960, 1961-1990, 1991-2021) incelenmiştir. Depremlerin zamansal değişimlerinin ortaya konulması için

30 yıllık her bir periyod için standart sapma elipsi, ortalama merkezi ve medyan merkezi (ortanca merkezi) şeklindeki jeostatistiksel değerleri hesaplanmıştır (Lee ve Wong, 2001). Depremlerin yoğunluğu episantırların konumlarına bağlı olarak Kernel yoğunluk fonksiyonu ile haritalanmıştır. Kernel fonksiyonu; deprem tehlike analizi (Woo, 1996), sismik yoğunluğun görüntülenmesi (Stock ve Smith, 2002) ve depremlerin mekânsal dağılımının incelenmesi konusunda sıklıkla tercih edilmektedir. Depremlere ilişkin verilerin kümelenme özelliklerinin ortaya konulmasında Anselin Yerel Moran'ın I ve Getis-Ord-Gi Kümelenme Analizlerinden yararlanılmıştır. Bu uygulamalar ile depremlerin mekânsal oto-korelasyonu deprem episantırların hem yakınlığı, hem de öznelik özellikleriyle yani magnitüd-mesafe arasındaki jeostatistiksel ilişkilerle test edilmiştir.

Standart sapma elipsi: Standart sapma elipsi bir bölgede meydana gelen olay ve olguların dağılım derecesi, yayılma derecesi ve yönelimini göstermekte olup, dağılım ve yayılım açısından standart mesafeden farklı olarak, dağılımın doğrultu ve yönelimini ortaya koymaktadır (Kaya vd., 2016). Bir dizi noktanın veya bölgenin trendini ölçmek amacıyla yaygın olarak kullanılan standart sapma elipsinde mesafe x ve y yönlerinde ayrı ayrı hesaplanmaktadır (Bakak, 2016). Bu iki mesafe, özellik dağılımını kapsayan bir elipsin eksenlerini tanımlar. Yöntem, elips eksenlerini tanımlamak için ortalama merkezden diğer noktaların standart sapmasının hesaplanması şeklinde çalışmaktadır.

Mekânsal ortalama: Mekânsal ortalama tüm deprem noktalarının X ve Y koordinat değerlerinin ortalamasını hesaplayarak harita üzerinde yeni bir nokta veri oluşturulması esasına dayanmaktadır (Hepdeniz ve Soyaslan, 2015). Böylece yıllık periyodlardaki

mekânsal ortalama değışikliği izlenebilmektedir.

Ortanca merkezi: Bir alanda dağınık halde bulunan tüm verilerin x ve y koordinatlarının ilgili özelliğe göre ortanca değerin konumudur (Akyürek ve Arslan, 2018). Ortanca merkezi mekânda bulunan farklı özneliklere sahip verilerin konuma dayalı değışiklikleri izlemek veya dağılımlarını karşılaştırmak için kullanılmaktadır (Karabulut, 2014).

Kernel yoğunluk indeksi: Kernel Yoğunluk İndeksi, konumu belli olan noktasal verinin belirlenen yarıçapa sahip bir daireye düşen nokta yoğunluğunun daire merkezinden uzaklaştıkça artan ya da azalan değışimini ifade etmektedir (Akyürek ve Arslan, 2018). Ayrıca bu yöntem verilerin mekânsal dağılımının hesaplanmasında değışkene ait özellikleri Formül 1'de görüldüğü şekilde parametrik olmayan bir mekânsal enterpolasyon ile gerçekleştirmektedir (Al-Ahmadi vd., 2014).

$$f(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (1)$$

Anselin Yerel Moran'ın I analizi: Anselin (1995), yerel bir kümelenmenin hesaplanmasında Moran'ın I indeksinden yararlanarak mekânsal ilişkileri açıklamak için yeni bir indeks önermektedir (Formül 2). Anselin Yerel Moran'ın I analizi, noktaların mekânsal dağılımını değışkenleri dikkate alarak kümelenmeleri tanımlayan yerel ölçekte kullanılabilen bir analizdir (Akyürek ve Arslan, 2018). Sonuç değeri düşük olduğunda, değışkene ait farklı ve birbirine benzemeyen değeri bir araya geldiğini; tam tersi durumda ise değışkene ait benzer değeri bir araya geldiğini göstermektedir (Yakar, 2011).

$$I_i = ((x_i - \bar{X}) / s_i^2) \sum_{j=1}^n x_j - \bar{X}, j \neq i \quad (2)$$

Geris-Ord-Gi* analizi: Mekânsal yoğunlaşmanın, sıcak ve soğuk noktalar şeklinde mesafe ve komşuluk değerlerinden istatistiksel olarak üretilen Z skoru değerlerine bağlı kalarak hesaplamasıdır (Lee ve Wong, 2001). Geris-Ord-Gi, Formül 3'te elde edilen sonuçlar doğrultusunda Z skorun yüksek olması gözlenen değer, beklenen değerden daha büyük olup yüksek değerlerin kümелendiğini; Z skor değerinin düşük olması halinde gözlenen değer beklenen değerden daha küçük olduğunu ve düşük değerlerin kümелendiğini ortaya koymaktadır (Al-Ahmadi vd., 2014, Akyürek ve Arslan, 2018). Diğer yandan Z skor değeri sıfıra yakınsa hesaplanan değişkenin istatistiksel komşuluk ilişkileri yüksek veya düşük olmadığı sonucuna ulaşılmaktadır (Huseynova, 2019).

