



Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi

The Journal of International Social Research

Cilt: 6 Sayı: 28 Volume: 6 Issue: 28

Güz 2013 Fall 2013

www.sosyalarastirmalar.com Issn: 1307-9581

EGE BÖLGESİNDE DEPREMLERİN MEKÂNSAL DAĞILIMI: JEOİSTATİSTİKSEL YAKLAŞIM
EARTHQUAKE SPATIAL DISTRIBUTION IN THE EGEAN REGION, TURKEY: THE GEOSTATISTICAL APPROACH

Şermin TAĞIL*

Çağan ALEV KAYALI**

Öz

Bu çalışmanın amacı, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanarak Ege Bölgesinde meydana gelen depremlerin mekânsal desenini ortaya koymak ve kümelenme bölgelerini belirlemektir. Analizlerde 1900-2012 dönemine ait büyüklükleri $m \geq 4$ olan sismik katalog kullanılmıştır. Bu çalışmada episantrların merkezi eğilimi hesaplanırken ortalama merkezi, medyan merkezi, standart mesafe ve standart sapma elipsi uygulanmıştır. Diğer yandan, quadrat ve en yakın komşu analizleri episantr dağılımındaki mekânsal deseni ortaya koymak için kullanılmıştır. Son olarak ise depremlerin mekânsal oto-korelasyonu Moran's I ve Geary's C indeksleri ile analiz edilmiştir. Depremlerin yoğunluğu her bir depremin magnitudü ağırlıklı olarak kullanılarak Kernel fonksiyonu ile haritalanmıştır. Sonuçlar adı geçen tekniklerin depremlerin mekânsal paterninin ortaya konmasında ve kümelenmelerin tespitinde faydalı yöntemler olduğunu göstermektedir. Mekânsal istatistikler deprem episantrlarının çalışma alanında kümelenmiş olduğunu göstermektedir. Kernel yoğunluk analizine göre 1900-2012 yılları arasında şiddeti yüksek olan depremler sismik aktivitenin fazla olduğu Kütahya -Uşak zonunda yoğunlaşmıştır. 1900-1939 arasında ise İzmir ve Manisa çevresi magnitudü yüksek olan depremlerin yoğunlaşma bölgesidir. 1940-1977 yılları arasında ise Kütahya-Uşak zonu önemli yoğunlaşma alanı olarak dikkati çekmektedir. Fakat 1978-2012 yılları arasında belirli bir bölgede yoğunlaşma olmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar gelecekte olacak depremlerin olası zararlarına yönelik planlamalarda faydalıdır.

Anahtar Kelimeler: CBS, Deprem, Ege Bölgesi, Kümelenme, Mekânsal İstatistik, Nokta Pattern.

Abstract

The aim of this study is to detect clusters and explore spatial patterns in the occurrence of earthquakes in the Egean Region in Turkey using a Geographical Information System (GIS). We used the 1900-2012 seismicity catalog with event magnitudes $m \geq 4$ in analysis. In this study, mean center, spatial mean, standart distance and standart deviation ellipse were used to calculate the measure of central tendency. On the other hand, Quadrant and Nearest Neighbor Analysis were used to reveal the pattern of spatial distribution of epicenter. Finally, the spatial auto-correlation of earthquakes were analyzed by using Moran's I and Geary's C. The intensity of earthquakes were mapped by Kernel function mainly using the magnitude of each earthquake. Results showed that these techniques were capable of detecting clusters in the spatial patterns of the occurrence of the earthquakes. Spatial statistics indicated that earthquake epicenters were clustered in the study area. According to Kernel density between the years of 1900-2012 high magnitude earthquakes were concentrated in Kütahya-Uşak zone where seismic activities were most active. Between 1900-1939, surroundings of İzmir and Manisa were the concentration areas of high magnitude earthquakes; and between the years of 1940-1977, an area of major concentration was the Kütahya-Uşak zone. However, the concentration was not determined that a particular region between 1978-2012. The results will be obtained from this study is useful in planning for the potential damage of earthquakes in the future.

Keywords: GIS, Earthquake, Egean Region, Cluster, Spatial Statistics, Point Pattern.

* Balıkesir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü; email: stagil@balikesir.edu.tr

** Balıkesir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü

1. Giriş

Depremler toplumsal ilgiye sahip doğal olaylardır. Bu ilgi üzerinde depremlerin oluşumunda etkili olan fiziksel mekanizmaların henüz tam olarak çözülmemiş olması da etkilidir. Depremlerin dağılışı tam bir çizgisellik göstermemekle birlikte aktif tektonik ile ilgili olduğu bilinmektedir (Atabey, 2000). Anadolu'da da Neotektonik olaylar sonucunda gelişen levhalar depremsellik açısından aktif zonlardır (Şengör, 1980). Neotektonik hareketler değerlendirildiği zaman Batı Anadolu'da sismik hareketliliğin ve parçalanmaların olduğu birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Şengör, 1980; Ardos, 1996; Atabey, 2000). Sismik açıdan hareketli olan Ege Bölgesi'ndeki kırık sisteminin etkisiyle oluşan sismik aktivitelerin özelliklerini ve faylarla olan ilişkilerini açıklamak amacıyla yapılmış birçok çalışma vardır (Bonilla vd. 1984; Ambraseys, 1988; Pegler ve Das, 1996; Nicol vd. 2009; Mouslopoulou ve Hristopoulos, 2011). Diğer bir açıdan da Ege Bölgesi'nde yıkım gücü fazla olan, magnitudü $m \geq 4$ olan depremlerle ilgili araştırmalar da dikkati çekmiş ve çalışılmıştır (Stein vd., 1997; Danese vd., 2009).

Deprem katalogları ile ilgili yapılan çalışmalar büyük depremlerin belli dönemlerde kümelenme gerçekleştirdiğini göstermektedir (Kagan ve Jackson, 1991). Bu depremlerin birçoğu mekânsal olarak belirli fay zonları ile ilişkilidir (King vd. 1994; Stein vd. 1997). Diğer bir deyişle paleo-sismik çalışmalar büyük depremlerin zamansal ve mekânsal kümelenme gösterdiklerini ortaya koymaktadır (Marco vd. 1996; Stein vd. 1997). Örneğin, 1999'daki İzmit depreminde olduğu gibi Magnitudü 5.5 in üzerinde olan büyük depremler özellikle tektonik statik stresin tetiklediği alanlarda kümelenmektedir (Stein vd. 1997).

