

Bu makaleye atıfta bulunmak için/To cite this article:

KUŞCU, İ, KOPAR, İ, BAKIRTAŞ, İ. (2019). Erzurum İlinde (Türkiye) 1907-2018 Yılları Arasında Kaydedilen $M \geq 3.0$ Depremlerin Mekânsal Analizi. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 23 (4), 1607-1624.

Erzurum İlinde (Türkiye) 1907-2018 Yılları Arasında Kaydedilen $M \geq 3.0$ Depremlerin Mekânsal Analizi (*)

İmren KUŞCU (**)

İbrahim KOPAR (***)

İlhan BAKIRTAŞ (****)

Öz: Bu makalede Erzurum ilinde oluşmuş depremlerin mekânsal analizleri yapılmış ve değerlendirilmiştir. Mekânsal analizler bağlamında Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi kataloğundaki 1907-2018 yılları arasında oluşmuş $M \geq 3.0$ toplam 979 deprem verisi, ArcGIS (sürüm 10.1) programına aktarılarak episantr, büyüklük sınıfı, hiposantr analizleri, tampon (Buffer), ortalama merkez, ağırlıklı ortalama merkez, standart uzaklık, ağırlıklı standart uzaklık ve standart sapma elipsi analizleriyle nokta ve Kernel yoğunluk analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda Aşkale, Aziziye (Ilıca), Çat üçgeni, Erzurum şehir merkezinden başlayarak Pasinler, Köprüköy, Horasan ilçelerinden Narman'a uzanan hat ve Hınıs yöresinin depremselliği yüksek sahalara olduğu ortaya konulmuştur.


Anahtar Kelimeler: Depremsellik, mekânsal analiz, Kernel yoğunluk analizi, nokta yoğunluk analizi, Erzurum, Türkiye.


Spatial Analyses of $M \geq 3.0$ earthquakes recorded between 1907-2018 in Erzurum Province (Turkey)


Abstract: In this article, spatial analyses of earthquakes occurring in Erzurum province were made and evaluated. In the context of spatial analyses, 979 earthquake data of magnitude $M_w \geq 3.0$, which was formed between 1907-2018 as listed the catalog of Bogazici University, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute Regional Earthquake-Tsunami Monitoring and Evaluation Center were transferred to ArcGIS (version 10.1) program and epicenter, magnitude class, hypocenter, Buffer, mean center, weighted mean center, standard distance, weighted standard distance and standard deviation ellipse analysis, point and Kernel density analysis were performed. As a result of these analyses, it was revealed that the line extending from Aşkale, Aziziye (Ilıca), Çat triangle and Erzurum city centre to Pasinler, Köprüköy, Horasan up to Narman districts, and Hınıs region are high seismicity areas.

Keywords: Seismicity, spatial analysis, Kernel density analysis, point density analysis, Erzurum, Türkiye.

*) Bu makale "Erzurum İlinin Depremselliği ve İl Merkezindeki Ortaöğretim Öğrencilerinin Depreme Duyarlılığı" konulu Yüksek Lisans tezinin bir bölümünden hazırlanmıştır.

**) Fiziki Coğrafya Bilim Uzmanı, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü (e-posta: imrenn.16@gmail.com)  ORCID ID. orcid.org/0000-0002-7810-3507

***) Prof. Dr. Atatürk Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü (e-posta: ikopar@atauni.edu.tr)  ORCID-ID. orcid.org/0000-0002-2840-9786

****) Fiziki Coğrafya Bilim Uzmanı, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü (e-posta: ilhan_bak@hotmail.com)  ORCID ID. orcid.org/0000-0002-1463-3306

Makale Geliş Tarihi: 14.06.2019

Makale Kabul Tarihi: 16.11.2019

I.Giriş

Erzurum ili jeotektonik bakımdan Avrasya ve Arap levhalarının yakınsadığı Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi'nde yer almaktadır (Dewey vd., 1986: 12). Sismotektonik hareketler bakımından hayli etkin olan bölgenin Erzurum ili ile sınırlı kesiminde kalan fayların önemli bir bölümü diri faydır. Bu faylar neotektonik dönemle (Geç-Orta Miyosen) başlayan çarpışma tektoniği etkisinde, kıtasal kabuğun darlaşarak kalınlaşmasının eseridir (Şengör ve Yılmaz, 1983: 52-53; Dewey vd., 1986: 3; Keskin, 1998: 135). Nitekim bölgede sıkışma tektonik rejimi etkisinde sol ve sağ yönlü doğrultu atımlı faylarla bunlara eşlik eden ters ve normal faylar gelişmiştir. Erzurum il sınırları içindeki bu faylar Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) içinde kalmaktadır (Şaroğlu vd, 1987: 394; 1992: 99-125). DAFZ'nun Erzurum il sınırları içinde kalan ve neotektonik döneme ait Üst Miyosen-Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı volkano-sedimanter birimleri kesen (Aksu, 2014: 14), Erzurum Fay Zonu (Şaroğlu 1985: 227-264, Şaroğlu ve Yılmaz, 1986: 90; Şaroğlu vd., 1987: 394) gibi belli zonların üyesi durumundaki önemli faylar; Erzurum Fayı (Doğan vd., 2004: 7), Pasinler (Hasankale) Fayı (Nowroozi, 1971: 319; Osmanşahin vd., 1985: 15), Palandöken Fayı (Arpat, 1965: 290; Yarbaşı, vd., 2003: 218; Çakır, 2016: 54), Dumlu Fayı (Şaroğlu vd, 1987: 394; 1992: 99-125; Yarbaşı vd., 2003: 218; Aksu 2014: 13), Aşkale Fayı (Tarhan vd., 1992: 1; Doğan vd., 2004: 16; Koçyiğit vd., 1985: 67; Koçyiğit vd., 2001: 177-195), Tercan Fayı (Bozkuş ve Yılmaz, 1993: 195), Çat Fayı (Tarhan vd., 1992: 40), Kandilli-Başköy Fayı (Koçyiğit ve Canoğlu, 2017: 115-116), Horasan Fayı (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988: 663-684; Şaroğlu vd., 1992: 99-125; Koçyiğit vd., 2001: 177-195; Peynirci vd., 2011: 141) ve Karayazı Fayı (Tanrıverdi, 1971: 4; Koçyiğit, 1985: 67)'dir.

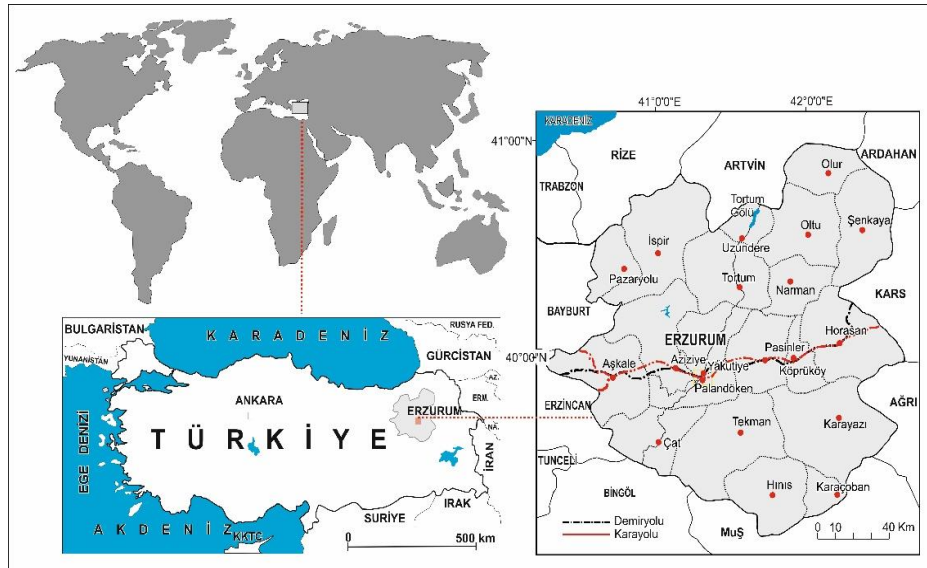
Araştırma sahası, normal faylarla şekillenen bir yapıda olmayıp, aksine ters ve sol yönlü doğrultu atımlı fayların biçimlendirdiği karmaşık gelişimli dinamik bir alandır (Doğan vd., 2004: 7). Nitekim Erzurum Şehri'ni çok yakından ilgilendiren Erzurum Fay Zonu'nun önemli kollarından Palandöken ve Dumlu faylarının her 30 yılda bir kez $M=6.0-7.0$, her 10 yılda bir kez $M=5.0-6.0$, her yıl bir veya birkaç kez $M=4.0-5.0$ büyüklükte deprem üretilebilme olasılığının bulunduğu ifade edilmiştir (Aksu, 2014: 12).