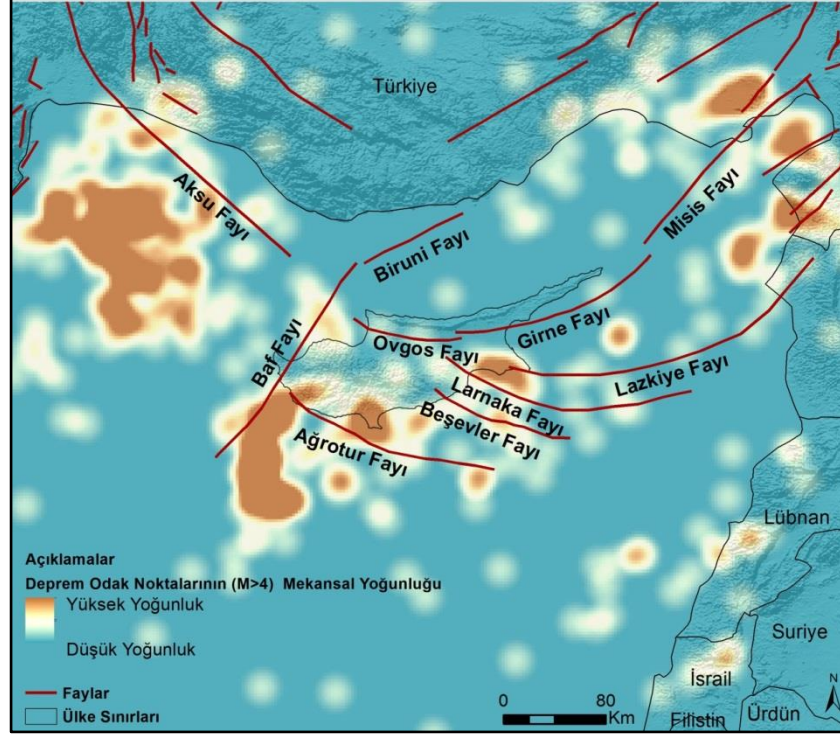
$$G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} x_i x_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j}, \forall j \neq i \quad (3)$$

BULGULAR

Kıbrıs'ın güneydoğusundan güneybatısına kadar uzanan Kıbrıs Dalma-Batma Zonu diğer adıyla Kıbrıs Yayı, Kıbrıs Adasını etkileyen aktif deprem kaynağı olarak görülmektedir (Şekil 1). Kıbrıs Dalma Batma Zonu, Afrika Levhası'nın Kıbrıs Adası altına dalmasıyla oluşan Benioff-Wadati yitim kuşağı olarak bilinen yaklaşık 50-80 kilometre derinliklere ulaşmaktadır (Dindar, 2021). Bu mekanizmanın ürettiği depremlerin mekânsal paterni incelendiğinde depremlerin çalışma alanında yoğunlaştığı bazı bölgeler tespit edilmiştir (Şekil 2). Kıbrıs Yayı'nın batısındaki Aksu Fayı'nın güneyindeki bölge, depremlerin yoğunlaştığı bölgelerden biridir. Baf Fayı'nın güneyinde Ağrotur Fayı üzerinde

ve Lazkiye-Larnaka Fayı arasındaki bölgelerde yine yoğunluğun arttığı belirlenmiştir. Genel olarak Kıbrıs Yayı boyunca Kıbrıs'ın batısından başlayarak Kıbrıs Adası'nın güneyine doğru ilerleyen ve doğuya doğru devam eden çizgisel bir yoğunlaşma fark edilmektedir (Şekil 2). Diğer yandan Kıbrıs Adası üzerinde karada son yüzyılda büyük bir deprem kaydedilmemiş olup adanın Kuzey açıklarında sismik boşluk olarak nitelendirilebilecek bir bölge bulunmaktadır (Şekil 2).

Bu sismik boşluğun Kıbrıs Adası'nın kuzeybatısındaki, Antalya baseni Girne çizgiselliğinden başlayıp Koruçam-Anamur hattında (Kormakitis-Anamur) son bulduğu görülmektedir (Şekil 2). Batıda yoğunlaşan deprem paterninin Aksu üzerinden başlayarak K-G uzanımlı Baf fay zonu ile sonlanan ve transform fay zonu olduğu bilinmektedir (Glover ve Robertson, 1998). Kıbrıs Adası üzerindeki deprem kaynakları ise başkent Lefkoşa'yı doğu-batı yönelimli kesen Ovgos Fayı temsil etmektedir (Şekil 2). Ovgos Fayı ile Trodos zonları (Baf Fayı) arasında M<4 büyüklüğündeki depremler yoğunlaşmaktadır (Şekil 2). Ovgos (Dar Dere) Fay hattı Kıbrıs'ın kuzeyini, Girne (Kyrenia) sıradağları ile güneyinde Trodos Masifi olacak şekilde iki tektonik bölgeye ayırmaktadır. Ovgos Fayının, doğrultu atımlı olarak Geç Miyosen'den Pleistosen'e kadar sürdüğü ifade edilmektedir (McCay ve Robertson, 2012). Ovgos ve Misis-Girne Fay hattı Aksu Fayı'nın güneydoğusunda yer almakla birlikte bu fay hattının deniz içerisinden İskenderun'a kadar uzanmaktadır (Dindar, 2021). Depremlerin oluşturduğu mekânsal örüntüler Ovgos Fayının devamı niteliğinde olan Aksu fayı ve doğuda İskenderun Körfezi üzerinde yoğunlaşmaktadır (Şekil 2). Buradaki fayın ters bileşenli verev atımlı fay olarak nitelendirilmesi Ovgos, Girne ve Trodos kesişme sınırının deprem