Jeoistatistiksel yöntemler sayesinde birçok unsurun mekânsal düzeni istatistiksel yöntemler ile analiz edilebilmektedir. Jeo-istatistik yöntemler son yıllarda Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojilerindeki gelişme nedeniyle yaygınlaşmıştır. Mekânsal istatistiklerden nokta paterninin gösterildiği analizler ekoloji, epidemiyoloji, orman, seismoloji gibi birçok unsurun nokta dağılımının gösterilmesinde kullanılmaktadır (Vere-Jones ve Li, 1997; Mateu vd, 1998 Stoyan, ve Penttinen, 2000). Deprem episantrları X-Y koordinat çiftinden oluştuğundan nokta dağılımın gösterilmesine uygun verilerdir. Deprem episantrlarının dağılımının ortaya konması gözlenmiş ya da gözlenmemiş coğrafi karakteristiklerinin ortaya konması açısından önemlidir. Jeo-istatistik yöntemler faylar ve depremler arasındaki ilişkinin incelenmesinde de kullanılmaktadır (Greco ve Mateciuc, 2007; Danese vd. 2009; Mouslopoulou ve Hristopoulos, 2011). Özellikle deprem episantrlarının zamansal ve mekânsal kümelemesinin ortaya konması verinin anlamlandırılmasında çok başarılı bir yaklaşımdır. Öyle ki, büyük depremlerin küresel olarak bir kümelenme gösterdiği gerçeği çok net bir biçimde ortaya konulabilir (Bufe ve Perkins 2005, Brodsky 2009, Ammon vd. 2010). 1950-65 döneminde dünya çapında magnitudü 8.6'dan büyük olan depremler dramatik şekilde artmış; 20. yy'ın ikinci yarısı daha sakin geçmiş, ancak günümüzde yeniden bir artış eğilimi göstermiştir (Bufe ve Perkins, 2005).

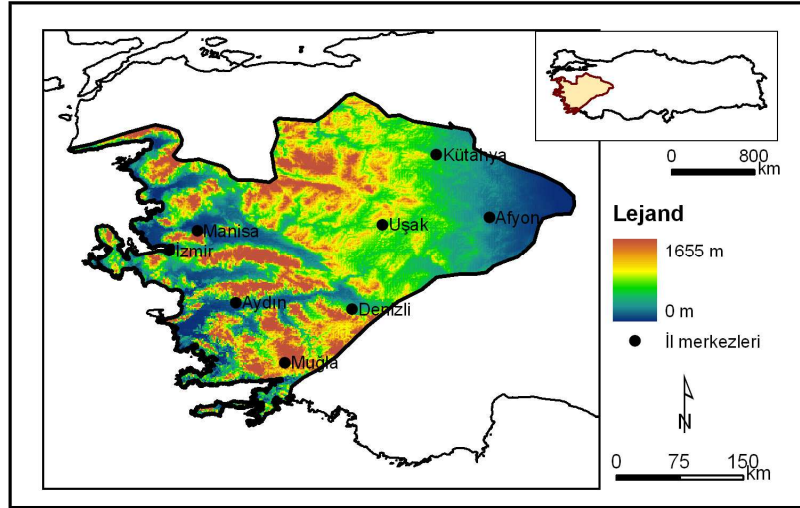
Literatür değerlendirildiğinde Türkiye'de deprem ve fay hatlarına yönelik çalışmalarda jeo-istatistiksel yöntemlerin yaygın bir biçimde kullanılmadığı söylenilebilir. Bu çalışmanın amacı, Ege bölgesinde 1900-2012 yılları arasında magnitudü (M) 4'ten büyük olan depremlerin episantr dağılımlarının mekânsal ve zamansal desenini ortaya koymak; faylarla olan ilişkileri irdelemektir. Bu çalışmada Ege Bölgesinde meydana gelmiş olan depremlerin (1900-2012) mekânsal paterni ile kümelenmenin ortaya konmasında CBS tabanlı mekânsal patern analiz teknikleri kullanılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1 Çalışma Alanı

Çalışma alanı kuzeyde Kaz Dağlarının güney eteklerinden, güneyde Marmaris'in doğusundan Emir ve Sultan dağlarına kadar uzanan Ege Bölgesini (Genç, 2003) kapsamaktadır. Bölgede doğu-batı uzantılı Bakırçay, Gediz, Küçük Menderes ve Büyük Menderes çöküntü ovaları en belirgin jeomorfolojik birimlerdir. Bu depresyonlar Menderes masifinin bir

bölümünün Neojen ve Kuaternerin başlarında çökmesi, bazı kısımlarının da yükselmesiyle oluşmuştur. Kısacası, bu bölge neo-tektoniğin etkisiyle oluşmuştur (Ardos, 1995). Kırıklı yapının yükselen kısımlar ise kuzeyden güneye doğru Kaz Dağı, Marda Dağı, Yunt Dağı, Boz Dağlar ve Aydın Dağları olarak sıralanmaktadır (Genç 2003). Yüksek dağlık kesim ile havzalar arasındaki sınır ise genel olarak fayların bulunduğu bölgelerdir. Yaklaşık olarak Pliyosen devresinde özellikle bölgenin kuzeyindeki bu hatlar üzerinde (Bakırçay havzası) volkanik olayların gerçekleştiği tespit edilmiştir (Ardos, 1995). Bölgede bu normal faylanmaların sebep olduğu depremlere örnekler Büyük Menderes (1899), Torbalı (1928), Balat (1955), Alaşehir (1969), Simav (1969), Gediz (1970) ve Dinar (1995) depremleridir. 19 Mayıs 2011 Simav depremi de Simav Grabeni ile ilişkilendirilebilir.



Şekil 1: Çalışma alanı ve konumu.

2.2 Malzeme ve Yöntem

2.2.1. Sismik Veri Katalog ve Veri İşleme:

Bu çalışmada 4 M ve üzerinde olan deprem verileri kullanılmıştır. Veriler Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesinin web sayfasındaki deprem katalogundan elde edilmiştir. Veri kataloğu, her bir depreme ait enlem, boylam, yıl, ay, magnitüd ve derinlik verilerinden oluşmaktadır. Verilerin CBS kapsamında analiz edilebilmesi için öncelikle enlem ve boylam koordinat verileri kullanılarak nokta veriye dönüştürülmüştür. Ege Bölgesi sınırları içinde kalan nokta veriler belirlenerek dışarıda kalanlar ayrılmış; bu işlem ile çalışmada kullanılacak olan veri seti elde edilmiştir.