Erzurum ilinde hem tarihsel dönem (Curzon, 1854'den aktaran Tozlu, 2000: 95; Atalay, 1978: 32; Arık, 1994: 13; Ambraseys ve Finkel 1995'den aktaran Tozlu, 2000: 95; Doğan vd., 2004: 9) hem de aletsel dönem (Url-1) içinde birçok yıkıcı deprem olayı meydana gelmiş ve bu depremlerde can ve mal kayıpları olmuştur (Lahn, 1952: 81; Atalay, 1978: 33; Ohta vd., 1985: 387; Hoşgören, vd., 1984: 1; Aysan 1984: 145-168; Barka ve Hancock, 1984: 763-773; Nalbantoğlu, 1987: 357; Eyidoğan vd., 1991: 198; Gök, 1996: 44; Akıncıtürk, 2003: 50; Yarbaşı vd., 2003; 211; Kalemli, 2010: 1-19; Yanık ve Eraycı, 2011: 112; Yapıcı, 2015- 15-20).

Bu çalışmada Erzurum ilinin tamamını ilgilendiren depremlerin çeşitli yöntemler kullanılarak mekânsal analizleri yapılmış ve elde edilen bulgular değerlendirilerek görsel materyaller eşliğinde sunulmuştur.

II. Araştırma Sahasının Konumu

Erzurum ili hem Karadeniz Bölgesi (% 30 - Doğu Karadeniz Bölümü) hem de Doğu Anadolu Bölgesi'nde (% 70 - Yukarı Murat-Van ve Erzurum-Kars Bölümleri) alanı bulunan bir ildir. İlin topografyası oldukça engebeli olup bu rölyefin karakteristiklerini dağlar ve depresyonlar meydana getirmektedir. İldeki dağların çoğunun yükseltisi 3000 metreyi aşmaktadır. Yüzölçümü bakımından değerlendirildiğinde Türkiye'nin 4. büyük ilidir. Çoruh, Fırat ve Aras nehirleri akaçlama havzalarının başlangıç alanında 25.066 km² lik alanıyla ülke topraklarının %3,2 sini kaplayan Erzurum ili, 39°10'- 40°57' kuzey enlemleriyle 40°15'-42°35' doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Lokasyon haritası.

III. Yöntem ve Materyal

Mekânsal analizler eldeki mekânsal kaynaklı sayısal verilerin bilgisayar ortamında girilmesi, sorgulama yapılması, görüntülenmesi ve farklı formatlarda çıktılarının alınmasıyla meydana getirilen bir bilgi sistemidir (Aranoff, 1991: 47). Mekânsal analiz yöntemleri birçok disiplin ve disiplinlerarası çalışmada sıkça kullanılmaktadır (Sertel vd., 2008: 805). Bu araştırmadaki mekansal analizler için İstanbul Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi deprem kataloğundan 1907-2018 yılları aralığındaki 111 yıllık devrede

oluşmuş $M^1 \geq 3.0$ ve odak derinliği 139 km'ye kadar ulaşan deprem verileri kullanılmıştır. Mekânsal analizlerde toplam 979 adet deprem verisi, excell tablosunda çeşitli parametreler dikkate alınarak, ArcGIS (sürüm 10.1) yazılımında kullanılacak biçimde düzenlenmiş ve analiz edilmiştir. Bu kapsamda; episantr (dış merkez)² dağılımı, deprem büyüklüğü, hiposantr (odak derinliği)³, tampon (Buffer), ortalama merkez, ağırlıklı ortalama merkez, standart uzaklık ve ağırlıklı standart uzaklık, standart sapma elipsi analizleri ile nokta ve Kernel yoğunluk analizleri yapılmıştır.

Mekânsal analizler bağlamında ilk olarak depremlerin episantr noktaları, büyüklükleri ve hiposantr derinliklerine göre dağılımları haritalanarak yorumlanmıştır. Ardından sahadaki fay hatları için tampon analizi (Sözbilir vd., 2015: 3) yapılmıştır. Tampon analiziyle olası deprem potansiyeline sahip aktif fayların çevresinde yapılaşmaya izin verilmemesi gereken emniyetli uzaklık aralıklarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün (MTA) yer bilimleri portalından faydalanılarak fayların koordinat bilgileri KML (*Keyhole Markup Language File*) uzantılı olarak kayıt altına alınmış ve programa Conversion Tools bölümünden nokta KML dosyası from KML aracı kullanılarak nakledilmiş, bu noktalar daha sonra birleştirilmek suretiyle fay haritası çıkarılmış ve ardından her fay için 10 km'lik aralıklarla tamponlar oluşturulmuştur.

Ortalama merkez ve ağırlıklı ortalama merkez analizleriyle tüm deprem episantrlarının x ve y koordinat değerlerinin ortalaması hesaplanarak harita üzerinde yeni bir nokta veri oluşturulması yoluyla (Karabulut, 2014: 433-436; Hepdeniz ve Soyaslan, 2015: 108-109) depremlerin mekânsal istatistik bakımından orta noktaları elde edilmiştir (Tağil ve Alevkayalı, 2013: 370). Ortalama merkez analizlerinde deprem episantrları işleme alınırken ağırlıklı ortalama merkez analizlerinde depremlere ait magnitüd değerleri dikkate alınarak yeniden analiz edilmiştir (Hepdeniz ve Soyaslan, 2015: 108).

Mekânsal analizlerde standart uzaklık, ağırlıklı standart uzaklık ve deprem episantrlarının dağılışı gibi temel analizlerin yapılması depremlerin değerlendirilmesinde önemlidir (Walfort 2011: 364-390; Menteşe ve Okuyucu, 2013: 260). Standart uzaklık ve ağırlıklı standart uzaklık ile ağırlıklı ortalama merkez gibi analizler öznitelik bilgileri içeren mekânsal olaylarla hesaplanmaktadır (Karabulut, 2014: 433-436; Kaya vd., 2015: 2-5).

Deprem episantrlarının mekânsal analizinde ve episantr dağılım yönünün belirlenmesinde standart sapma elipsi analizi uygulanmıştır (Lee vd., 2001: 11; Hepdeniz

¹ Makaledeki magnitüd (M) değerleri, Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi, Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM) Deprem Sorgulama Sistemi'nde yayımlanan magnitüd (MD, ML, Mw, Ms, Mb) değerleri içerisinde her bir deprem için hesaplanan en büyük değerlere (xM) karşılık gelmektedir.

² Dış Merkez (Episantr): Yerin iç kısmındaki deprem enerjisinin ortaya çıktığı odak noktasının yeryüzündeki izdüşümüdür (Tabban ve Gencoğlu, 1975: 16).

