



ERZİNCAN OVASI VE ÇEVRESİNİN DEPREMSELLİĞİ İLE DEPREMLERİN
MEKÂNSAL VE YOĞUNLUK ANALİZLERİ

*Seismicity of Erzincan Plain and Surroundings and Spatial and Intensity Analysis of
Earthquakes*

Ahmet UYSAL¹ ve Murat SUNKAR²

¹Dr., Emniyet Genel Müdürlüğü, Antalya Emniyet Müdürlüğü, Antalya, Türkiye, ahmet-uysal33@hotmail.com, orcid.org/0000-0001-9293-166X

²Prof. Dr., Fırat Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimler Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Elazığ, Türkiye, msunkar@firat.edu.tr, orcid.org/0000-0002-4479-5023

Araştırma Makalesi/Research Article

Makale Bilgisi

Geliş/Received:

13.03.2024

Kabul/Accepted:

21.05.2024

DOI:

10.18069/firatsbed.1451933

Anahtar Kelimeler

Erzincan Ovası,
Depremsellik, Mekânsal
analiz

ÖZ

Bu çalışmada, Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Fırat Bölümü'nde yer alan Erzincan Ovası ve çevresinin depremselliği incelenmiştir. Erzincan Ovası, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde gelişmiş tektonik kökenli bir ovadır. Bununla birlikte ovanın kuzeyinde KD-GB doğrultulu Kuzey Doğu Anadolu Fayı (KDAF) ve ova güneydoğusunda Ovacık Fayı (OF) ovanın gelişimini etkilemiştir. Tektonik olarak adeta fayların kesişme kavşağında yer alan Erzincan Ovası'nda geçmişten günümüze afet boyutunda etkili olan büyük depremler yaşanmıştır. Bu yıkıcı depremlerin 17'si tarihsel dönemde, 2'si aletsel dönemde (1939 ve 1992 Erzincan depremleri) meydana gelmiştir. Ova çevresinin bu durumu dikkate alınarak aletsel dönemde meydana gelen ve büyüklüğü $M_w \geq 4$ olan 46 deprem verisi kullanılarak mekânsal ve yoğunluk analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre yıkıcı depremler KAFZ üzerinde kurulan Erzincan ve çevresinde, orta ve hafif şiddetli depremlerin ise ovanın doğusu ve güneydoğusunda yoğunlaştığı belirlenmiştir. Şiddetli depremlerin Erzincan ve çevresinde yoğunlaşması, bu alanlarda riskin yüksek olduğunu göstermektedir. Bu nedenle yeni yerleşme alanlarının ana fay zonu dışında, zemin açısından daha uygun olan Erzincan Ovası'nın batısındaki hafif eğimli düzlüklere kurulması gereklidir.

ABSTRACT

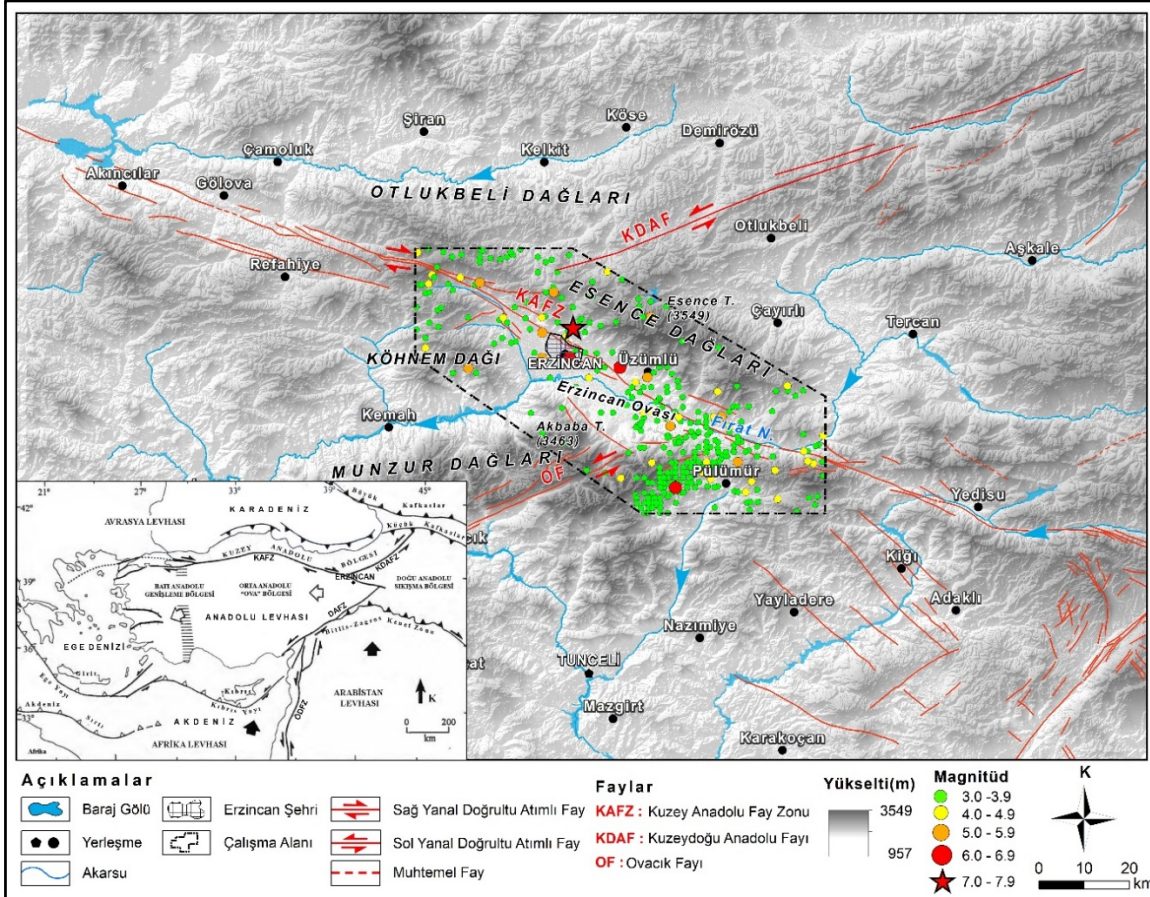
In this study, the seismicity of the Erzincan Plain and its surroundings, which are part of the Upper Euphrates Section in the Eastern Anatolia Region was investigated. Erzincan Plain is a tectonic plain developed on the North Anatolian Fault Zone (NAFZ). However, the NE-SW trending North-East Anatolian Fault (NEAF) in the north of the plain and the Ovacık Fault (OF) in the southeast of the plain affected the development of the plain. The Erzincan Plain, which is tectonically located at the intersection of faults, has experienced large earthquakes that have been effective in the past to the present. Seventeen of these devastating earthquakes occurred in the historical period and two in the instrumental period (1939 and 1992 Erzincan earthquakes). Severe earthquakes have occurred that seventeen of these earthquakes occurred in the historical period and two in the instrumental period. Considering this situation of the plain environment, spatial and intensity analyses were performed using 46 earthquake data with a magnitude of $M_w \geq 4$ that occurred in the instrumental period. Based on the analysis, destructive earthquakes are concentrated in and around Erzincan, situated on the NAFZ. Moderate and low-intensity earthquakes, on the other hand, are more common in the east and southeast of the plain. The high concentration of severe earthquakes around Erzincan indicates a high risk in these areas. Therefore, it is advisable to establish new settlement areas outside the main fault zone, on gently sloping plains to the west of the Erzincan plain, which are more suitable in terms of ground.