Çalışmada episantrı haritalanan depremler 1978-2012, 1940-1977 ve 1900-1939 olmak üzere gruplandırılarak ayrı dönemler olarak analize hazırlanmıştır. Birinci yıl aralığının seçilmesinde Kandilli Rasathanesinin daha güvenilir sonuçlar elde edebilmesini sağlayan radyo bağlantılı istasyonların kullanıldığı 1978 yılı belirleyici olmuştur (Tağlı, 2004: 77). Tarihsel süreçteki değişimin analiz edilip karşılaştırmaların yapılabilmesi için 1978 yılından 1900 yılına kadar olan dönem ikiye bölünmüştür. Sismik veri ile ilişkilendirilecek olan fay verisi ise Maden Teknik Arama (MTA) dairesinden sağlanmıştır.

2.2.2. Mekânsal istatistikler:

Bu çalışmada jeo-istatistik tekniklerden nokta patern analizi kullanılmıştır. Nokta patern analizleri ile nokta dağılımının rastgele olduğunu gösteren sıfır hipotezinin kabul edildiği mekânsal rastgelelik test edilmektedir. Dağılımın değerlendirilmesi için kullanılan bu yöntemler, depremlerin tekrarlama yılının belirlenmesi gibi amaçlar için kullanılmakta; ancak deprem risk analizi veya tahmini için kullanılamamaktadır (Kasap ve Gürgen, 2003:165).

Noktasal veri modellerinin temel özelliği merkezi eğilimdir. Merkezi eğilim, mekândaki ortalama değerleri konumsal olarak ortaya koyması bakımından önemlidir (Lee ve Wong, 2001: 33-35). Bu çalışmada merkezi eğilim analizlerinden ortalama merkez, medyan merkez, standart mesafe ve standart sapma elips yöntemleri uygulanmıştır.

Ortalama merkez (mekânsal ortalama), deprem episantrların kümelenmesindeki en uygun ortalama konumu (lokasyon) vermesi bakımından önemlidir (Lee ve Wong, 2001: 43). Medyan merkez ise her bir episantrdan olan en kısa mesafenin merkezidir.

Mekânsal istatistiksel analizde, standart sapma standart mesafe olarak ifade edilir. Standart mesafe episantrların ortalama merkezden olan sapmasını göstermektedir (Lee ve Wong, 2001: 45). Standart mesafe haritanın mesafe birimi ile ifade edilmektedir. Standard mesafe, episantrların dağılımının ortalama merkezi etrafında bir daire çizilerek göstermektedir.

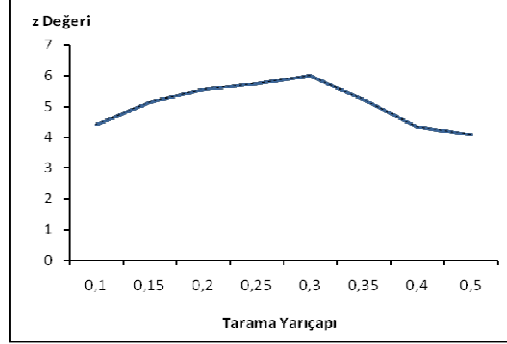
Standart sapma elipsi, episantrların yönlü dağılıma sahip olması durumunda standart mesafe yerine kullanılmaktadır (Lee ve Wong 2001: 47). Faylar depremlerin dağılımında yönlü dağılıma neden olduğundan standart mesafe merkezi eğilimi ortaya koymakta yetersiz kalabilmektedir. Episantrların standart sapma elipsinde ana eksenini boyunca sapma değeri, episantrların maksimum yayılma yönünü; minimum aksisi ise episantrların minimum yayılım yönünü ortaya koymaktadır.

Merkezi eğilim analizleri dışında, Quadrant ve En Yakın Komşu (Nearest neighbour analysis) analizleri episantr dağılımındaki mekânsal deseni ortaya koymak için kullanılmıştır (Lee ve Wong, 2001: 62-78). Quadrant analizi ile alana düşen episantr dikkate alınarak yoğunluk test edilir. En yakın komşu analizi ile ise tam tersi olarak noktaya düşen alan analiz edilir. Çalışma alanında episantrların dağılımındaki değişimin nasıl olduğu quadrant analizi ile ortaya konmaya çalışılmıştır. Böylelikle teorik olarak ifade edilen rastgele episantr patterni hesaplanmıştır. En yakın komşuluk analizinde ise birbirine yakın episantrların birbirine olan ortalama mesafeleri test edilmiştir. Eğer gözlenen ortalama mesafe quadrant analizi ile belirlenen rastgele paternden büyük ise episantrlar dağınık; küçük ise kümelenme göstermektedir şeklinde değerlendirilmiştir. Birimler arasında gözlenen mesafenin beklenen mesafeye olan oranına ise komşuluk istatistiği (R) denmektedir. R istatistiği 0 ile 1 arasında bir değer almaktadır. Bu değer 0'a yaklaştıkça kümelenmenin varlığı; 1'e yaklaştıkça dağınık bir patternin olduğu anlamına gelmektedir (Lee ve Wong, 2001: 75).

Son olarak ise depremlerin mekânsal oto-korelasyonu Moran's I ve Geary's C indexleri ile analiz edilmiştir. Lee ve Wong (2001: 78-90), indekslerle ilgili ayrıntılı bilgi elde edilebilir. Bu analizler ile deprem episantrların hem yakınlığı, hem de öz nitelik özelliklerinin benzerliği dikkate alınmıştır. Episantrların yakınlığında noktalar arasında mesafe dikkate alınarak kümelenme gösterip göstermediği incelenmiştir. Geary's C indeks sonuçlarının +1 olması rastgele bir dağılım olduğunu; 1 den büyük değer dağınık bir dağılım olduğunu; 1 den küçük olması ise benzer magnitüde sahip olan deprem noktalarında bir kümelenme olduğunu göstermektedir (Geary, 1954: 115-145; Lee ve Wong, 2001: 80). Moran's I için ise indeks değerinin beklenen değerden küçük olması episantrların tekdüze ya da dağınık paterne sahip olduğunu; büyük ise kümelenme olduğunu göstermektedir (Lee ve Wong, 2001: 81). Moran I için istatistiksel anlamlılık *z*-skoru hesaplanarak belirlenmiştir.