³ İç Merkez (Hiposantr): Kırılmanın ve dolayısıyla deprem enerjisinin açığa çıktığı nokta (alan) dır.

ve Soyaslan, 2015: 109; Mentеше ve Okuyucu, 2013: 264). Standart sapma elipsi yardımıyla araştırma sahasında oluşan depremlerin dağılışı derecesi ve yönelimi gösterilmiştir.

Depremlerin noktasal olarak belirlenmesinde nokta ve Kernel yoğunluk analizlerinden yararlanılmıştır. Nokta yoğunluk analizinde, kullanılmakta olan hücresel değerler dairesel belirlenmiş bir tarama yüzeyine göre hesaplanmaktadır. Her bir hücre değeri ise tarama sahasındaki nesne sayısı alanının büyüklüğüne bölünerek belirlenmektedir (Kahraman ve Ünsal, 2014: 26-28). Nokta yoğunluk analizi, ayrı noktalarla ifade edilen verilerin analiz edilmesiyle noktalardan yararlanarak yoğunluk yüzeyi oluşturulması esasına dayanmaktadır. Dolayısıyla bu analizde tanımlanmış alan içerisindeki episantr noktalarının sayısal yoğunluk göstergeleri dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmaktadır. Kernel yoğunluk analizinde ise söz konusu episantr noktalarının bulunduğu alan ızgara biçiminde karelere bölünmekte ve her kare içerisine giren nokta sayısına göre yoğunluk belirlenmektedir. Kernel yoğunluk analizinde tanımlanmış bir yarıçapa sahip daire içerisine düşen noktaların yoğunluğu ile bu kaynaktan uzaklaştıkça farklılaşan noktasal yoğunluk hesaba katılmaktadır. Kernel analizi deprem konusunda en fazla tercih edilen analiz türlerinden biridir (Bailey ve Gatrel, 1995'den aktaran Bakak, 2016: 59). Bu analiz yardımıyla araştırma alanlarındaki deprem yoğunluğunun alansal farklılıkları ortaya konulabilmektedir. Böylelikle deprem aktivitesinin nerelerde yoğun nerelerde daha az yoğun olduğu konusu açıklığa kavuşturulmaktadır.

Mekânsal analizler sonucunda Erzurum ilinde meydana gelen depremlerin farklı özelliklerinin ayrıntılı değerlendirilmesi mümkün olmuştur.

IV. Mekânsal Analizler

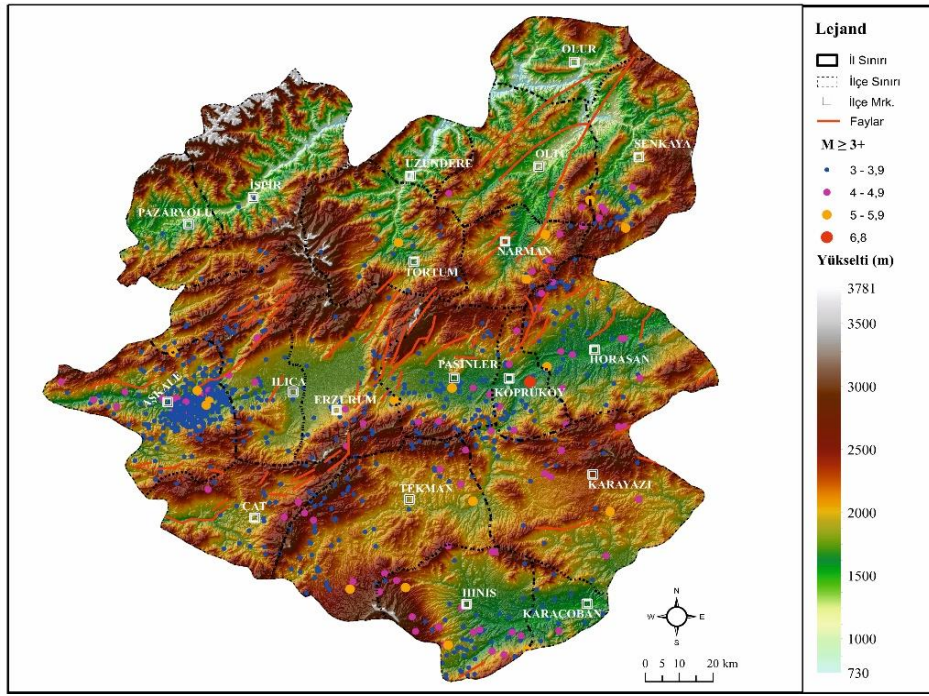
A.Episantr, Büyüklük Sınıfı ve Hiposantr Analizleri

Episantr analizleri kapsamında Erzurum ilinde meydana gelen 979 adet depremin dış merkez noktaları verilen koordinatlara uygun şekilde konumlandırılarak episantr dağılışı haritası oluşturulmuştur. Buna göre episantr noktalarının ana faylarla büyük ölçüde örtüştüğü ve fayları taşıyan rölyefle de uyumlu diziliş gösterdiği anlaşılmıştır (Şekil 2). Ayrıca elde edilen haritada episantr noktalarının kimi yerde odaksal biçimde kümeleştiği ancak çoğunluklarda dağınık bir dağılışı deseni gösterdiği ortaya konmuştur. Bu noktada özellikle odaksal kümeleşme, sismik etkinliğin giderek aynı odak ve yakın çevresinde arttığını gösteren önemli bir durumdur.

Episantr noktalarının harita düzlemindeki dağılışı izlenerek etkili deprem alanları içinde kuvvetli ve zayıf deprem alanlarının belirlenmesi mümkün olmuştur. Nitekim Erzurum ilinde en kuvvetli deprem alanının *Aşkale Deprem Alanı* olduğu buna karşılık en zayıf deprem alanının belirgin biçimde Pazaryolu-İspir hattı boyunca uzandığı görülmüştür. Bu tespit yapılırken il genelinde belli merkezlerde meydana gelen deprem sayıları ve depremlerin oluş zamanının sıklık dereceleri dikkate alınmıştır. Kuvvetli deprem alanlarında $M \geq 3.0$ depremlerin zayıf deprem alanlarında oluşmuş depremlerden daha fazla sayıda olduğu ve diğer alanlarla kıyaslandığında harita üzerindeki episantr

noktalarının daha yüksek kapalılık meydana getirdiği görülmektedir. Analizlerden Aşkale Deprem Alanı'na ek olarak Çat, Pasinler Köprüköy, Hınıs ve Narman civarının da sismik etkinlik bakımından kümülatif artış gösteren kuvvetli deprem alanları olduğu belirlenmiştir.