Atıf/Citation: Uysal, A. ve Sunkar, M., (2024). Erzincan Ovası ve Çevresinin Depremselliği ile Depremlerin Mekânsal ve Yoğunluk Analizleri. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 34, 2, 419-436.

Sorumlu yazar/Corresponding author: Ahmet UYSAL, ahmet-uysal33@hotmail.com

1. Giriş

Erzincan Ovası, Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Fırat Bölümü'nde, KAFZ tarafından denetlenen, ortalama yükseltisi 3000 m'yi bulan dağlık alanlarla çevrelenmiş bir tektonik ovadır. Daha geniş ölçekte Erzincan Havzası olarak da adlandırılan bu alan Kuzey Anadolu Fayı (KAF) tarafından denetlenen tektonik bir havzadır. Ova oluşum bakımından çek-ayır havza özelliğinde olup ortalama 1150-1200 m yükseltileri arasında yer almakta ve 600 km²'lik alan kaplamaktadır (Şekil 1). Ovanın kuzeyindeki Esence Dağları ile güneyindeki Munzur Dağları iki farklı orojenik kuşağa dâhil olup ova doğusunda kesişecek şekilde birbirine yaklaşımaktadır. Bu dağlık alanlar ile ova arasında litolojik farklılık ve tektonik hareketler nedeniyle ortalama 2000-2300 m nisbi yükselti farkı meydana gelmiştir (Uysal ve Sunkar, 2022).



Şekil 1. Erzincan Ovası ve çevresinin lokasyon haritası (Faylar Emre ve diğ., 2013'den faydalanılarak çizilmiştir).

Erzincan Ovası, KAFZ üzerinde fayların hareketine bağlı olarak oluşmuş, bu fay üzerinde sıralanan ova ve havzaların en doğusunda yer alan ve gelişimini sürdüren, kalın tortul malzemenin bulunduğu pull-apart havzadır (Eyidoğan, 1993; Temiz 2004). Bu havzanın doğusunda yer alan Tercan Ovası, Erzincan Ovası'na göre 200 m daha yüksekte yer almakta olup Sansa Boğazı ile birbirine bağlanmaktadır. Boğazın çıkışında 2 taraça seviyesinin belirgin olması Erzincan Ovası'nda çökmenin devam ettiğini göstermektedir (Keçer, 1985). Bu durum aynı zamanda bölgesel yükselmeyi de doğrulamaktadır. Bu şekillenme ve yükselmeye ovanın oluşumunu sağlayan KAF'nın etkisi belirgin olmakla birlikte KD-GB doğrultulu KDFAF ve ova güneydoğusundaki OF'nin da etkisi bulunmaktadır.

Erzincan Ovası'nın konumu ve bu alandaki yıkıcı depremler nedeniyle çok sayıda jeolojik ve jeomorfolojik araştırmalar yapılmıştır (Akkın 1964; Keçer 1985; Barka 1992; Tüysüz 1992; Temiz 2004). Ova bir bütün olarak Akkan (1964) tarafından ele alınarak jeomorfolojik özellikleri incelenmiştir. Bu araştırmada ovanın bir depresyon karşılık geldiği, kuzey ve güneydeki dağların yapısal ve jeomorfolojik olarak farklı özellikler gösterdiği, ovardaki volkanik faaliyetler ve taraçalar ile ilgili detaylı değerlendirmeler yapılmıştır. Daha sonra

KAFZ boyunca görülen kubbe şekilli 14 volkanik tepenin dom özelliğinde bazaltik-andezit, andezit, dasit ve riyolit bileşimlerinden oluştuğu ve K-Ar yaş verilerine göre 102-140 bin yıl önce oluştuğu belirlenmiştir (Karslı 2006).