Depremlerin yoğunluğu her bir depremin magnitüdü ağırlıklı olarak kullanılarak Kernel fonksiyonu ile haritalanmıştır. Kernel tekniği, deprem çalışmalarında çok yaygın olarak kullanılmaktadır (Bailey ve Gatrell 1995, Woo, 1996). Bu teknik, özellikle tehlike analizi (Woo, 1996), sismik olay sıklığının belirlenmesi (Stock ve Smith, 2002) ve bir depremin etki alanının tespitinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kernel Yoğunluğu (Çekirdek Kestirici); tanımlı bir yarıçapa sahip çember içerisine düşen noktaların yoğunluğu ile bu kaynaktan itibaren uzaklaştıkça değişen noktasal yoğunluğu ifade eder (Gündoğdu, 2010: 23). Kernel yoğunluk analizi çalışma alanındaki tüm episantr noktaları için uygulanmıştır. Kernel yoğunluğu için tarama yarıçapı Moran I istatistiğinin eşik değeri ile belirlenmiştir. Bunun için maksimum *z* - skora sahip mesafeyi bulmak için farklı mesafe eşiklerinde birden fazla kez Moran I *z*-skoru

hesaplanmıştır. Episantrlar 0,30 mesafe eşliğinde 0.03 anlamlılık düzeyinde en yüksek z-skor değerine ulaşmıştır (Şekil 2). Bu nedenle Kernel yoğunluğu 0,30 desimal (ondalık) derece tarama yarıçapı ve 0.05 hücre büyüklüğü kullanılmıştır. Kernel yoğunluğu depremlerin lokasyonları ve büyüklükleri değerleri için uygulanmıştır. Episantrların yoğunluğu, depremlerin alandaki konsantrasyonunu yansıtmaktadır.



Şekil 2: Mekânsal otokorelasyonun farklı mesafe eşik değerleri

Faylardan olan uzaklık depremden kaynaklanan zararın en önemli göstergelerinden biridir. Bu nedenler her bir deprem noktasının yakınındaki aktif faydan olan uzaklıkları hesaplanmıştır. Böylelikle bölgede gerçekleşen depremlerin faylara olana yakınlıkları da belirlenmiştir.

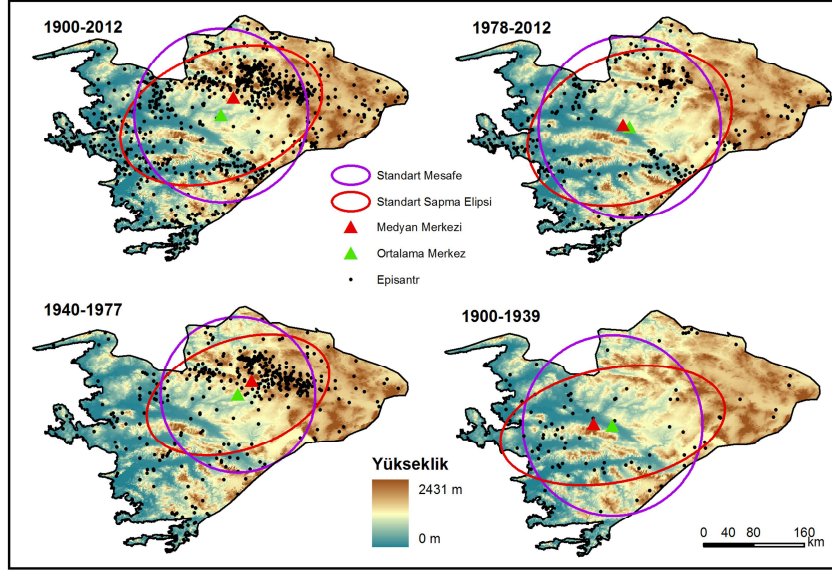
3. Bulgular

Ege Bölgesinde 1900-2012 yılları arasında 4M ve üzerinde 961 deprem gerçekleşmiştir. Maksimum Söke (Aydın)19 Temmuz 1955 yılında 6.8 M ile gerçekleşmiştir. Bunu 22 Eylül 1939 da 6.6 M ile gerçekleşen Dikili (İzmir) depremi izlemektedir. Merkezi eğilim istatistikleri Ege Bölgesinde gerçekleşen bu depremlerin mekânsal dağılışını ortaya koyması açısından önemlidir. Merkezi eğilimin belirlenmede en önemli kriterlerden biri ortalama merkezdir (Şekil 3). 1900 ile 2012 yılları arasındaki depremlerin ortalama merkezi $28^{\circ}76'11''-38^{\circ} 46' 08''$ koordinatları olarak tespit edilmiştir. Ortalama merkezin bölgenin yaklaşık olarak merkezi kısmına denk gelmesi, episantrlarının bölge genelinde dengeli dağıldığını göstermektedir. Dönemler açısından merkezi ortalamayı değerlendirmek gerekirse 1900-1939 yılları arasında merkezi ortalamanın bölgenin batısına Gediz havzasında yer aldığı görülmektedir ($28^{\circ}46'71'' 38^{\circ}43'15''$). 1900-1939 ile 1940-1977 dönemli karşılaştırıldığında güneybatı kuzeydoğu yönünde değişim eğiliminin olduğu dikkate çekmektedir ($29^{\circ}00'13'' 38^{\circ}81'29''$). Bu dönemde ortalama merkezinin bölgenin kuzeydoğusuna Kütahya Grabeni yönünde kaydığı tespit edilmiştir. 1978-2012 yılları arasında ise merkezi ortalama tekrar Gediz grabenine doğru yer değiştirmiştir ($28^{\circ}55'18''-38^{\circ}49'05''$).

Episantrların medyan merkezinin ortalama merkezin neresinde yer aldığı dağılımın gidiş yönü hakkında bilgi vermesi bakımından önemlidir (Şekil 3). İncelenen deprem episantrlarının tamamı dikkate alındığında medyan merkezi ortalama merkezinin kuzey doğusunda $28^{\circ}94'-38^{\circ}89'$ koordinatlarda Manisa'nın Selendi ilçesi yakınlarındadır. Medyan merkezi 1900-1939 da ise $28^{\circ}19'-38^{\circ}44'$ koordinatlarda Manisa'nın Salihli ilçesi; 1940-1977 döneminde de medyan merkezi ortalama merkezin kuzeydoğun yaklaşık olarak $29^{\circ}20'-39^{\circ}01'$ koordinatlarda Kütahya Şaphane; 1978-2012 döneminde ise medyan merkezi $28^{\circ}46'-38^{\circ}51'$ Manisa'nın Alaşehir ilçesi yakınlarındadır.