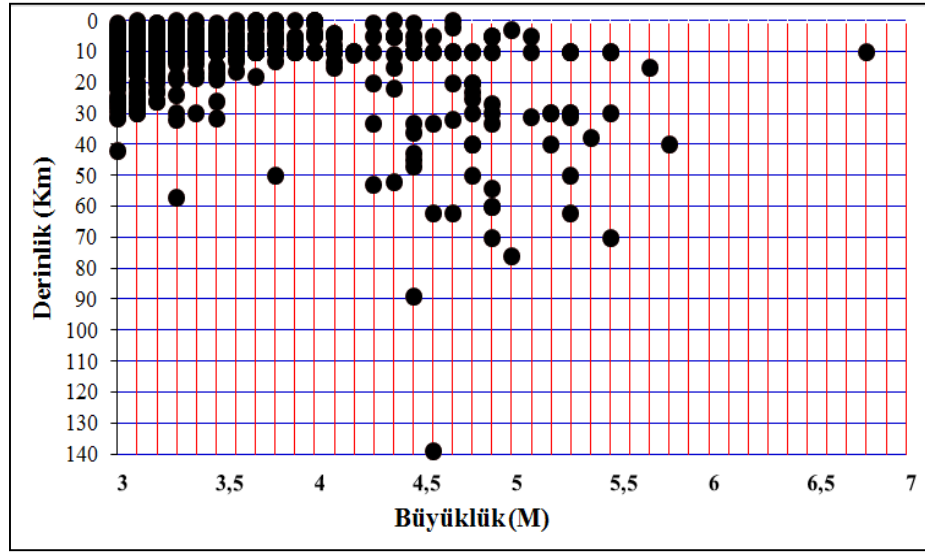
Episantr noktalarının haritadaki konumları dikkate alındığında kuvvetli deprem alanlarında (Aşkale, Çat, Aziziye, Pasinler, Köprüköy ve Narman gibi) yakınsak, zayıf deprem alanlarında ise iraksak nitelikte olduğu saptanmıştır. Başka bir ifadeyle kuvvetli deprem alanında her bir deprem noktası arasındaki mesafe daha az, diğerinde ise daha fazladır.



Şekil 2. Aktif faylar ve episantr noktalarının morfolojik yapıyla ilişkisi.

İnceleme alanında deprem büyüklüğü sınıfı bakımından sayıca en fazla M=3-3.9 büyüklükte, ***etki alanı dar ancak yıkıcılığı yüksek depremlerin*** meydana geldiği ve bunları sırasıyla M= 4-4.9; M=5-5.9 ile M=6.8 büyüklüğündeki ***etki alanı geniş yıkıcı depremlerin*** takip ettiği belirlenmiştir.

Depremlerin odak noktası (hiposantr) derinlikleri⁴ göz önüne alınarak yapılan analizden Erzurum ili genelinde **kabuksal kökenli sığ depremlerin** meydana geldiği sonucuna ulaşılmıştır. Nitekim iç merkez (hiposantr) derinliklerine göre Erzurum ilindeki depremlerin % 94'ünün (919 deprem) h: 0-20 km derinliğe odaklı sığ depremler olduğu sadece % 6'sının (60 deprem) h: 20,1 km'den daha derin depremler sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir (Şekil 3).

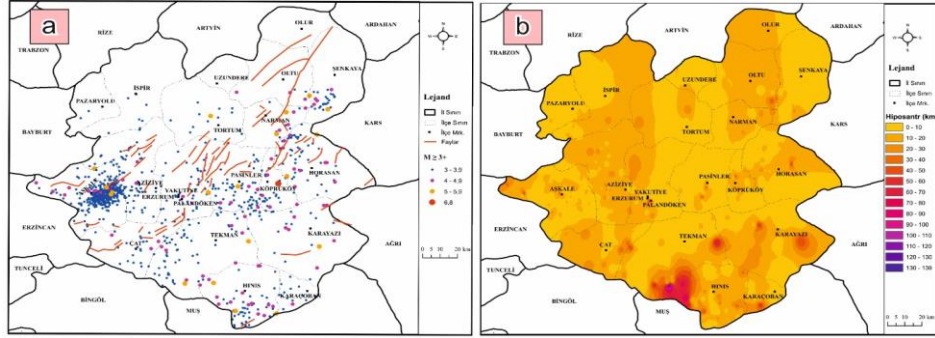


Şekil 3. Depremlerin derinlik ve büyüklük sınıfı ilişkisi.

İç merkez (hiposantr) noktası (alanı) bakımından Erzurum il sınırları içinde oluşmuş en derin odaklı deprem; h: -139 km'yle Hınıs-Güzeldere (M=4.6) depremidir. Büyüklük itibariyle kaydedilmiş en büyük deprem ise Köprüköy-Emre (M=6.8) depremidir (Şekil 4a).

İlin tamamı için yapılan hiposantr dağılım haritasında bütün depremler olduğu derinliğe göre çeşitli renkler ve renklerin ifade ettiği derinlik değerleriyle ayrılmıştır. Buna göre açık sarıdan koyu maviye doğru renk tonların gittikçe koyulaştığı alanlar derin odaklı deprem alanlarına doğru geçiş gösteren kesimleri temsil etmektedir (Şekil 4b). Ayrıca haritada deprem yoğunluğu düşük olan kesimlerde derin depremlerin, deprem yoğunluğu yüksek olan kesimlerde de sığ depremlerin görülmesi hususu dikkati çekmektedir.

⁴ Odak (Hiposantr) Derinliği: Deprem enerjisinin açığa çıktığı noktanın (alanın) yeryüzünden itibaren uzaklığıdır.



Şekil 4. Erzurum ilinde meydana gelen depremlerin episantr-büyükölük sınıfı (a) ve hiposantr (b) dağılışı haritaları.

B. Tampon (Buffer) Analizi

Tampon (Buffer) analizi arcGIS yardımıyla belirli bir coğrafi uzaklık bandında istenen bilgilere yönelik sorgulama yapan bir analiz türüdür. Fay hatları dikkate alınarak yapılan tampon analizleri deprem üretme potansiyeli olan diri fayların çevresinde yapılaşmaya izin verilmeyen zonları (emniyetli uzaklık aralığı) tanımlamaktadır (Sözbilir vd., 2015: 2). Gerçekten tampon analizleriyle oluşturulan bir haritaya bakarak gelecekte deprem üretme potansiyeli olan riskli zonlarla güvenli zonların belirlenmesi mümkün olmaktadır. Bu bağlamda Erzurum ilinin bütünü için hazırlanmış tampon analiz haritasında aktif fay hatlarını takip eden 10 km genişlikteki kuşaklar, deprem riski yüksek zon içinde tanımlanmış ve kırmızı renkte bantlarla gösterilmiştir (Şekil 5a). Kırmızı bandın çevresindeki farklı renkteki (açık kırmızı, sarı, yeşil, açık mavi, koyu mavi) bantlar gittikçe nispeten daha güvenli zonlara geçildiğini göstermektedir. Tampon analiziyle Aşkale, Aziziye (Ilıca), Yakutiye, Palandöken, Pasinler, Köprükölü, Horasan, Tortum, Narman, Oltu, Olur ilçelerinin deprem üreten ya da deprem üretme potansiyeline sahip fayların yer aldığı kırmızı bantlar üzerinde veya bu faylara oldukça yakın konumlarda yer aldığı ortaya konulmuştur. Analizden İspir, Pazaryolu, Uzundere, Şenkaya ve Tekman ilçelerinin kırmızı bandın çok uzağında güvenli alan içinde kaldığı anlaşılmıştır. Bununla birlikte bu ilçelerinin güvenli tampon zonları içinde gözükmesi sahanın risk potansiyelini azaltmamaktadır. Böylelikle diri faylara oldukça yakın olan bu mekânlarda da gelecekte yıkıcı depremlerin oluşabileceği göz önüne alınmalıdır.

C. Ortalama Merkez ve Ağırlıklı Ortalama Merkez Analizi

Ortalama merkez analizinde episantr noktalarının x ve y koordinat değerlerinin ortalaması hesaplanmak suretiyle harita üzerinde yeni bir nokta veri

oluşturulmaktadır. Ortalama merkez analizinde yalnızca episantr noktaları dikkate alınırken, ağırlıklı ortalama merkez analizinde depremlere ait büyüklük değerleri de analize dahil edilmek suretiyle sonuca gidilmektedir (Hepdeniz ve Soyaslan, 2015: 108). Ortalama merkez ve ağırlıklı ortalama merkez analizlerine göre Erzurum ili genelinde meydana gelmiş depremlerin mekânsal istatistik itibariyle orta noktalarının Erzurum ili Merkez Palandöken İlçesi sınırları içinde kaldığı belirlenmiştir (Şekil 5b). Hem ortalama merkez hem de ağırlıklı ortalama merkez analizlerinde orta noktaların aynı lokasyonu göstermesi depremlerin sıklık ve büyüklük ölçeğinde birbirlerine benzeyen karakterde olduğuna işaret etmektedir.