Erzincan Ovası ve çevresi yüksek deprem riski nedeniyle birçok araştırmaya konu olmuştur. Bu araştırmalardan doğrudan Erzincan kent merkezini konu alan Özşahin ve Eroğlu (2019) tarafından hazırlanan çalışmada Erzincan'ın yerel zemin şartlarının deprem duyarlılığına etkisi analiz edilmiştir. Bu analiz sonucuna göre kentin yüksek deprem duyarlılığına sahip olduğu belirlenmiştir. Duyarlılık çalışmaları dışında özellikle 1939 ve 1992 Erzincan depremlerini konu alan çok sayıda makale ve tez hazırlanmıştır (Kaypak ve Eyidoğan 2005; Haçın 2014; Aslan 2015; Orhan 2019; Aktaş 2020; Emre ve diğ., 2021).

Bu çalışmada ise mevcut literatürden farklı olarak Erzincan Ovası ve çevresinde meydana gelen aletsel dönem depremlerinden 4 ve daha büyük deprem verileri kullanılarak mekânsal ve yoğunluk analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre depremlerin ovada KAF'a paralel hatlar üzerinde yoğunlaştığı, Erzincan kenti ile çevresinde kümelendiği tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Erzincan Ovası ve çevresi Türkiye'de deprem açısından en riskli alanlardan biri olduğundan duyarlılık analizlerinin yapılması afet planlaması açısından önemlidir. Bu amaçla Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM) deprem kataloğu kayıtlarındaki deprem verileri ve Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'nın (AFAD) verileri kullanılarak dağılım ve yoğunluk analizleri yapılmıştır. BDTİM deprem verileri 01.01.1900-03.05.2023 tarihleri aralığında, magnitüdü 1-9 ve derinliği 0-90 km arasında olan veriler ile sınırlandırılmıştır. Ancak Magnitüdü 4'den küçük olan depremlerin çok fazla olması, hafif şiddetli ve hasar oluşturmaması nedeniyle $M_w \geq 4$ olan depremler analize dâhil edilmiştir. Bu değerden daha küçük depremlerin analize dahil edilmesi durumunda yoğunluk noktaları ana fay zonları dışına kayarak hatalı sonuçlar çıkmaktadır. Analizlerde Coğrafi Bilgi Sistemleri, entegre bir sistem olarak kullanılmış olup deprem verileri ArcGIS Desktop 10.4.1 programında UTM koordinat sistemine dönüştürülerek kullanılmıştır. Bu çalışmada temel altlık olarak 10 m izohips verisinden ArcGIS Spatial Analiz, Interpolation-Topo to Raster Modülü kullanılarak üretilen 10 m çözünürlüğünde Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisi kullanılmıştır. Jeoloji haritası Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'ne (MTA) ait 1/100000 ölçekli Erzincan I42, I43, I44, J43, J44 jeoloji paftaları sayısallaştırılarak oluşturulmuştur.

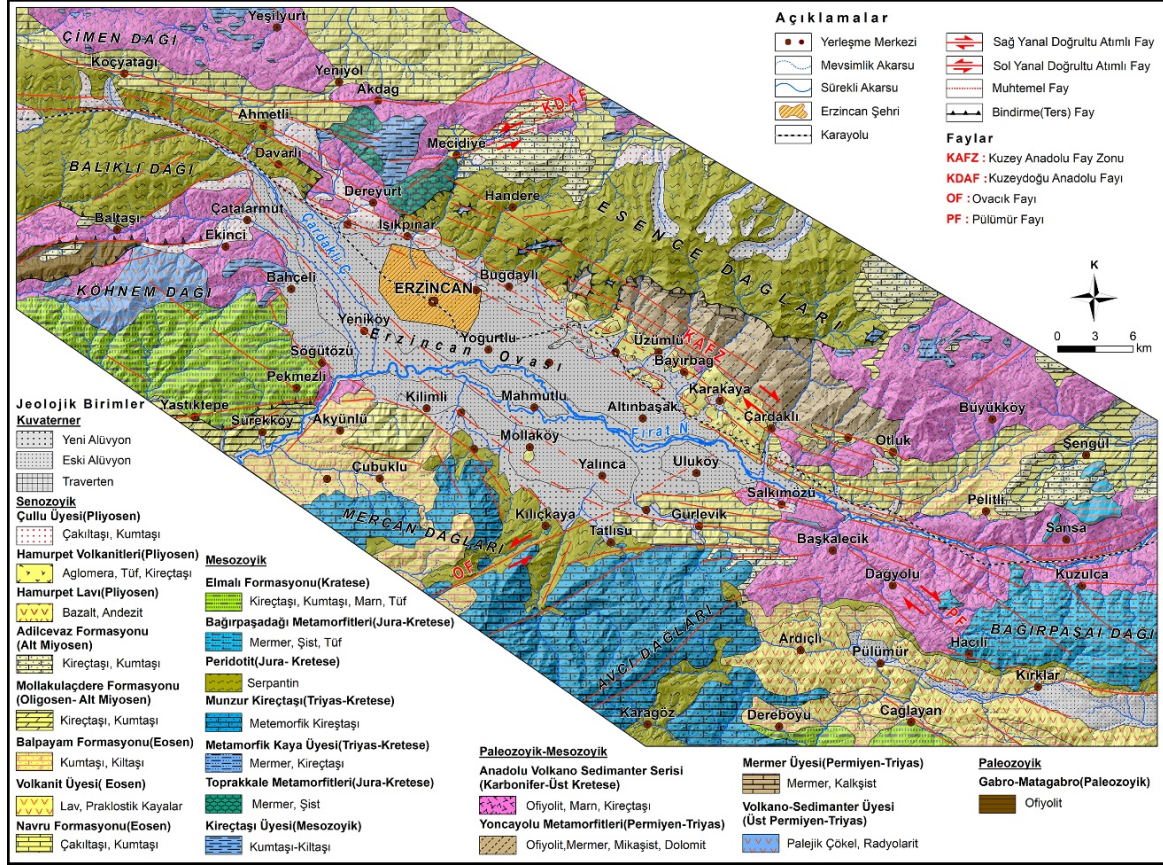
Deprem analizleri kapsamında mekânsal ve yoğunluk analizleri yapılmıştır. Mekânsal analizler için $M_w \geq 4$ olan deprem verileri kullanılmıştır. Daha sonra ArcGIS Desktop 10.4.1 programında yer alan Mekânsal İstatistik arayüzündeki Episantr, Büyüklük Sınıfı ve Hiposantr Analizi, Standart Uzaklık, Ağırlıklı Standart Uzaklık Ortalama Merkez, Ağırlıklı Ortalama Merkez ve Standart Sapma Elipsi gibi araçlar kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler dışında fay verileri kullanılarak Tampon (Buffer) analizi yapılmıştır. Yoğunluk analizleri için Noktasal Yoğunluk Analizi, Kernel Yoğunluk Analizi, Ortalama En Yakın Komşuluk Analizi, Sıcak-Soğuk Nokta Analizi (Getis-Ord G_i^*) ve Anselin Yerel Moran's I analizleri yapılmıştır. Bu analiz sonuçlarına göre Erzincan Ovası ve çevresinde depremlerin dağılım ve yoğunluğunda ortaya çıkan farklılıklar dikkate alınarak deprem aktivitesinin mekânsal yoğunluğu belirlenmiştir.