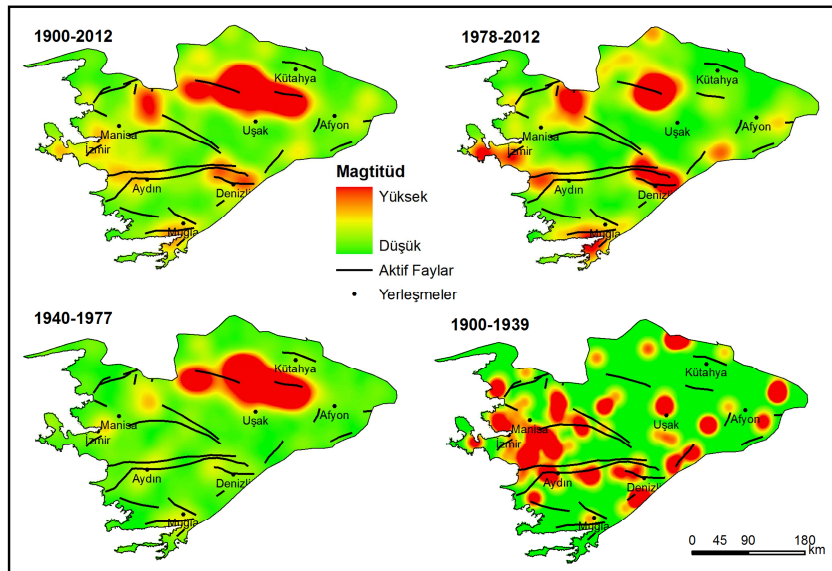
Depremlerin meydana geldiği yer daha sonraki sarsıntıların zamanlamasında ve yerinin belirlenmesinde önemlidir. Bu olay stres transferi teorisi ile belirlenmektedir (King vd., 1994). Standart mesafe ile deprem episantrlarının ortalama merkezi etrafında bir daire oluşturulmuştur. Daire, episantr dağılımının merkezi ortalamadan ne kadar uzağa yayıldığını göstermektedir. Dairenin alanı küçüldüğünde episantrların merkezi ortalamanın çevresinde; büyüdüğünde ise bölge geneline dağıldığı söylenebilir. Farklı dönemlere ait standart sapma

elipsleri incelendiğinde depremlerin oluşum yönünün kabaca güneybatı-kuzeydoğu olduğu görülmektedir (Şekil 3). Elipsler birbiri ile karşılaştırıldığında merkezden sapma oranı 1940-1977 döneminde azalmıştır. Bu da depremlerin belirli bir bölgede kümelenme gösterdiğini kanıtlamaktadır.



Şekil 3: Depremlerin Ege Bölgesindeki mekansal dağılımı.

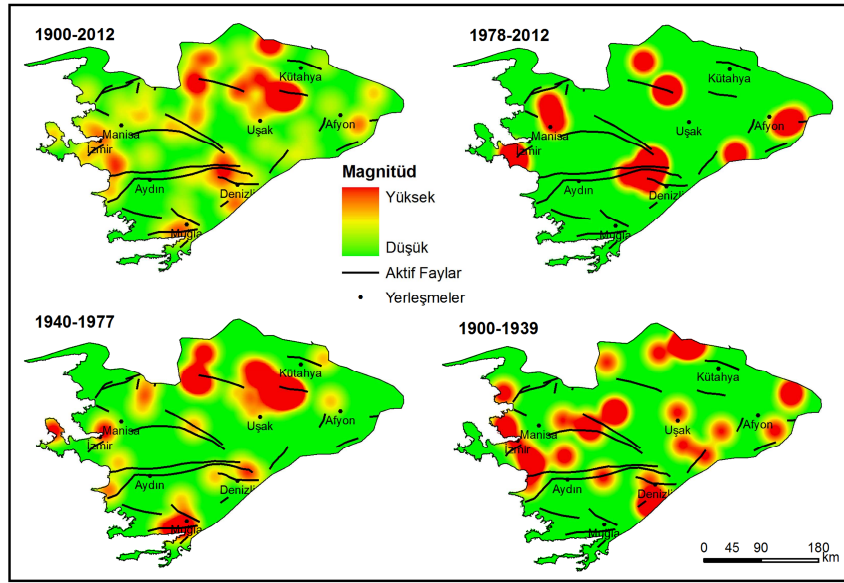
1900-2012 döneminde 4 M nin üstündeki depremlerin yoğunlaştığı alanlar deremlerin magnitüdüleri dikkate alınarak Kernel yoğunluk haritalarında gösterilmeye çalışılmıştır (Şekil 4). Kernel yoğunluk haritası incelendiğinde, 1900-2012 yılları arasında magnitüdü yüksek olan depremlerin Kütahya-Uşak arasında yoğunlaştığı görülmektedir. 1900-1939 yılları arasında Manisa-İzmir çevresi, 1940-77 yılları arasında Kütahya- Uşak arasında magnitüdü yüksek olan depremlerin yoğunlaştığı bölgeler olarak dikkati çekmektedir. 1978-2012 döneminde ise belirli bir bölgede yoğunlaşmanın olmadığı, genellikle bütün bölgeye yayıldığı belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 4: Magnitüdü 4 ve üzerini olan depremlerin Kernel yoğunlukları

Kernel yoğunluğu 5 M nin üzerindeki depremlere uygulandığında Şekil 4'ekine benzer bir görünüm elde edilmektedir. Kütahya-Uşak çevresi ile Manisa-İzmir çevresi yine burada olduğu gibi dikkat çekici yoğunluğa sahiptir (Şekil 5).

Her ne kadar nokta dağılımları rastgele olsa da bazı dışsal nedenlerle dağılımda etkili olan faktörler olabilmektedir (Lee ve Wong, 2001: 58-59). Ege Bölgesi'nde meydana gelen depremlerin dağılımının da patern oluşturup oluşturmadığı Quadrat analizi, En Yakın Komşu Analizi, Moran ve Geary indeksleri ile araştırılmıştır. Öncelikle, mevcut dağılımın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme bilinen bir yöntem olan *Kolmogorov-Smirnov* (K-S) testi ile yapılmıştır (Lee ve Wong, 2001: 64). K-S değeri kritik K-S değerinden küçük olması, iki frekans dağılımı arasındaki farkın 0,05 anlamlılık düzeyinde anlamlı olduğunu göstermektedir (Tablo 1). Bu da deprem noktalarının dağınıklık göstermediği anlamındadır.