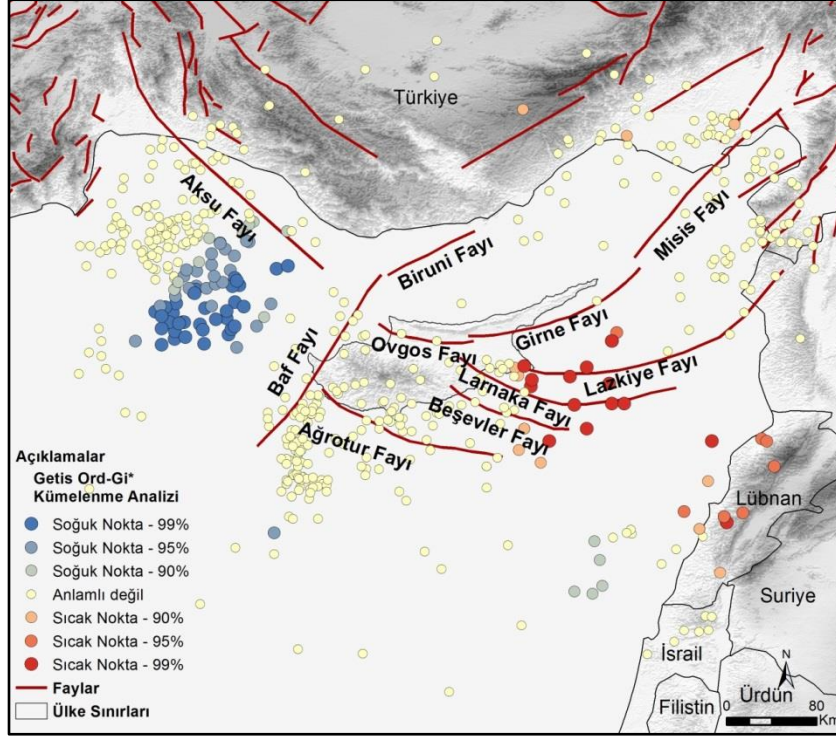
Şekil 2. Kıbrıs Adası ve çevresinde gerçekleşen M>4 depremlerin mekânsal yoğunluğu

Figure 2. Spatial density of M>4 earthquakes around Cyprus Island and its surroundings

örüntülerinin ilişkili olduğunu göstermektedir (Hakyemez, 2014).

Kıbrıs Adası'nda gerçekleşen aletsel dönem depremlerinin Kıbrıs Yayı boyunca kuzeybatıdan güneye doğru daha sonra güneyden kuzeydoğu yönü arasında yoğunlaşmaktadır (Şekil 2). Bu alanlarda depremlerin jeostatistiksel olarak anlamlı kümelenmeler gösterip göstermediği Getis-Ord-Gi analizi ile %99, %95 ve %90 güven aralığında test edilmiştir. Çalışma alanında

nispeten büyük depremlerin Lazkiye ve Larnaka Fayları üzerinde %99 güven aralığında jeostatistiksel olarak anlamlı bir biçimde kümelenildiği görülmektedir (Şekil 3). Sıcak noktaların yoğunlaştığı Kıbrıs Adası'nın güneydoğu açıklarında istatistiksel olarak anlamlı mekânsal kümelenmeler belirlenmiştir (Şekil 3). Ayrıca soğuk noktalar şeklinde ifade edilen küçük depremler çalışma alanının kuzeybatısında anlamlı kümelenmeler oluşturmaktadır (Şekil 3).