3. Erzincan Ovası ve Çevresinin Jeolojik Özellikleri

Jeolojik özellikler bakımından Erzincan Ovası ve çevresi Türkiye'nin en karmaşık bölgelerinden birine karşılık gelmektedir. Çünkü bu alan iki farklı orojenik kuşağın karşı karşıya geldiği, Mesozoyik başından Tersiyer ortalarına kadar farklı okyanus açılma ve kapanma dönemlerinin görüldüğü jeolojik açıdan âdete bir düğün noktası konumundadır. Bu özellikler ile birlikte sahanın jeolojisi, havzanın açılmasına neden olan genç fayların hareketine bağlı olarak daha da karmaşık bir hal almıştır (Tüysüz, 1992).

Ova çevresindeki dağlık alanlar Mesozoyik birimlerinden oluşmakla birlikte batıda Köhnem Dağı üzerinde sınırlı alanlarda Paleozoyik dönemine ait gabro-metagabro birimleri yüzylemektedir. Ovası kuzeyden sınırlandıran ve Kuzey Anadolu orojenik kuşağına dâhil olan Esence Dağları'nda Jura-Kretase dönemi sepantinleri ile Paleozoyik-Mesozoyik metamorfileri, güneyde Munzur Dağları'nda genellikle Mesozoyik (Triyas-Kretase) metamorfik kalker ve neritik kireçtaşları yüzylemektedir. Bu yapısal farklılıklar kuzeydeki topografyanın daha sade, güneydeki topografyanın ise engebeli bir morfolojik özelliğe bürünmesine neden

olmuştur (Akkan, 1964; Tarhan, 2008b). Ovanın doğu, kuzeybatı ve batısında geniş yüzeyleme alanına sahip olan Karbonifer-Üst Kretase yaşlı Anadolu Volkano-Sedimanter Serisi, genel olarak derin denizel pelajik çökeller (kumtaşı, radyolarit, çört), piroklastik kayalar (aglomera, tüfit, volkanik breş) ve lav (andezit, dasit, riyolit) türü kayalardan oluşmaktadır (Bektaş, 1981; Tarhan, 2007a, 2007b; 2008a). Bu birimler dışındaki diğer alanlarda daha çok Tersiyer yaşlı kireçtaşı, kumtaşı çakıltaşı birimleri parçalar halinde yüzeylemektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Erzincan Ovası ve çevresinin jeoloji haritası (Ana faylar Tarhan 2007a, 2007b, 2007c; Tarhan 2008a, 2008b'den faydalanılarak çizilmiştir).

Ova tabanı kalın Kuvaterner alüvyonlarından oluşmakla birlikte kuzeydeki taraçalar eski, bunların güneyinde ise yeni alüvyonlardan meydana gelmiştir. Bu dağılışı dışında ova çevresindeki birikinti koni ve yelpazeleri de yeni alüvyonların yayılış alanlarına karşılık gelmektedir. Esence Dağları'nın litolojik yapısı nedeniyle akarsuların taşıdığı malzeme ovada birikerek 350-500 m kalınlığında alüvyal dolgular gelişmiştir (Irrlitz, 1972; Hempton ve Dunne, 1984; Büyükaşikoğlu, 1992; Bernard ve diğ., 1997; Aktar ve diğ., 2004; Kaypak ve Eyidoğan, 2005; Uysal ve Sunkar, 2022). Ova tabanındaki alüvyonlar dışında genç volkanik çıkışlar, traverten depoları da Kuvaterner birimlerini oluşturmaktadır (Şekil 2).