Şekil 5: Magnitüdü 5 ve üzeri olan depremlerin Kernel yoğunlukları

Tablo 1: Quadrat ve En Yakın Komşuluk Analiz Sonuçları

| Dönemler | 1900-1939 | 1940-1977 | 1978-2012 | 1900-2012 |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Quadrat Analizi | | | | |
| Quadrat Başına Ortalama | 1 | 4,87 | 3,7 | 10,01 |
| Varyans Değeri | 2,69 | 27,22 | 13,38 | 31,33 |
| Varyans/Ortalama Oranı | 12,14 | 70,16 | 35,81 | 46,67 |
| K-S | 0,22 | 0,81 | 0,76 | 0,91 |
| Kritik değer K-S | 0,13 | 0,06 | 0,07 | 0,04 |
| En Yakın Komşu Analizi | | | | |
| Gözlenen Mesafe (mil) | 7,65 | 3,76 | 3,84 | 2,73 |
| Beklenen Mesafe (mil) | 12,61 | 7,13 | 8,18 | 5,24 |
| Komşuluk İstatistiği | 0,61 | 0,53 | 0,49 | 0,52 |
| Z- değeri | 7,67 | 19,58 | 20,06 | 28,38 |

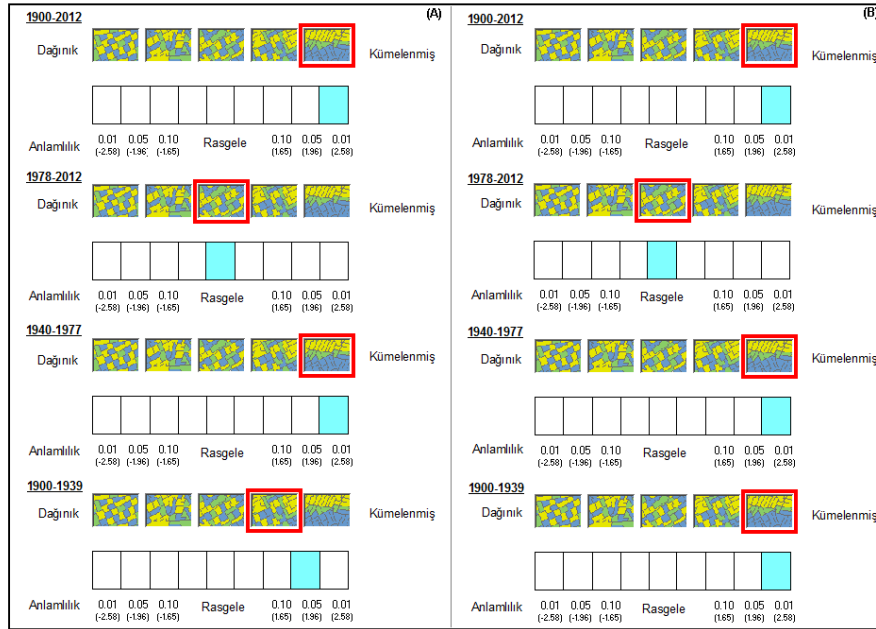
Quadrat analizi incelendiğinde de Ege Bölgesi'ndeki depremlerin dağılımının istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir ($<0,05$). Yıllık dönemlerde ise 1900-1939 dönemi hariç diğer dönemlerde istatistikî olarak anlamlı bir dağılım tespit edilmiştir. Quadrat başına düşen ortalama deprem sayısının uzun yıllık verilerde daha yüksek rakamlara ulaşması deprem sayısının fazlalığı ile ilişkilidir. Böylece, merkezi değerden sapmanın en az olduğu 1940-1977 döneminde kümelenme dikkat çekicidir (Tablo 1).

En Yakın Komşu Analizi, kullanılarak birbirine komşu episantrlar arasındaki mesafe incelenmiştir. Analiz sonucu incelendiğinde, Z değeri her dönemde 1,645'den çok büyük değerler aldığı belirlenmiştir (Tablo 1). Bu da bütün dönemlerde kümelenme olduğunun kanıtıdır.

Episantr paterninin belirlenmesindeki Geary C ve Moran's I indeksleri kullanılmıştır. Çalışma alanındaki depremlerin dağılımını değerlendirebilmek için zaman değişkeni ile magnitüd büyüklükleri arasında matris oluşturulmuştur. Elde edilen Moran indeks sonuçları incelendiğinde de Ege Bölgesi'nde depremlerin kümelenme gösterdiği belirlenmiştir (Tablo 2; Şekil 6). Dönemler arasındaki farklılıklar incelendiğinde sadece 1978-2012 döneminde rasgele bir dağılım olup magnitüdlere göre bir kümelenme tespit edilememiştir.

Tablo2: Moran ve Geary endeksi sonuçları.

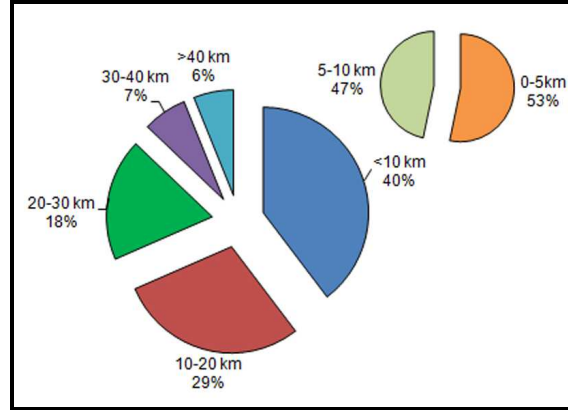
| | 1900-1939 | 1940-1977 | 1978-2012 | 1900-2012 |
|-----------------|-----------------------|-----------|-----------|--------------|
| | Varsayılan Eşik Değer | | | |
| Moran I. | 0.07 | 0.02 | 0,00 | 0.03 |
| Z değeri | 2.71 | 2.83 | -0.32 | 5.57 |
| Geary C. | 0.15 | 0.13 | 0.18 | 0.07 |
| Z değeri | -2.37 | -1.22 | 0.99 | -2.14 |
| | Eşik değer (0.30) | | | |
| Moran I. | 0.11 | 0.03 | 0.00 | 0.03 |
| Z değeri | 2 | 3.49 | 0.45 | 6.00 |
| Geary C. | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.06 |
| Z değeri | .78 | 0.36 | 0.07 | -2.06 |



Şekil 6: Moran I Mekânsal otokorelasyon sonuçları: (A), eşik değeri belirlenmiş (0.30 harita birimi); (B), Eşik değeri belirlenmemiş

Ege Bölgesi'nin K-G yönlü gerilmenin meydana geldiğinin en açık örneği D-B doğrultulu grabenlerdir. Bunlar Bakırçay, Gediz, Küçük Menderes, Büyük Menderes, Kütahya ve Eskişehir'dir (Şengör, 1987). Ege Bölgesi'ndeki fayların genel özelliklerini ortaya koyabilmek için yönsel ortalama, dairesel varyans ve Gama indeksleri değerlendirilmiştir. Aktif fayların

yön ortalaması doğudan itibaren saat yönünde 341.454 derece olarak tespit edilmiştir. Bu da fayların NE yönelimli olduklarını göstermektedir. Dairesel varyansın 0 ile 1 arasında değiştiği göz önünde bulundurulursa Ege Bölgesi genelindeki aktif faylarda 0.71 merkezi varyans değerleri fayların hepsinin aynı yönde olmadığını göstermektedir. Bölgedeki faylar arasında bağlantı Gamma indeksi (0,17) çok yüksek olmadığından çok büyük değildir. Böylece, aktif fayların birbiriyle ilişkilerinin çok yüksek olmadığı anlaşılmaktadır. Ege Bölgesinde gerçekleşen depremlerin % 40 ı aktif faylara 10 km'lik bir mesafede; 29'u ise 10-20 km lik bir mesafede gerçekleşmiştir. Bu da gerçekleşen depremlerin yaklaşık %79'unun faylara 20 km uzaklıkta olduğunu göstermektedir (Şekil 7). Buradan bölgede gerçekleşen depremlerin fay kaynaklı oldukları söylenebilir.