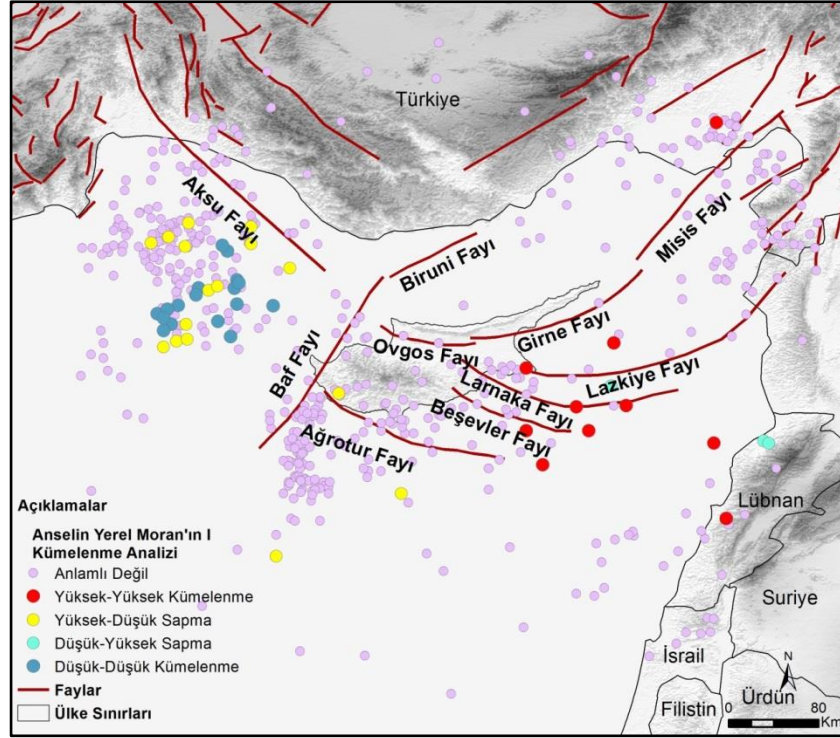


Şekil 3. Kıbrıs Adası ve çevresinde aletsel dönem $M>4$ ve üzeri büyüklükte meydana gelen depremlerin kümelene (Getis-Ord-Gi*) özellikleri

Figure 3. The clustering characteristics (Getis-Ord-Gi) of earthquakes with magnitude $M>4$ and above measured in instrumental period around the Cyprus Island and its surroundings*

Kıbrıs Yayı üzerinde Anselin Yerel Moran'ın I analizi ile yapılan mekânsal kümelene analizlerinde yüksek-yüksek depremlerin kümelendiği, yüksek-düşük sapmalar, düşük-yüksek sapmalar ve düşük-düşük mekânsal kümelene depremlerin büyüklüklerine göre kümelene özelliklerinin açıklanması kapsamında hesaplanmıştır (Şekil 4). Kıbrıs Adası açıklarında Antalya Körfezi yakınlarında ve Kıbrıs Adası üzerinde ve Adanın güneybatısında gerçekleşen depremlerin

jeostatistiksel olarak anlamlı kümelene gerçekleşmediği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar dikkate alındığında çalışma alanının kuzeybatısında Kıbrıs Adası açıklarında düşük-düşük depremlerin kümelendiği ancak bazı alanlarda jeostatistiksel olarak yüksek-düşük sapmaların olduğu dikkat çekmektedir (Şekil 4). Kıbrıs Adası'nın güneydoğusunda yüksek-yüksek depremlerin kümelendiği bölgenin Lazkiye ve Larnaka fayları çevresine karşılık geldiği görülmektedir (Şekil 4).



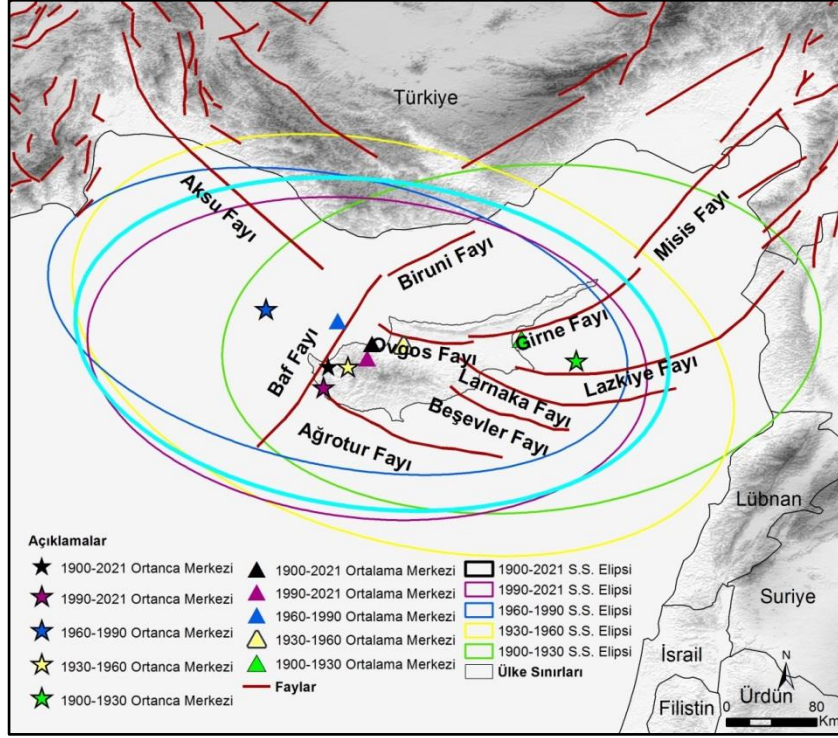
Şekil 4. Kıbrıs Adası ve çevresinde aletsel dönem $M>4$ ve üzeri büyüklükte meydana gelen depremlerin kümelenme (Anselin Yerel Moran'ın I Analizi) özellikleri

Figure 4. The clustering characteristics (Anselin Local Moran's I) of earthquakes with magnitude $M>4$ and above measured in instrumental period around the Cyprus Island and its surroundings