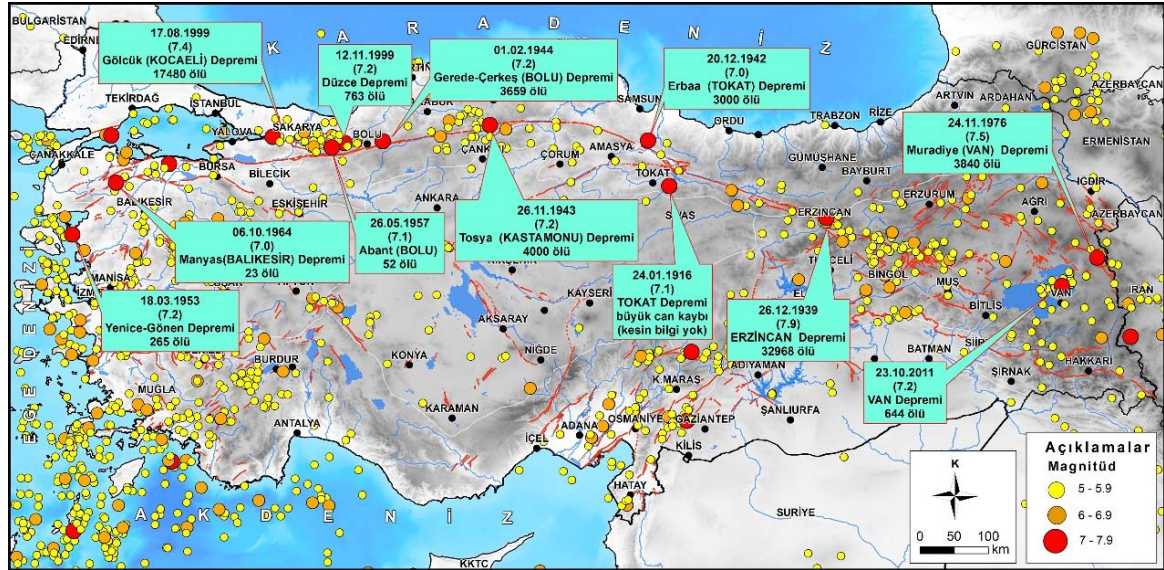
Erzincan Ovası'nı şekillendiren ve en önemli yapısal unsuru oluşturan KAF, KB-GD doğrultulu, sağ yanallı doğrultulu atımlı, birbirine paralel birden fazla kırık siteminden oluşmaktadır (Tatar, 1978; Tüysüz, 1992). Ova kuzeyinde morfolojiye yansımış olan KAF, ova tabanında alüvyonlarla örtülmüştür. Havzada KAFZ'a bağlı olarak Fırat Nehri'nin 35-40 km öteleniği (Barka 1992) hesaplanmış olmakla birlikte fayın kuzey ve güney blokları üzerinde kalan yan kollardaki ötelenmeler dikkate alındığında bu değer 65-70 km'ye çıkmaktadır (Hubert-Ferrari ve diğ., 2002; Şengör ve diğ., 2005; Zabcı, 2012). Ovanın şekillenmesinde KAF dışında ova kuzeyinde KD-GB doğrultulu ve sol yanallı atımlı Kuzeydoğu Anadolu Fayı (KDAF; Barka ve Reilinger, 1997) ve güneydoğuda KD-GB doğrultulu ve sol yanallı atımlı Ovacık Fayı (OF; Arpat ve Şaroğlu 1975) da etkili olmuştur (Şekil 2).

Erzincan Ovası'nın kuzey ve güneyinde Pliyo-Kuvaterner'de zayıf direnç hatları boyunca yüzeye çıkan volkanik malzeme, dom şekilli volkanik tepeler oluşturmuştur. Ova kuzeyindeki domlar KAF boyunca bir hat şeklinde sayıları yaklaşık 15'i bulurken, güneydekiler 3 adet ile sınırlı kalmıştır. Kuzeyde birikinti yelpazeleri arasında tektonizmanın göze çarpan en önemli ürünleri olan domlar Küçük Çakırman köyünden doğuya doğru Avcılar Köyü'ne kadar yaklaşık 20 km boyunca devam etmektedir. Aynı zamanda domların oluşumunda ovada çapraz fayların gelişimi ile oluşan açılmalar da etkili olmuştur (Boz ve Yılmaz, 2020). Volkanik domlardan alınan kayaç örneklerin kimyasal analiz sonuçlarına göre domların andezit, dasit ve riyolitlerden oluştuğu, bazılarının ise perlitlerden oluştuğu belirlenmişti (Akpınar 2010). Bu volkanik domlar arasında Ekşisu Sazlığının oluştuğu bölgede sıcak su ve maden suyu çıkışları meydana gelmiştir.

Ovanın güneyindeki en büyük volkanik dom yaklaşık 1 km²'lik alan kaplayan Mollaköy yerleşmesinin güneyinde dairesel tabanlı Molla Tepe (1274 m)'dir (Kopar ve Polat, 2020). Bu tepe, ovadan yaklaşık 100 m'lik nisbi yükseltiye sahip olup iki evreli püskürmeler ile oluşmuştur. İlk başta patlamalar ile birlikte riyolitik küller (perlit) yığılmış, daha sonra kuzeyinde ikinci bir riyoit çıkışa bağlı daha yüksek bireysel bir dom gelişmiştir (Aktimur, 1988). Molla Tepe, günümüzde perlit ocağı olarak işletilmektedir (Hayli, 1995). Ovanın güneyindeki diğer önemli volkanik domlar ise Molla Tepe güneyindeki Deliktaş Tepe (1312 m) ve Ortayurt-Ürek köylerinin güneyinde yer alan Pulur Tepe (1303 m)'dir. Ova güneyindeki bu volkanik domlar KAFZ'nin yan kollarında meydana gelen kırıklar üzerinde oluşmuşlardır.