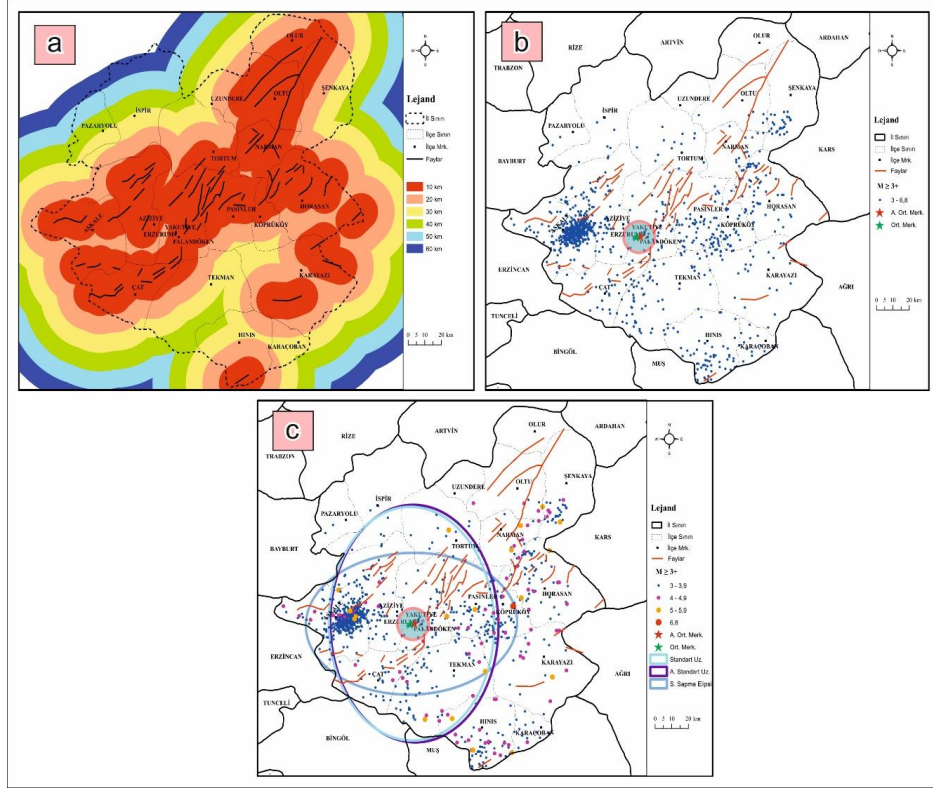
D. Standart Uzaklık ve Ağırlıklı Standart Uzaklık Analizi

Bu analizler sahaya yayılmış olan deprem noktalarının ortalama ve ağırlıklı ortalama merkeze göre hem dağılımlarını hem de mesafelerini göstermektedir. Analizlerde oluşturulmuş çemberlerin aldığı geometri depremlerin dağılışı pozisyonu belirlemektedir. İnceleme alanında standart uzaklık çemberinin sahaya egemen bir yayılışı göstermediği ve ilin batı yarısına egemen şekilde oval bir geometri sunduğu görülmektedir. Standart uzaklık çemberinin ilin güneybatı yarısında dar bir alanda yer alması Erzurum'u etkileyen fayların en fazla bu kesimde çalışarak birbirine yakın konumlarda deprem ürettiğini ortaya koymuştur (Şekil 5c). Standart uzaklık çemberi içerisinde Aşkale, Aziziye, Pasinler, Tekman, Çat, Palandöken ve Yakutiye ilçeleri yer almaktadır. Mevcut duruma bakarak geçmişten günümüze en fazla deprem olan alanlarla gelecekte olası yüksek enerjili depremlere maruz kalabilecek yerleşmelerin çember dahilinde kalan yerler olabileceği düşünülmüştür.

E. Standart Sapma Elipsi Analizi

Episantr noktalarının dağılım yönü ve kümelenme özelliklerinin ortaya konulması (Lee ve Wong, 2000; 114; Hepdeniz ve Soyaslan, 2015; 109; Menteşe ve Okuyucu, 2013: 260) bakımından Erzurum ilinin tamamı için yapılan standart sapma elipsi analizi önemli bilgilere ulaşılmasını sağlamıştır. Hazırlanan standart sapma elipsinden elde edilen sonuca göre Erzurum ilinde depremlerin asıl yayılışı yönü batı-doğu doğrultuludur (Şekil 5c). Elipsin ortası şişkince ve bir ucu doğuyu diğer ucu batıyı gösteren şekli ana faylarla uyumludur.

Episantr noktalarının dağılışı yönelimine göre batıda Aşkale'den başlayıp doğuya doğru Çat, Aziziye ilçeleri istikametinde genişleyen ardından Erzurum şehir merkezini de içine alarak Köprüköy'e kadar sınırları genişlemiş bir elips içindeki deprem noktaları batıda *odaksal kümelenme* oluştururken, doğuya doğru fayların doğrultularına uyumlu şekilde *dağınık bir dağılışı deseni* meydana getirmiştir. Odaksal kümelenmenin nedeni aynı odak ve yakın çevresinde çok sayıda eski ve yeni depremin meydana gelmiş olmasıdır. Standart sapma elipsi dışında kalan deprem noktalarının dağınıklık durumu ise diri fayların batı-doğu, kuzeydoğu-güneybatı ya da diğer yönlere uzanışlı oluşlarıyla ilgilidir.



Şekil 5. Erzurum ilindeki depremlerin tampon (Buffer) (a), ortalama merkez ve ağırlıklı ortalama merkez (b), standart uzaklık, ağırlıklı standart uzaklık ve standart sapma elipsi analiz haritaları (c).

V. Yoğunluk Analizi

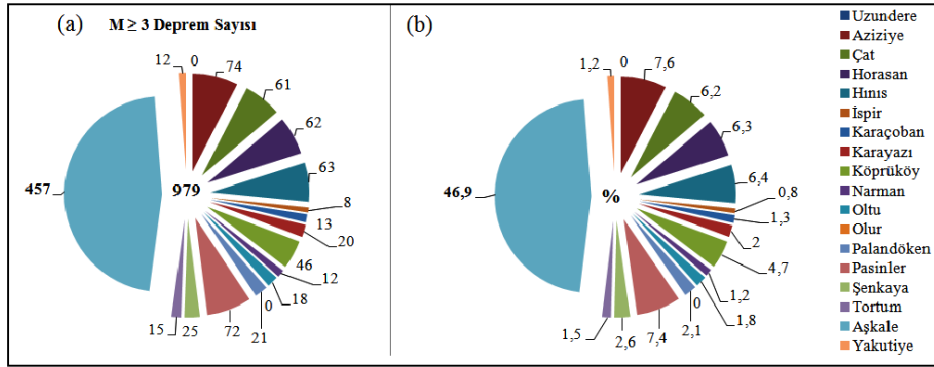
Yoğunluk analizi Erzurum ilinde meydana gelmiş $M \geq 3.0$ deprem noktalarının yoğunlaştığı kesimlerin belirlenebilmesi amacıyla uygulanmıştır. Nokta tipinde sunulan veriler, nokta yoğunluk ve Kernel yoğunluk analizleriyle değerlendirilerek il genelinde yüksek ve düşük yoğunluklu deprem alanları somut şekilde gösterilmiştir.