Şekil 7: 4 M den büyük olan depremlerin faydan uzaklıkları.

Sonuç ve Tartışma

Mekânsal istatistikler mekânsal farklılıkları ve ilişkileri araştırmak için, güçlü bir araçtır. Bu çalışmada, Ege bölgesinde 1900-2012 yılları arasında 4 M'den büyük olan depremlerin episantr dağılımlarının mekânsal ve zamansal deseni ortaya konulmuş; kümelenme olup olmadığı vurgulanmış; faylarla olan ilişkileri belirlenmiştir. Bu amaçla CBS tabanlı farklı mekânsal teknikler uygulanmıştır.

En yakın koşulluk analizi, Quadrant Analizi, Geary ve Moran indeksleri depremlerin bölge içinde belirli yerlerde kümelenme oluşturduğunu göstermektedir. Dikkati çeker şekilde kümelenme Kütahya ve Uşak çevresinde Kütahya grabeninde ve Manisa ve İzmir zonunda Gediz grabeninde gözlenmektedir. Bu, söz konusu alanların Ege Bölgesinde sismik aktivitenin fazla olduğu alanlar olduklarını göstermektedir. Şengör'e (1980) göre Kuzey Anadolu transform fayının güneybatı-kuzeydoğu doğrultulu Yunan makaslama zonuna dönüşmesi, Anadolu levhasının batı yönlü hareketine engel olduğunu böylece tüm Ege ve Batı Anadolu'da doğu batı yönlü bir sıkışma rejimi ortaya çıktığından söz etmektedir. Böylece, Yunan makaslama zonuna doğru hareket eden Batı Anadolu bir kuvvetle karşılaşması sonucunda depremlerin doğuya doğru bir tepki şeklinde kayma göstermesi beklenen bir durumdur. Burada dikkati çeken unsur doğuya doğru gerçekleşen kümelenmenin Kütahya yakınlarında bir merkez çevresinde yoğunlaşmasıdır. İncelenen dönemler içinde depremlerin kümeleştiği zonların batıya doğru da stres transferi ile kaydığı tespit edilmiştir. Kernel yoğunluk analizine göre 1900-2012 yılları arasında şiddeti yüksek olan depremler sismik aktivitenin fazla olduğu Kütahya -Uşak zonunda yoğunlaşmıştır. 1900-1939 arasında ise İzmir ve Manisa çevresi magnitüdü yüksek olan depremlerin yoğunlaşma bölgesiyken; 1940-1977 yılları arasında ise doğuya Kütahya-Uşak zonuna kaymıştır. Fakat 1978-2012 yılları arasında belirli bir bölgede yoğunlaşma olmadığı tespit edilmiştir.

Kısaca, elde edilen bulgular incelendiğinde geçmişte büyük depremlerin bölge geneline dağıldığı; ancak daha yakın dönemlere ait ölçümler dikkate alındığında bazı bölgelerde kümelenmeler olduğu ve zaman içinde bu kümelenmelerin kısmen güneybatı- kuzaydoğu

yönünde yer değiştirdiği tespit edilmiştir. Bu bölgelerin başında yukarıda da adı geçen Manisa'nın kuzeydoğusu, Uşak çevresi, Kütahya'nın batısı ve Afyon gelmektedir. Aydın ve Altınoğlu (2005: 87) da Ege Bölgesini aktif yapıya sahip bir bölge olarak tanımlamış; Uşak, Sandıklı ve Dinar üçgeninde büyük enerji kaynağı belirlemiştir. Yıldız ve diğerleri (2012: 6)'de Afyonkarahisar çevresinde geçmiş depremlere dayanarak 7 büyüklüğünde deprem meydana gelme potansiyelinin yüksek olduğunu ileri sürmüştür. Emre ve diğerleri (2012: 47) ise Manisa fayının diri bir tektonik yapı olduğunu ve düşey doğrultuda KD-GB yönlü yer değiştirmeler gerçekleştiğini açıklamıştır.

Diri ve ölü faylar ile magnitüd kümeleri arasında bazı ilişkiler belirlenmiştir. Bunlardan en önemlisi büyük depremlerin çoğunun beklenen bir sonuç olarak diri faylara yakın mesafelerde meydana geldiği ortaya konulmuştur. Diri ve potansiyel diri fayların uzun olanlarının yani köşeli olmayan fay ağına sahip zonların büyük depremler; daha kısa fazların ise orta büyüklükte depremler meydana getirebileceği birçok yöntem ile desteklenmiştir. Ayrıca, buna benzer tespitler Emre ve diğerleri (2012: 47-52) tarafından yapılan çalışmada da belirtilmiştir. Önceki çalışmalar ve bulgular göz önünde tutulduğunda Ege Bölgesi'nde bağlı kırıklı yapının özellikle yukarıda sözü edilen noktalarda bazı paternler belirlenmek kaydıyla hareketlenmeler, kaymalar olabileceği bilinmelidir. Bu noktaların özellikle kümelenmeler ve diri faylarla olan yakın ilişkileri ortaya koyulmuştur. Bölgede gerçekleşen depremlerin faylara olan yakınlıkları dikkate alındığında yaklaşık %80'inin faylara 20 km mesafede gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak depremlerdeki kümelenmelerin yoğunlaştığı alanların faylarla yüksek ilişkisi olduğu, büyük deprem potansiyelinin arttığı bu bölgelerde depreme hazır olunması gerektiği ve bu doğrultuda tedbirler alınmasının şart olduğu söylenebilir. Çalışma mekânsal istatistik analizlerinin sismik aktivitelerde episantr lokasyonlarının paternin ortaya konmasında ve kümelenmenin belirlenmesinde etkili yöntemler olduğunu göstermiştir.