4. Erzincan Ovası ve Çevresinin Depremselliği

Depremler, diğer doğal afetlere göre önceden tahmin edilemeyen ve günümüz teknolojisiyle tahmin edilmesi durumunda bile önlem almak için yeterli zamanın olmadığı bir doğal afettir (Kan ve diğ., 2017; Bexultan, 2021). Depremler kısa süre içerisinde etkili olmaları ve çoğunlukla can ve mal kaybına neden olmaları bakımından diğer afetlerden ayrılmaktadır. Türkiye'de 2022 yılında meydana gelen doğa kökenli 22.982 olayın 21.054'ünü (% 91,61) depremler oluşturmaktadır. İkinci sırada 859 (% 3,74) ile heyelan afeti ve bunu 451 (% 1,96) ile diğer (Fırtına, Dolu vb.) afetler takip etmektedir (AFAD, 2022). Erzincan Ovası'nın konumu ve KAFZ ile olan ilişkisi nedeniyle geçmişten günümüze kadar çok sayıda şiddetli depremler yaşanmıştır. KAF üzerinde yaşanan depremler zincirleme olarak doğudan batıya doğru hareket etmiştir (Zabcı, 2012). Bu depremlere 1939 Erzincan (Mw 7,9), 1942 Niksar-Erbaa (Mw 7,0), 1943 Tosya-Lâdik (Mw 7,2) 1944 Bolu-Gerede (Mw 7,2), 1957 Bolu-Abant (Mw 7,1), 1967 Adapazarı (Mw 6,8), 1992 Erzincan (Mw 6,8), 1999 İzmit depremi (Mw 7,4), Düzce depremleri (Mw 7,2) örnek verilebilir (Şekil 3). Bu depremlerde çok sayıda can ve mal kayıpları yaşanmış olup yaklaşık 900 km'lik yüzey kırığı oluşmuştur (Barka ve diğ., 2002; Emre ve diğ., 2016; Arslan, 2020).



Şekil 3. Türkiye ve yakın çevresinde 1900-2023 yılları arasında aletsel dönemde Mw ≥ 5 ve üzeri depremler ile KAFZ üzerindeki önemli depremlerin dağılışı (Depremler Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi kayıtlarından, faylar Emre ve diğ., 2013'den faydalanılarak çizilmiştir).

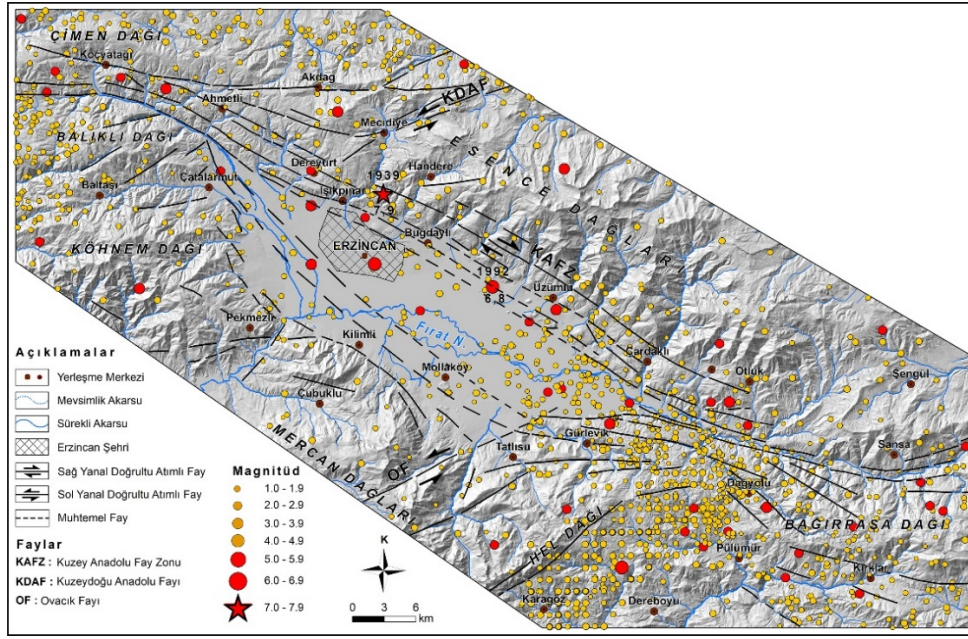
Erzincan kelimesi veya Erzincan kenti adeta depremle birlikte anılır hale gelmiştir. Bu durum üzerinde şehir KAF üzerinde kurulması ve geçmişten günümüze çok şiddetli depremlerin yaşanmasıyla ilgilidir. Tarihsel dönem içerisinde Erzincan ovası ve çevresinde 29 şiddetli depremin yaşandığı bilinmektedir. Bunlardan en yıkıcı olanları 1043 veya 1045, 1254, 1668 yıllarında meydana gelen depremlerdir (Barka ve Gülen, 1989; Grosser ve diğ., 1998; Fraser ve diğ., 2009; Akpınar, 2010; Fraser ve diğ., 2012). Aletsel dönemde (1900-2023) de 5 ve üzeri 14 deprem daha yaşanmıştır (Tablo 1). 27 Aralık 1939 (Mw=7.9) tarihinde yaşanan büyük Erzincan Depremi, can kayıpları bakımından 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremlerinden sonra meydana gelen ikinci en büyük depremdir. 1939 yılındaki deprem, başta Erzincan ve yakın çevresi olmak üzere tüm ülkede hissedilmiş olup ülkenin % 20'sinde hasar oluşturmuştur. Bu depremde Erzincan ve yakın çevresinde 32.968 kişi hayatını kaybetmiş, yaklaşık 100.000 kişi yaralanmış ve 116.720 bina yıkılmıştır (Kurtuluş, 1993; Özşahin ve Eroğlu, 2019). Depremde KAFZ boyunca Karlıova'dan Yalova'ya kadar kırılmalar meydana gelse de asıl kırılmalar Erzincan Ovası doğusunda yer alan Sansa Boğazı'ndan batıya doğru Ezinepazarı'na (Amasya) kadar yaklaşık 400 km uzunluğundaki alanda yaşanmıştır (Ketin, 1969; Fraser ve diğ., 2012; Gürsoy ve diğ., 2013). Bu depremde, Erzincan'ın doğusunda kalan Yedisu segmenti (70-80 km) kırılmayıp sismik boşluk olarak kalmıştır (Sözbilir ve diğ., 2020). Bu yüzden bu segmentin kırılma riski daha da artmıştır (Sançar, 2006; Emre ve diğ., 2016). Erzincan Ovası'nda can ve mal kaybına neden olan 12 Kasım 1941 (Mw=6,0) depreminde Erzincan'ın batısı başta olmak üzere Kemah ile Refahiye çevresinde de hasara neden olmuş, 15 kişi hayatını kaybetmiştir (Pinar ve Lahn 1952; Tablo 1).