Bu çalışmada ele edilen diğer bir bulgu deprem episantırlarının zamansal ve mekânsal olarak yer değiştirmesidir. Kıbrıs Adası ve çevresinde 1900-2021 yılları arasında gerçekleşen $M>4$ ve daha büyük depremlerin zamansal ve mekânsal değişimleri 30 yıllık periyodlara incelenmiştir (Şekil 5). Böylece depremlerin yoğun olarak meydana geldiği bölgenin farklı zamanlarda mekânsal olarak yer değiştirdiği görülmektedir (Şekil 5). Çalışmanın bu kısmında jeostatistiksel yöntemlerden standart sapma elipsi, ortalama ve ortanca merkezlerinden yararlanılmıştır. Standart sapma elipsi genişledikçe depremlerin mekânsal olarak daha çok yayıldığı yani birbirinden daha uzak konumlarda ortaya çıktığı, standart sapma elipsi daraldıkça

birbirlerine daha yakın konumlarda olduğu tespit edilmektedir. Kıbrıs Adası ve çevresindeki depremlerin büyüklüklerine göre dağılımının ortaya çıkarılmasında ise ortalama ve ortanca merkez analizlerinden yararlanılmaktadır. Bu analizlere göre çalışma sahasında gerçekleşen depremlerin 1930-1960 yılları arasında en geniş alana dağıldığı buna karşılık 1990-2021 yılları arasında ise birbirine daha yakın depremlerin gerçekleştiği tespit edilmektedir (Şekil 5). Deprem episantırlarının ortalama ve ortanca merkezlerinin, 1900-2021 yılları arasında ve 1930-1960, 1990-2021 dönemlerinde Kıbrıs Adası üzerinde olduğu belirlenmiştir. Depremlerin büyüklüklerine göre ortalama ve ortanca merkezlerinin 1900-1930 döneminde

diğer yıllara göre Kıbrıs'ın doğusunda olduğu, ortanca merkezinin Kıbrıs Adası'nın batısına 1960-1990 yılları arasında ise ortalama ve kaydığı görülmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. 30 yıllık periyotlarda Kıbrıs Adası ve çevresindeki depremlerin büyüklüklerine göre standart sapma elipsi, ortalama ve ortanca merkezleri

Figure 5. Standard deviation ellipse, mean and median centers according to the magnitude of earthquakes in Cyprus Island and its surroundings in 30-year periods

TARTIŞMA ve SONUÇ

Kıbrıs Adası ve çevresinde yirminci yüzyılın başlarından günümüze kadar (1900-2021 yılları arasında) 6'sı $M=6,0$ ve üzeri büyüklükte diğerleri $M>4$ büyüklükte olan sayıları 500'den fazla deprem gerçekleşmiştir (B.Ü. KRDAE-BDTİM, 2021). Bu çalışmada Kıbrıs Adası ve çevresindeki farklı büyüklükteki depremlerin mekânsal yoğunluk ve kümelenme özelliklerinin önemli fay hatları ile ilişkisi incelenmiştir. Kıbrıs ve çevresindeki depremlerin mekânsal özellikleri ile fay hatları dikkate alındığında Antalya'nın güneyinde

Aksu Fayı çevresinde, güneybatıda Bar Fayı çevresinde ve güneydoğuda Larnaka Fayı ile Lazkiye Fayları arasında depremlerin yoğunlaştığı üç bölge tespit edilmiştir. Ancak bu bölgeler birbirinden farklı mekânsal kümelenme özellikleri göstermektedir. Kıbrıs Adası'nın batısında depremlerin jeostatistiksel açıdan soğuk bir bölge yani büyüklük olarak daha küçük deprem ürettiği ortaya konulmuştur. Bunun nedeni Afrika levhasının 10 mm/yıl hızında Anadolu mikro levhasının altına doğru yaptığı dalımdan kaynaklanan, Benioff- Wadati zonu olarak da isimlendirilen

dalma batma zonunda 0-50 km arasında gerçekleşen sığ kabuk depremleridir (Dipova ve Cangir 2017).

Kıbrıs Yayı'nın batısının yanı sıra güneyinde de depremler yoğunlaşmaktadır. Baf ve Ağrotur Fayları'nın bulunduğu bu bölgede depremlerin mekânsal açıdan yoğunluk gösterdiği ancak buradaki depremlerin jeoistatistiksel olarak anlamlı kümelenmeler göstermediği belirlenmiştir. Bunun nedeni Kıbrıs Yayı'nın batı ve güney kesiminde meydana gelen depremlerin sığ-orta derinlikte meydana gelmesidir (Asim vd., 2020).

Kıbrıs Yayı'nın doğu kesiminin kuzeyinde yer alan Larnaka ile Lazkiye fayları çevresinde ve İskenderun Körfezi'ne uzanan Güney Anadolu Fay Zonu'nun Akdeniz'e ulaştığı bölgede de büyük depremler jeoistatistiksel olarak anlamlı kümelenmeler göstermektedir. Bu çalışmada elde edilen bulgulardan elde edilen en önemli sonuçlardan biri Kıbrıs Adası'nın doğusundaki fayların büyük depremler üretme potansiyelinin daha fazla olmasıdır. Kıbrıs Adası'nın doğusunda ve güneydoğusunda hem bindirme hem de doğrultu atımlı fayların bulunması bu bölgenin büyük deprem üretme potansiyeli olduğunu desteklemektedir (Wdowinski vd., 2006).