KAYNAKÇA

- AMBRASEYS, Nicholas Neocles (1988). "Magnitude - Fault Length Relationships For Earthquakes in the Middle East", In: Historical Seismograms ve Earthquakes of the World, Acad Press Inc. s. 309-310.
- ARDOS, Mehmet (1995). Türkiye Ovalarının Jeomorfolojisi, İstanbul: Çantay Kitapevi.
- ARDOS, Mehmet (1996). Türkiye'de Kuaterner Jeomorfolojisi, İstanbul: 2. Baskı.
- ATABEY, Eşref (2000). Deprem, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü yayınları, No: 34, Ankara: Eğitim Serisi.
- AMMON, Charles J. LAY, Thorne ve SIMPSON, David W. (2010). "Great earthquakes ve global seismic networks", Seismological Society of America, S. 81, s. 965-971.
- AYDIN, Ali ve ALTINOĞLU Figen (2005) "Ege Bölgesinin kabuk yapısının potansiyel alan ve sismisite verileriyle değerlendirilmesi", Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart 2005 Kocaeli 2005 s. 86-88.
- BAILEY, Trevor C. ve GATRELL, Anthony C. (1995). "Interactive Spatial Data Analysis", Essex: Addison Wesley Longman, Harlow.
- BONILLA, Manual G, MARK, Robert. ve LIENKAEMPER, James J. (1984). "Statistical relations among earthquake magnitude, surface length ve surface fault displacements". Bull. Seism. Soc. Am., S. 74, s. 2379-2411.
- BRODSKY, Emily E. (2009). "The 2004 - 2008 Worldwide superswarm", American Geophysical Union, Fall Meeting, <http://adsabs.harvard.edu/abs/2009AGUFM.S53B..06B>.
- BUFE, Charles G. ve PERKINS, David M. (2005). "Evidence for a Global Seismic-Moment Release Sequence", Bulletin of the Seismological Society of America, S. 95, s. 833-843.
- DANESE, Maria, LAZZARI, Maurizio ve MURANTE, Beniamino (2009). "Geostatistics in historical macroseismic data analysis", Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. 5730, s. 324-341.
- EMRE, Tahir (1996). "Gediz grabeninin jeolojisi ve tektoniği", Turkish Journ. of Earth Sciences, S.5, s.171-186.
- EMRE, Ömer, ÖZALP, Selim, DOĞAN, Ahmet, ÖZAKSOY, Volkan, YILDIRIM, Cengiz ve GÖKTAŞ, Fikret (2005). İzmir Yakın Çevresinin Diri Fayları ve Deprem Potansiyelleri. Jeoloji Etüdüleri Dairesi, Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- GEARY, Robert Charles (1954). "The contiguity ratio and statistical mapping". The Incorporated Statistician (The Incorporated Statistician), S. 5 (3), s. 115-145.
- GENÇ, Ömür (2003). Ege Bölgesi Kalkınma ve Durum Raporu, Türkiye kalkınma Bankası.
- GRECOU, Valerius. ve MATECIUC, Doru (2007). "Seismic forecast using geostatistics", Romanian Reports in Physics, S. 59 (3), s. 871-91.
- GÜNDOĞDU, Güray (2010). Coğrafi Bilgi Teknolojileri Kullanılarak Trafik Kaza Analizi: Adana Örneği, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Uzaktan Algılama Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- KAGAN, Yan Y. ve JACKSON, David D. (1991). "Seismic gap hypothesis: ten years after", J. Geophys. Res., S. 96 (21), s. 419-431.
- KASAP, Reşat ve GÜRLER, Ülkü (2003). "Deprem magnitüdüleri için tekrarlanma yıllarının elde edilmesi marmara bölgesi örneği", Dogus Üniversitesi Dergisi, S.4 (2), s.157-166.
- KING, Geoffrey C.P. STEIN, Ross.S. ve LIN, Jian (1994). "Static stress changes and the triggering of earthquakes". Bulletin of the Seismological Society of America S. 84, s. 935-953.
- LEE, Jay ve WONG, David W.S. (2001). Statistical Analysis With Arcview GIS, Canada: John Wiley ve Sons.
- MARCO, Shmuel STEIN, Mordechai, AGNON, Amotz ve Ron, Hagai (1996). "Long-term earthquake clustering: A 50,000-year paleoseismic record in the Dead Sea Graben". Journal of Geophysical Research, S. 101, s. 6179-6192.
- MATEU Jorge, US'O, Domenech J.L. ve MONTES, Francisco (1998). "The spatial pattern of a forest ecosystem". Ecological Modelling, S. 108, s.163-174.
- MOSPOULOU, Vasiliki ve HRISTOPULOS, Dionissios T. (2011). "Patterns of tectonic fault interactions captured through geostatistical analysis of microearthquakes", Journal Of Geophysical Research, S. 116.
- NICOL, Andrew, WALSH, John, MOUSLOPOULOU Vasiliki ve VILLAMOR, Pilar (2009). "Earthquake histories ve Holocene acceleration of fault displacement rates", Geology, S. 37, s.911-914.
- PEGLER, G. ve DAS, S. (1996). "Analysis of the relationship between seismic moment ve fault length for large crustal strike-slip earthquakes between 1977-92". Geophys. Res. Letters, S. 23, s. 905-908.
- STEIN, Ross S., BARKA Aykut A.. ve DIETERICH, James H. (1997). "Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering", Geophys. J. Int., S.128, s.594-604.
- STOCK Christian ve SMITH, Euan.G.C. (2002). "Adaptive kernel estimation ve continuous probability representation of historical earthquake catalogs", Bulletin of the Seismological Society of America, S. 92(3), s. 904-912.
- STOYAN, Dietrich. ve PENTTINEN, Antti (2000). "Recent application of point process methods in forest statistics", Statistical Science, S. 15, s. 61-78.
- ŞENGÖR, Ali Mehmet Celâl (1980). Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları, Department of Geological Sciences, A.B.D: State University of New York.
- ŞENGÖR, Ali Mehmet Celâl (1987). "Cross faults ve differential stretching of hanging walls in egions of low-angle normal faulting: examples form western Turkey", Geological Society Special Publication, S. 28, s. 575-589.
- TAĞIL, Şermin (2004). "Balıkesir ovası ve yakın çevresinin neotektonik özellikleri ve depremselliği", Coğrafi Bilimler Dergisi, 2004, S. 2 (1), s. 73-92.
- VERE-JONES, David. ve LI, Ma (1997). "Application of M8 and Lin-Lin algorithms to New Zealand earthquake data", New Zealand Journal of Geology and Geophysics, S. 40, s. 77-89.
- WOO, Gordon (1996). "Kernel estimation methods for seismic hazard area source modeling", Bulletin of the Seismological Society of America, S. 86(2), s. 353-362.
- YILDIZ, Ahmet, DÜMLÜPUNAR, İbrahim, BAĞCI, Metin, ULUTÜRK, Yusuf, BAŞARAN, Can, ERDOĞAN, Erhan (2012). "Afyonkarahisar ve çevresinin depremselliği", Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, S.12, s. 1-7.