A. Nokta Yoğunluk Analizi

Nokta yoğunluk analizinde hüresel değerler dairesel olarak bilinen bir tarama alanına göre hesaplanmakta ve her bir hücre değeri tarama alanında bulunan nesne sayısı alanının büyüklüğüne bölünerek belirlenmektedir (Kahraman ve Ünsal, 2014: 26). Bu bağlamda harita üzerinde mavi ve tonlarında belirtilen renkler yoğunlaşmanın

maksimum olduğu alanları, yeşil ve tonları ise düşük ve en düşük yoğunlaşma alanlarını gösterecek şekilde düzenlenmiştir.

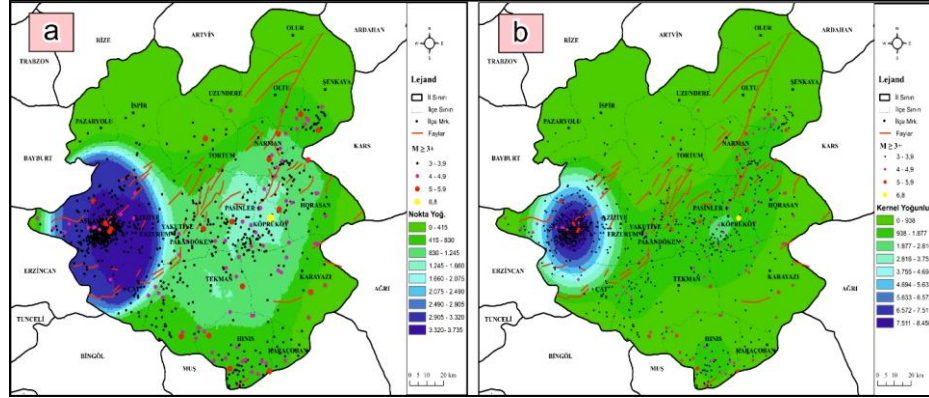
Nokta yoğunluk analizine göre Erzurum geneli dikkate alındığında Aşkale, Aziziye ve Çat üçgeni olarak tanımlanmış alanın *deprem noktalarının dağılışı bakımından* yüksek yoğunluklu alanlar olduğu anlaşılmıştır. Buna karşılık kuzeyde Pazaryolu, İspir, Uzundere, Olur, Şenkaya, doğuda Karayazı ve Horasan'ın doğusu, güneydoğuda Karaçoban ve Hıms ilçelerinin düşük yoğunluklu alanlar olduğu belirlenmiştir. Bu geniş çerçeve içerisinde Pasinler ve Köprüköy alanı yüksek yoğunluklu alanlar olarak göze çarpmaktadır. $M \geq 3.0$ deprem sayıları dikkate alındığında ilçe başına düşen depremlerin sayısal ve oransal dağılımı nokta yoğunluk analizinin sonuçlarını doğrulamaktadır. Nitekim Aşkale (457 - %46,9, Aziziye (74 - % 7,6) ve Çat (61 - % 6,2) merkezli deprem toplam sayısı 592 (% 65) iken geriye kalan 387 (% 35) deprem ildeki 15 ilçeye dağılmış durumdadır (Şekil 6).



Şekil 6. Erzurum ili sınırları içerisinde $M \geq 3.0$ depremlerin ilçelere dağılımı (a) ve oranı (b).

B. Kernel Yoğunluk Analizi

Kernel yoğunluk analizi deprem analizleri içinde en çok yararlanılan analizlerden biri olup bu analiz, "hücrelerle değil, tanımlı bir yarıçapa sahip çember içerisinde düşen noktaların yoğunluğu ile bu kaynaktan uzaklaştıkça değişen noktasal yoğunluğu" ifade etmektedir (Bailey ve Gatrel, 1995'ten aktaran Bakak, 2016: 59). Araştırma sahasında deprem yoğunluğunun alansal farklılıklarının ortaya konulabilmesi bakımından yapılan bu analizde geçmişten günümüze kadar meydana gelmiş deprem aktivitelerinden yararlanılarak depremlerin nerelerde yoğun, nerelerde daha az yoğun olduğu konusu açıklığa kavuşturulmuştur. Nitekim Kernel yoğunluk analizine göre depremlerin Aşkale merkezli yoğunlaşma gösterdiği, bu merkezden uzaklaştıkça yoğunluğun kaybolduğu görülmüştür (Şekil 7 a-b). Bu durum Aşkale merkezli çemberin dışında kalan kesimlerde depremlerin seyreltiği bu yüzden de yoğunluğun düştüğü anlamına gelmektedir.



Şekil 7. Erzurum ilinde meydana gelen depremlerin nokta yoğunluk (a) ve Kernel yoğunluk haritaları.

VI. Sonuçlar

Jeotektonik özellikleri itibariyle Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi içinde konumlanan ve sınırları içinde çok sayıda diri fayın bulunduğu Erzurum ilindeki meydana gelmiş $M \geq 3.0$ eski ve güncel 979 deprem çeşitli mekansal analiz yöntemleriyle (*episantr, büyüklük sınıfı, hiposantr, tampon (Buffer), ortalama merkez, ağırlıklı ortalama merkez, standart uzaklık, ağırlıklı standart uzaklık ve standart sapma elipsi analizleriyle nokta ve Kernel yoğunluk analizleri*) incelenmiş ve Erzurum ilinin depremselliği yüksek bir alan olduğu somut şekilde ortaya konulmuştur.

Mekânsal analizlerden önemli bulgular elde edilmiştir. Öncelikle tampon analizleri kapsamında episantr noktalarının ana fay zonları üzerinde ya da diğer faylarla uyumlu olduğu görülmüş, Aşkale, Aziziye (Ilıca), Yakutiye, Palandöken, Pasinler, Köprüköy, Horasan, Narman, ilçelerinin deprem üretebilecek aktif faylar üzerinde ya da aktif faylara oldukça yakın konumda yerleşmeler olduğu tespit edilmiştir.

Ortalama merkez ve ağırlıklı ortalama merkez analizlerine göre depremlerin mekansal istatistik itibariyle orta noktalarının Merkez Palandöken İlçesi sınırları içinde kaldığı belirlenmiştir.

Hazırlanan standart uzaklık ve ağırlıklı standart uzaklık çemberlerinin oval bir geometri sunduğu görülmektedir. Buna göre standart uzaklık çemberi ilin güneybatı yarısında yer alması Erzurum ilini etkileyen depremlerin büyük farkla bu çember içerisinde yoğunlaştığını göstermiştir.

Standart sapma elipsinden elde edilen çıkarımlara göre Erzurum ilinde depremlerin primer yayılımı batı-doğu doğrultusunda olmuştur. Episantr noktalarının dağılışı yönelimine göre mevcut deprem noktalarının batıda Aşkale'den başlayıp doğuya doğru Çat, Aziziye ilçeleri istikametinde genişleyen ardından Erzurum şehir merkezini de içine

arak Köprüköy'e kadar sınırları genişlemiş bir elips içinde batıda *odaksal kümelenme*, doğuya doğru ise *dağılma eğilimli* olduğu tespit edilmiştir.

Nokta yoğunluk analizine göre Aşkale, Aziziye ve Çat üçgeni olarak tanımlanmış alanda yüksek sismisite dikkat çekmektedir. Bununla birlikte il sınırları içerisinde kuzeyde Pazaryolu, İspir, Uzundere, Olur ilçelerinin düşük yoğunluklu sismik alanlar olduğu saptanmıştır.

Kernel yoğunluk analizine göre depremlerin Aşkale merkezli yoğunlaşma gösterdiği bir yoğunluk çemberi oluşmasından anlaşılmıştır. Yoğunluk çemberi çevreye doğru genişlerken çemberin dışında kalan kesimlerde depremlerin seyrettiği bu yüzden de yoğunluğun düştüğü anlaşılmıştır.