Tablo 1. Erzincan Ovası ve çevresinde meydana gelen önemli depremler (Mw ≥5).

No	Tarih	Enlem(K)	Boylam(D)	Magnitüd (Mw)	Derinlik (km)	Lokasyon
1	10.12.1930	39.72	39.24	5,7	30	Yastıktepe-Kemah (Erzincan)
2	21.11.1939	39.82	39.71	5,9	80	Turnaçayırı-Cayırlı (Erzincan)
3	27.12.1939	39.80	39.51	7,9	20	Kurutilek- (Erzincan)
4	29.12.1939	39.89	39.27	5,2	10	Ağlözü- (Erzincan)
5	22.04.1940	39.62	39.89	5,4	20	Ocakbaşı-Üzümlü (Erzincan)
6	08.11.1941	39.70	39.70	5,6	30	Üzümlü (Erzincan)
7	08.11.1941	39.74	39.50	6,0	5	Erzincan
8	12.11.1941	39.74	39.43	5,9	70	Yeniköy- (Erzincan)
9	18.11.1983	39.79	39.43	5,0	37	Keklikkayası- (Erzincan)
10	13.03.1992	39.87	39.46	5,1	34	Akdağ-Kelkit (Gümüşhane)
11	13.03.1992	39.72	39.63	6,8	23	Günebakan- (Erzincan)
12	15.03.1992	39.53	39.93	5,8	29	Dağyolu-Pülümür (Tunceli)
13	27.01.2003	39.48	39.77	6,1	10	Sağlamtaş- Pülümür (Tunceli)
14	30.07.2009	39.60	39.75	5,0	33	Girlevik- (Erzincan)

Kaynak: Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü verileri.

1939 depreminden sonra 13 Mart 1992 (Mw=6.8) Erzincan depremi ikinci en büyük depremi oluşturmaktadır (Tablo 1; Şekil 4). Bu depremde en fazla Erzincan şehri, Üzümlü ve yakın çevresindeki kırsal yerleşmeler etkilenmiş olup komşu illerden Tunceli de etkilemiştir. Depremde yaklaşık 653 kişi hayatını kaybetmiş, 4.000 kişi yaralanmış ve yaklaşık 20.000 binada hasar meydana gelmiştir (DAE, 1992; Özşahin ve Eroğlu, 2019; Tablo 1; Şekil 4). Deprem, Erzincan'ın kuzeyinde KAFZ'ın 45 km'lik bir segmentini kırmış olup 20 cm'lik sağ yönlü yatay ve 25 cm'lik düşey yer değiştirme meydana gelmiştir (Demirtaş, 2019). Son yüzyılda yaşanan deprem afeti sonucunda Erzincan kenti, en az 5 kez yer değiştirmek zorunda kalmıştır (Hayli, 1995). Özellikle yıkıcı depremlerin olduğu yıllarda insanlar çevredeki il ve ilçelere göç ettikleri için nüfus miktarı değişmiştir.



Şekil 4. Erzincan Ovası ve çevresindeki depremlerin ($M \geq 1$) dağılışı (1900-2023) (Depremler Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi'nden, Ana faylar Tarhan 2007a, 2007b, 2007c; Tarhan 2008a, 2008b'den faydalanılarak çizilmiştir)*.

5. Bulgular

Deprem analizleri kapsamında mekânsal ve yoğunluk analizleri yapılmış, analiz sonuçlarına göre depremlerin Erzincan çevresinde ve doğuda yoğunlaştığı belirlenmiştir. Ayrıca analiz edilen depremlerin 32'sinin M_w değerleri 4-4.9 arasında, geri kalan 13'ü 5-6.9 arasında 1'i ise 7-7.9 büyüklük sınıfında kalmaktadır.