Çalışma alanında depremlerin ortalama ve ortanca merkezlerindeki dönemsel değişimler büyük depremlerin farklı konumlarda meydana geldiğini ifade eden göstergelerden biridir. 1918 yılında $M=6,3$ büyüklüğünde Kıbrıs Adası'nın güneydoğusunda gerçekleşen deprem bu durumun önemli kanıt niteliğindedir (Papadimitriou ve Karakostas, 2006). Kıbrıs Adası ve çevresinde ölçülen $M=6,8$ büyüklüğündeki deprem ise Kıbrıs Adası'nın güneybatısında Baf Fayı civarında kaydedilmiştir (Wdowinski vd., 2006). Büyük depremler anlamlı kümelenmeler göstermemelerine rağmen depremlerin episanırları dikkate alındığında Kıbrıs Adası'nın güneydoğu ve güneybatısındaki

faylar ve depremlerin büyük deprem üretme potansiyeli olduğu anlaşılmaktadır. Ancak Kıbrıs Adası ve çevresindeki bazı depremlerin ana faydan uzakta genel sistemden bağımsız meydana gelme durumları söz konusudur (Dindar, 2021). Bu durumda Kıbrıs Yayı boyunca depremlerin oluşturduğu yoğunluklar ve mekânsal kümelenmeler dikkate alındığında Kıbrıs Yayı ve çevresindeki fayların uzağında da büyük depremlerin ortaya çıkması muhtemeldir.

Kıbrıs Adası çevresindeki depremlerin zamansal ve mekânsal özellikleri incelendiğinde doğu-batı doğrultulu bir çizgisellik meydana getirdikleri görülmektedir. Elmas (2018) tarafından yapılan çalışmada Kıbrıs Adası ve çevresinde rejyonel gravite verilerinin faylarla uyumlu olduğunu ancak Kıbrıs Adası'nın kuzeyinde, kuzeydoğu-güneybatı yönlü bir çizgiselliğin varlığına dikkat çekilmektedir. Burada ifade edilen yapısal çizgisellik bu çalışmada belirlenen Girne yerleşim yeri açıklarındaki (kuzeyindeki) sismik boşluğa karşılık gelmektedir. Kıbrıs Adası'nın kuzeyindeki sismik boşluğun olduğu yerde Biruni Fayı olarak adlandırılan Kuzey Anadolu Fay Zonu ile Kıbrıs Yayı arasında uzanan sol yanal makaslama zonunun yer aldığı bilinmektedir (Seyitoğlu vd., 2022). Kıbrıs Adası'nın kuzeyindeki bindirmelerin kuzeybatıda depremler meydana getirmesi bu fayın aktif olduğunu kanıtlamaktadır. Bu çalışmada belirlenen sismik boşluğun bahsi geçen sistemin devamında yer alması Biruni Fayı'nın deprem üretme potansiyeli olduğuna işaret etmektedir. Son olarak Kıbrıs Adası ve çevresindeki depremlerden elde edilen sismik örüntülerin deprem etki, tehlike ve risk çalışmalarına altlık oluşturması beklenmektedir.

KATKI BELİRTME

Katkıları ve yapıcı eleştirilerinden dolayı hakemlere çok teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Al-Dogom, D., Schuckma, K., Al-Ruzouq, R. 2018. Geostatistical Seismic Analysis and Hazard Assessment; United Arab Emirates. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing Spatial Information Science*, 42 (3), 29-36. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W4-29-2018>, 2018
- Ambraseys, N.N. 1965. The Seismic History of Cyprus. *Union Internationale Du Secours*, Geneva, 3, 25–48.
- Ambraseys, N.N. 1992. Reappraisal of The Seismic Activity in Cyprus: 1894-1991. *Bollettino Di Geofisica Teorica Ed Applicata*, 34 (133), 41-80.
- Ambraseys, N. N., Adams, R.D. 1993. Seismicity of The Cyprus Region. *Terra Nova*, 5 (1), 85–94.
- Akyürek, Ö., Arslan, O. 2018. Kocaeli İli Ve Çevresinde (1900-2016) Yılları Arasında Gerçekleşen Tarihsel Depremlerin Konumsal İstatistik Analizi. *Geomatik*, 3(1), 48-62. <https://doi.org/10.29128/geomatik.333104>
- Al-Ahmadi, K., Al-Amri, A., See, L. 2014. A Spatial Statistical Analysis of the Occurrence of Earthquakes Along the Red Sea Floor Spreading: Clusters of Seismicity. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(7), 2893-2904. <https://doi.org/10.1007/s12517-013-0974-6>
- Asim, K.M., Moustafa, S.S., Niaz, I.A., Elawadi, E.A., Iqbal, T., Martínez-Álvarez, F. 2020. Seismicity analysis and machine learning models for short-term low magnitude seismic activity predictions in Cyprus. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 130, 105932. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105932>
- Bakak, Ö. 2016. 2005 Sığacık Körfezi (İzmir) Depremlerinin Mekânsal Değerlendirilmesi. *Yerbilimleri*, 37(1), 51-63. <https://doi.org/10.17824/yrb.17485>
- B.Ü. (Boğaziçi Üniversitesi) KRDAE (Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü) BDTİM (Boğaziçi Üniversitesi Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi), 2021, <http://www.koeri.boun.edu.tr/>, Son erişim tarihi: 7 Temmuz 2021.
- Cagnan, Z., Tanircan, G.B. 2010. Seismic Hazard Assessment for Cyprus. *Journal of Seismology*, 14 (2), 225-246. DOI 10.1007/s10950-009-9163-1
- Demirtaş, R. 2018. Helenik-Kıbrıs Yay Sistemi Diri Fayları, Paleosismolojik Çalışmalar ve Gelecek Deprem Potansiyelleri, <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.35140.68487>, Son erişim tarihi: 10 Temmuz 2021.
- Dindar, H. 2021. Jeofizik araştırmalar kapsamında deprem zemin yapı davranışının modellenmesi için MASW, Sismik Kırılma, Tek Nokta ve Dizilim Mikrotremör yöntemlerinin entegrasyonunun sağlanması: K.K.T.C. örneği. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir (Yayımlanmamış).
- Dipova, N., Cangir, B. 2017. Probabilistic seismic hazard assessment for the two layer fault system of Antalya (SW Turkey) *Area Journal of Seismology*, 21, 1067-1077 DOI 10.1007/s10950-017-9652-6
- Feld, C., Mechie, J., Hübscher, C., Hall, J., Nicolaidis, S., Gurbuz, C., Weber, M. 2017. Crustal Structure of the Eratosthenes Seamount, Cyprus and S. Turkey From an Amphibian Wide-Angle Seismic Profile. *Tectonophysics*, 700, 32-59. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2017.02.003>
- Galanopoulos, A., Delibasis, N. 1965. The Seismic Activity in the Cyprus Area.