Hem tarihsel hem de aletsel dönem kayıtları incelendiğinde Erzurum il sınırları içinde çok sayıda deprem meydana geldiği ve bu depremlerde can ve mal kayıplarının olduğu iyi bilinen bir durumdur. Dolayısıyla deprem riski yüksek olan ve TÜİK'in 2019 yılı adrese dayalı nüfus sayımı verilerine göre toplam 767.848 kişinin yaşadığı ilde, yeni acıların yaşanmaması için, depreme karşı daha duyarlı olunması, bu bağlamda da proje aşamasından başlayarak yer seçimi ve zemin etütlerini önceleyen bir mühendislik anlayışıyla depreme dayanıklı binaların inşa edilmesine önem verilmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

- Akıncıtürk, N. (2003). *Ülkemizdeki Deprem Etkileri ve Yapısal Tasarımda Alınması Gereken Önlemler*. Bursa: Uludağ Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Yay. 285.
- Aksu, B. (2014). *Erzurum Şehir Merkezinde Kuzey Güney Doğrultulu Bir Hat Boyunca Yer Alan Yapı Stokunun, Zemin ve Yapı Periyodu Açısından Değerlendirilmesi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Erzurum: Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ambraseys, N.N and Finkel, C.F. (1987). "Seismicity of Turkey and Neighbouring Region 1899-1915". *Annales Geophysics*, vol. 5B, p. 701-26.
- Ambraseys, N.N. and Finkel, C.F. (1995). *The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas: A Historical Review 1500 - 1800*. İstanbul: Eren Yayıncılık.
- Arık., F.Ş. (1994). "Selçuklular Zamanında Anadolu'da Meydana Gelen Depremler". *Tarih Araştırmaları Dergisi*, XVI/27, 13-32.
- Arpat, E. (1965). "Aziziye (Ilıca)-Aşkale (Erzurum) Arasındaki Sahanın ve Kuzeyinin Genel Jeolojisi-Petrol İmkânları". Rapor No: 4040. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü.
- Atalay, İ. (1978). *Erzurum Ovası ve Çevresinin Jeolojisi ve Jeomorfolojisi*. Erzurum: Atatürk Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları.
- Aysan, F.Y. (1984). *The Erzurum-Kars Earthquake of Eastern Turkey*, Oxford, U.K. 21.

- Bailey, T.C. and Gatrell, A.C., (1995). *Interactive Spatial Data Analysis* 413. Essex: Longman Scientific & Technical.
- Bakak, Ö. (2016). “2005 Sığacık Körfezi (İzmir) Depremlerinin Mekânsal Değerlendirilmesi”. *Yerbilimleri Dergisi*, 37 (1), Ankara, 51-63.
- Barka, A., and Hancock, P. L. (1984). “Neotectonic deformation patterns in the convex northwards arc of the North Anatolian fault, in *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean* (Edited by Dixon, J.G. and Robertson, A.H.F)”. *Special Publ. Geol. Soc.*, London, 763-773.
- Barka, A., and Kadinsky-Cade, K. (1988). “Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity”, *Tectonics*, 7, 663-684.
- Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM), 11 Mayıs 2017 Halilkaya-Aziziye (Erzurum) Depremi Basın Bülteni. 25.06.2018 tarihinde http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/wpcontent/uploads/2017/05/2017_05_11_2058_Azize_Erzurum_ML_5.pdf adresinden erişildi.
- Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM) Deprem Kayıtları. 01.01.2018 tarihinde www.koeri.boun.edu.tr/scripts/Ist4.asp, adresinden erişildi.
- Bozkuş, C., ve Yılmaz, Ö. (1993). Tercan (Erzincan)-Aşkale (Erzurum) Arasının Tektoniği, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 36, Ankara, 189-201.
- Curzon, R. (1854). “A Year at Erzerum and the Frontiers of Russia, Turkey and Persia”. London, 159-162.
- Çakır, Ç. (2016). *Palandöken Dağlarının Doğal Ortam Özellikleri*, (Yayınlanmamış Doktora Tezi) Erzurum: Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Dewey, J. F., Hempton, M. R., Kidd, W. S. F., Şaroğlu, F., Şengör, AMC., 1986. Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia young collision zone. In: Coward, M.P., Riea, A.C. (Eds.). *Collision Tect. Geol. Soc. Lond.*, Spec. Publ., 19, p. 3– 36.
- Doğan, A., Yıldırım, C., Nefeslioğlu, H. A. ve Emre, Ö. (2004). *25 Mart (Mw: 5.5) ve 28 Mart (Mw 5.5), Aşkale Erzurum Depremleri Değerlendirme Raporu* (Numarasız), Ankara: MTA Jeoloji Etütleri Dairesi.
- Ergünay, O. and Tabban, A. (1983). Isoseismal map of the Bartın earthquake based on the official damage statistics of the General Directorate of Disaster Affairs of the Government of Turkey.

- Eyidoğan, H., Güçlü, U., Utku, Z., ve Deđirmenci, E. (1991). Türkiye Büyük Depremleri Makro Sismik Rehberi (1900-1988), İstanbul: İTÜ. Maden Fak. Jeofizik Müh. Bölümü Yayınları.
- Gök, Y. (1996). *Erzurum-Kars Depremi'nin (30 Ekim 1983) Ekonomik ve Sosyal Sonuçları*, Dalı (Yayınlanmamış Doktora Tezi), Erzurum: Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Heppeniz, K., ve Soyaslan, İ.İ. (2015). "Burdur İlinde Meydana Gelen Depremlerin Odak Noktalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile 3 Boyutlu Modellenmesi ve Jeostatistiksel Analizi". *Uluslar. Burdur Deprem ve Çevre Semp., Burdur: Bildiriler Kitabı*, s. 104-112.
- Hoşgören, M. Y., Nişancı, A., Selçuk Biricik, A., ve Bilgin, A. (1984). *30 Ekim 1983 Erzurum Kars Depremi*. Erzurum: Atatürk Üniversitesi Basımevi.
- Kahraman, S., ve Ünsal, Ö. (2014). *ArcGIS for Desktop Spatial Analysis*. Ankara: ESRI Bilgi Sistemleri Mühendislik ve Eğitim Ltd. Şti.
- Kalemli, H. (2010). 1924 "Erzurum Depreminde Yurtdışından Yapılan Yardımlar", *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 14 (2): Erzurum, 201-219.
- Karabulut, M. (2014). "Mekânsal İstatistik Teknikleri". *Coğrafya Araştırma Yöntemleri* (Ed. Yılmaz Arı, İlhan Kaya), *Balıkesir: Coğrafyacılar Derneđi*, 433- 436.
- Kaya, Ö., Torođlu, E., ve Adıgüzel, F. (2015). "2011 Genel Seçimlerinde Partilerin Aldığı Oy Oranlarının İlçeler Ölçeğinde Mekânsal Analizi". *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi*, İstanbul, 31, 1-13.
- Keskin, M. (1998). "Erzurum-Kars Platosunun Çarpışma Kökenli Volkanizmasının Volkanostratigrafisi ve Yeni K/Ar Yaş Bulguları Işığında Evrimi (Kuzeydoğu Anadolu)", *MTA Dergisi*, 120, 135-157.
- Koçyiğit, A. (1985). "Karayazı Fayı". *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 28, Ankara, 67-72.
- Koçyiğit, A. (1985). "Muratbağı-Balabantaş (Horasan) Arasında Çobandede Fay Kuşağının Jeo-Tektonik Özellikleri ve Horasan-Narman Depremi Yüzey Kırıkları". *Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fak. Yer Bilimleri Dergisi*, 2/1, s.15-32.
- Koçyiğit, A., and Canoğlu, M.C. (2017). "Neotectonics and seismicity of Erzurum pull-apart basin, East Turkey". *Russian Geology and Geophysics*, 58, p. 99-122.
- Koçyiğit, A., Öztürk, A., İnan., S. ve Gürsoy, H. (1985). "Karasu Havzası'nın Tektonomorfolojisi ve Mekanik Yorumu". *Cumhuriyet Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, 2, Sivas, 143-147.
- Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S., ve Kuloshvili, S. (2001). "Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: Implication for Transition from Thrusting to Strike-slip Faulting". *Geodinamica Acta*, 14, 177-195.