- Praktika Tes Akademias Athenon, 40, 387–405.
- Glover, C., Robertson, A.H.F. 1998. Neotectonic Intersection of the Aegean and Cyprus Tectonic Arcs: Extensional and Strike-Slip Faulting in the Isparta Angle, SW Turkey, *Tectonophysics*, 298, 103–132. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(98\)00180-2](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(98)00180-2)
- Güneş, P., Aksu, A.E., Hall J. 2018. Structural framework and deformation history of the western Cyprus Arc *Tectonophysics*, 744, 438-457. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.07.023>
- Elmas, A. 2018. Kıbrıs Adası Yapısal Süreksizliklerinin EGM08 Gravite Verileri Kullanılarak Belirlenmesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 42, 17-32. <https://doi.org/10.24232/jmd.434135>
- Hakyemez, H.Y. 2014. Kuzey Kıbrıs'ın Temel Jeolojik Özellikleri. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, 26 (2), 7-44.
- Harrison, R. W., Newell, W. L., Batıhanlı, H., Panayides, I., McGeehin, J. P., Mahan, S. A., ve diğer., 2004. Tectonic Framework and Late Cenozoic Tectonic History of the Northern Part of Cyprus: Implications for Earthquake Hazards and Regional Tectonics. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23 (2), 191–210. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(03\)00095-6](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(03)00095-6)
- Hepdeniz, K., Soyaslan, İ. İ., 2015. Burdur İlinde Meydana Gelen Depremlerin Odak Noktalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile 3 Boyutlu Modellenmesi ve Jeostatistiksel Analizi. *Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu, Burdur, Türkiye, Bildiriler Kitabı*, 104-112.
- Huseynova, T. 2019. Azerbaycan'da Meydana Gelen Depremlerin Mekânsal İstatistiksel Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü eğitim Enstitüsü, Yerbilimleri Anabilim Dalı, Eskişehir (Yayımlanmamış).
- Jalali, M., Ramazi, H. 2018. Application of Geostatistical Simulation to Compile Seismotectonic Provinces Based on Earthquake Databases (Case Study: Iran). *Journal of Seismology*, 22(4), 957-983. <https://doi.org/10.1007/s10950-018-9745-x>
- Jalali, M., Ramazi, H. 2017. Statistical and Geostatistical Approaches to Study Spatiotemporal Uncertainties in Earthquake Catalog Databases. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(15), 1-14. DOI 10.1007/s12517-017-3107-9
- Karabulut, M. 2014. Mekânsal İstatistik Teknikleri. *Coğrafya Araştırma Yöntemleri* (Ed. Yılmaz Arı, İlhan Kaya), Balıkesir: Coğrafyacılar Derneği Yayınları, Balıkesir.
- Klimke, J., Ehrhardt, A. 2014. Impact and Implications of the Afro-Eurasian Collision South of Cyprus From Reflection Seismic Data. *Tectonophysics*, 626, 105-119. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2014.04.002>
- Kaya, Ö., Toroğlu, E., Adıgüzel, F. 2016. 2011 Genel Seçimlerinde Partilerin Aldığı Oy Oranlarının İlçeler Ölçeğinde Mekânsal Analizi. *Coğrafya Dergisi*, 0 (31), 1-13.
- Larson, J., Kramar, D., Leonard, K. 2021. A Geostatistical Analysis of Seismicity in Oklahoma Using Regression Trees and Neural Networks. *Physical Geography*, 42(4), 334-350. DOI: 10.1080/02723646.2020.1762982
- Lee, J., Wong, D.W. 2001. *Statistical Analysis with ArcView GIS*. John Wiley & Sons.
- Malaliçi, B.C., Pamukçu, O., Çırmık, A., Dindar, H. 2019. Deformation Analysis of Cyprus and Its Surroundings (East Mediterranean) with Using SSPX Software. *Dokuz Eylül*

- Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 21(61), 235-246. DOI:10.21205/deufmd.2019216123
- Menteşe, S., Tağıl, Ş. 2016. Türkiye'de Depremlerin Mekânsal Dağılımı: Jeo-İstatistiksel & Mekânsal İstatistiksel Bir Yaklaşım. Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 9(45), 408-414.
- Mouslopoulou, V., Hristopulos, D.T. 2011. Patterns of Tectonic Fault Interactions Captured Through Geostatistical Analysis of Microearthquakes. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 116 (B7). DOI:10.1029/2010JB007804.
- McCay, G.A., Robertson, A.H.F. 2012. Upper Miocene–Pleistocene Deformation of the Girne (Kyrenia) Range and Dar Dere (Ovgos) Lineaments, Northern Cyprus: Role in Collision and Tectonic Escape in the Easternmost Mediterranean Region. Geological Society, London, Special Publications, 372(1), 421–445. <https://doi.org/10.1144/SP372.6>
- Özbakır, A.D., Govers, R. and Wortel, R. 2017. Active Faults in the Anatolian-Aegean Plate Boundary Region with Nubia. Turkish Journal of Earth Sciences, 26 (1), 30-56. DOI:10.3906/yer-1603-4
- Palamakumbura, R.N., Robertson, A. H. F., Kinnaird, T. C., Sanderson, D.C.W., 2016. Sedimentary Development and Correlation of Late Quaternary Terraces in the Kyrenia Range, Northern Cyprus, Using a Combination of Sedimentology and Optical Luminescence Data. International Journal of Earth Sciences, 105 (1), 439–462. DOI 10.1007/s00531-015-1173-3
- Papadimitriou, E.E. Karakostas, V.G. 2006. Earthquake Generation in Cyprus Revealed by the Evolving Stress Field. Tectonophysics, 423 (1–4), 61–72. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2006.03.014>
- Papazachos, B.C. 1973. Distribution of Seismic Foci in the Mediterranean and Surrounding Area and Its Tectonic Implication. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 33 (4), 421–430. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1973.tb02377.x>
- Papazachos, B.C., Papaioannou, C.A. 1999. Lithospheric Boundaries and Plate Motions in the Cyprus Area. Tectonophysics, 308 (1–2), 193–204.
- Pilidou, S., Priestley, K., Jackson, J., Maggi, A. 2004. The 1996 Cyprus Earthquake: A Large, Deep Event in the Cyprean Arc. Geophysical Journal International, 158(1), 85-97. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02248.x>
- Robertson, A.H.F., Grasso, M. 1995. Overview of the Late Tertiary–Recent Tectonic and Palaeo-Environmental Development of the Mediterranean Region. Terra Nova, 7(2), 114-127. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.1995.tb00680.x>
- Ryan, W.B.F., Carbotte, S.M., Coplan, J.O., O'Hara, S., Melkonian, A., Arko, R., Weissel, R.A., Ferrini, V., Goodwillie, A., Nitsche, F., Bonczkowski, J., Zemsky, R. 2009. Global Multiresolution Topography Synthesis. Geochemistry, Geophysics and Geosystems, 10, Q03014. <https://doi.org/10.1029/2008GC002332>.
- Seyitoğlu, G., Tunçel, E., Kaypak, B., Esat, K., Gökkaya, E. 2022. The Anatolian Diagonal: A Broad Left-Lateral Shear Zone Between the North Anatolian Fault Zone and the Aegean / Cyprus Arcs. Geological Bulletin of Turkey. doi:10.25288/tjb.1015537.
- Stock, C., Smith, E. G. 2002. Adaptive Kernel Estimation and Continuous Probability Representation of Historical Earthquake Catalogs. Bulletin of the Seismological

- Society of America, 92(3), 904-912. <https://doi.org/10.1785/0120000233>
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F. 1985. Strike-Slip Faulting and Related Basin Formation in Zones of Tectonic Escape: Turkey as a Case Study. <https://doi.org/10.2110/pec.85.37.0211>
- Tağıl, Ş., Alevkayalı, Ç. 2014. Ege Bölgesinde Depremlerin Mekânsal Dağılımı: Jeostatistiksel Yaklaşım. Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 6(28), 369-379.
- Wdowinski, S., Ben-Avraham, Z., Arvidsson, R., Ekström, G. 2006. Seismotectonics of the Cyprian Arc. Geophysical Journal International, 164 (1), 176-181. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.02737.x>
- Woo, G. 1996. Kernel Estimation Methods for Seismic Hazard Area Source Modeling, Bulletin of the Seismological Society of America, S. 86(2), s. 353-362.
- Vasyukivska, V.S., Huerta, N. J. 2017. Spatiotemporal Distribution of Oklahoma Earthquakes: Exploring Relationships Using a Nearest-Neighbor Approach. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 122(7), 5395-5416. DOI: 10.1002/2016JB013918
- Vidal, N., Klaeschen, D., Kopf, A., Docherty, C., Von Huene, R., Krasheninnikov, V. A. 2000. Seismic Images at the Convergence Zone From South of Cyprus To the Syrian Coast, Eastern Mediterranean. Tectonophysics, 329(1-4), 157-170. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(00\)00194-3](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(00)00194-3)
- Yakar, M. 2011. Nüfus Dağılımının Mekansal Analizi: Afyonkarahisar İli Örneği. Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 4(19), 389-406.
- Yang, J., Cheng, C., Song, C., Shen, S., Zhang, T., Ning, L. 2019. Spatial-Temporal Distribution Characteristics of Global Seismic Clusters and Associated Spatial Factors. Chinese Geographical Science, 29(4),614-625. <https://doi.org/10.1007/s11769-019-1059-6>