- Lahn, E. (1952). "Aras Nehri Amenajman Sahasının Jeolojik ve Sismolojik Durumu (Doğu Anadolu)". Publ. Bur, Centr. Seism. Int., Serie A, Tr. Sc., Fasc. 16, Strasburg, 74-84.
- Lee, J., and Wong., D.W.S. (2000). *Statistical Analysis with ArcWiev ArcGIS*. John Wiley & Sons, Inc., Canada.
- Menteşe, S., ve Okuyucu, A. (2013). "Bilecik İlinde Nüfusun Mekânsal Dağılımının Jeostatistiksel Yöntemlerle İncelenmesi". *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6 (24), 258-267.
- Nalbantoğlu, H. (1987). T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet işleri Genel Müdürlüğü, Ankara. Yazılı soru önergesi, Sayı: L.Ö5-01/O64/2356 Ankara, 357.
- Nawroozî, A.A. (1971). "Seismotectonics of the Persian Plateau, Eastern Turkey Caucasus and Hindikush region". *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 61, 317-341.
- Ohta, Y., Ohashi, H., Ergunay, O., and Tabban, A. (1985). Strong Ground Motion Seismology (edited by: Mustafa Ozder Erdik and M. Nafi Toksöz), Seismic Intensity and its Applications to Engineering: A Study in Turkey, *Springer-Science+Business Media*, S.v. 385-405.
- Penirci, O., Demirtaş, R., ve Yağyemez, B. (2011). Erzurum ili Büyük Şehir Belediyesi Yerleşim Alanının 1/5000 Ölçekli Nazım İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu, Zetem Mühendislik. (Yayımlanmamış).
- Pınar Erdem, N., ve Lahn, E. (1952). *Türkiye Depremleri İzahlı Kataloğu*. Bayındırlık Bakanlığı, Yapı ve İmar İşleri Reisliği, 36 (6).
- Sertel, E., Demirel, H., Kaya, S., ve Demir, I. (2008). Spatial Prediction of Transport Related Urban Air Quality, 805-810.
- Sözbilir, H., Sümer, Ö., Uzel, B., Tepe, Ç., Softa, M., Eski, S., Babayiğit, G., Turan, R., Karaş, M., ve Koşum, Ş. (2015). "İzmir Kenti İçinden Geçen Diri Faylarda Fay Sakınım Bandı/Yüzey Faylanması Tehlikesi Kuşağı Oluşturma Kriterleri". 3. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Ankara. 1-14 .
- Şaroğlu, F. (1985). *Doğu Anadolu'nun Neotektonik Dönemde Jeolojik ve Yapısal Evrimi*, (Yayımlanmamış Doktora Tezi), TPAO Rapor No. 504, İstanbul: İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., ve Boray, A. (1987). *Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri*, (Rapor No: 8174), Ankara: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., ve Kuşcu, İ. (1992). Türkiye Diri Faylar Haritası. *MTA Dergisi*, 99-125.

- Şaroğlu, F., ve Yılmaz, Y. (1986). Geological Evolution and Basin Models During Neotectonic Episode in the Eastern Anatolia. Bulletin of the Mineral Res. and Exploration, 107, 70-93.
- Şengör, A.M.C., and Yılmaz, Y. (1983). “Türkiye’de Tetis’in Evrimi: Levha Tektoniği Açısından Bir Yaklaşım”, Ankara: *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*.
- Tabban, A. ve Gencoğlu, S. (1975). *Deprem ve Parametreleri*, T.C. İmar ve İskân Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara.
- Tağıl, Ş., ve Alevkayalı, Ç. (2013). “Ege Bölgesi’nde Depremlerin Mekânsal Dağılımı: Jeostatistiksel Yaklaşım”. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6 (28), 369-379.
- Tanrıverdi, K. (1971). *Erzurum (Söylemez) Yöresinin Jeolojisi ve Petrol Olanakları*, (Rapor No: 6239), Ankara: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü.
- Tarhan, N., Deveciler, E., Kalabalık, N. N., Akdoğan, E., Çolak, T. ve Kar, H., (1992). *Aşkale-Çat (Erzurum) Dolayının Jeolojisi*, (Rapor No: 9447), Ankara: MTA Genel Müdürlüğü.
- Tozlu, S. (2000). Erzurum Tarihinde Depremler, *Tarih Boyunca Doğu Anadolu’da Doğal Afetler ve Semineri*, 93.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2018 Yılı Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Erzurum İl Nüfusu, 23.04.2019 tarihinde <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist> adresinden erişildi.
- Walford, N. (2011). “Practical Statistics for Geographers and Earth Scientists”. *Wiley-Blackwell*, Oxford.
- Yanık, K., ve Eravcı, B. (2011). *2010 Deprem Yıllığı*, T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 179.
- Yapıcı, H. (2015). “Tarih Boyunca Erzurum’da Meydana Gelen Zلزeleler”. *Mavi Atlas*, 5, 15-20.
- Yarbaşı, N., Kadirov, A., ve Bayraktutan, M. S. (2003). “Erzurum Şehir Merkezi Batı Kesimi Jeoteknik Haritasında Kullanılan Kriterlerin İstatistiksel Analizi (Erzurum)”, *Atatürk Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2, 211-219.
- İnternet kaynakları*
- Url-1, 1900’den günümüze aletsel ölçümlerle kaydedilen depremler (<https://www.afad.gov.tr/tr/23792/Aciklamali-Afet-Yonetimi-Terimleri-Sozlugu?kelime=aletsel+d%C3%B6nem+depremleri>).
- http://erzurumportali.com/shf2757Erzurum_Tarihinde_Can_Ve_Mal_Kaybina_Neden_Olan_En_Siddetli_3_Deprem [Son erişim: 25.06.2018].

http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/wpcontent/uploads/2017/05/2017_05_11_2058_Azize_Erzurum_ML_5.pdf [Son erişim: 25.06.2018].

https://www.dask.gov.tr/content/pdf/2005_dask_faliyet_raporu.pdf [Son erişim: 15.10.2018].

[https://www.afad.gov.tr/tr/2318/UDAP-Ulusal-Deprem-Arastirma-Programı](https://www.afad.gov.tr/tr/2318/UDAP-Ulusal-Deprem-Arastirma-Programi) [Son erişim: 18.10.2018].

[https://www.afad.gov.tr/tr/23792/Aciklamali-Afet-Yonetimi Terimleriozlugu?kelime=aletsel+d%C3%B6nem+depremleri](https://www.afad.gov.tr/tr/23792/Aciklamali-Afet-Yonetimi-Terimleriozlugu?kelime=aletsel+d%C3%B6nem+depremleri) [Son erişim: 12.03.2019].

<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/> [Son erişim: 25.03.2019].

<https://erzurumobm.ogm.gov.tr/erzurumOIM/Sayfalar/default.aspx> [Son erişim: 22.04.2019].

<http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist> [Son erişim: 22.04.2019].