5.1. Mekânsal Analizler

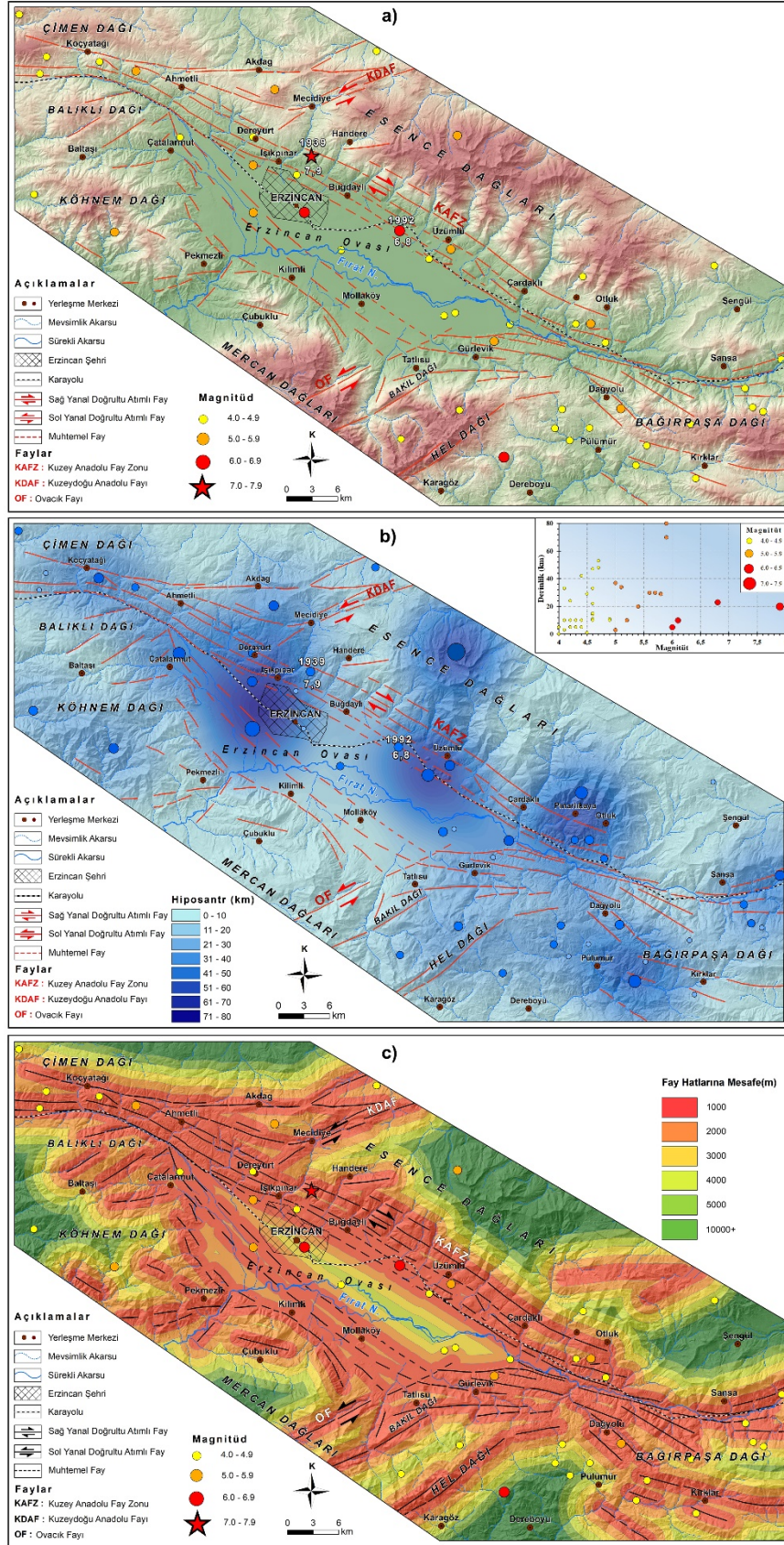
Mekânsal analizler, sayısal verilerin bilgisayar ortamına aktarılarak sorgulama ve görüntüleme işlemlerinden sonra, mekânsal olarak kümelenen verilerin farklı metotlar ile haritalanarak gösterimine dayalı bir analiz yöntemidir (Aronoff, 1991). Mekânsal analizler, Jeologlar, Botanikçiler ve Coğrafyacılar tarafından her geçen gün artan oranda kullanılmaktadır. Bu makalede de Erzincan Ovası ve çevresinde şiddetli depremlerin dağılışı belirlemek amacıyla episantr, büyüklük sınıfı ve hiposantr analizleri, ortalama merkez ve ağırlıklı ortalama merkez, standart uzaklık ve ağırlıklı standart uzaklık, standart sapma elipsi analizleri ile faylar kullanılarak tampon (buffer) analizleri yapılmıştır.

5.1.1. Episantr, Hiposantr ve Tampon (Buffer) Analizleri

Erzincan Ovası ve çevresinde meydana gelen depremlerin episantr dağılımları KAF'ın segmentleri üzerinde çizgisel yakın bir dağılım göstermektedir. Bu dağılım şiddetli depremlerin ova kuzeyinde ve KAFZ üzerinde meydana geldiğini göstermektedir. Depremlerin episantr dağılımı KAFZ dışında, Ovacık Fay Zonu (OFZ) boyunca çizgisel yoğunluk göstermektedir. KDFAF büyük bölümü inceleme alanı dışında kaldığından bu zonun üzerindeki dağılım tam olarak belirlenememiştir. KAFZ ve OFZ dışında çizgisel dağılım özelliği bozularak dağınık bir yayılım deseni ortaya çıkmaktadır (Şekil 5a).

Analiz edilen depremlerin derinlikleri genellikle 0-10 km arasında olup sığ odaklı depremlere karşılık gelmektedir. Büyüklüğü $M_w \geq 5$ olan bazı depremlerin (21 Kasım 1939 tarihinde oluşan Turnaçayırı-Çayırılı (Erzincan) depremi) derinlikleri 80 km'ye kadar ulaşmaktadır. Yıkıcı depremlerden olan 27 Aralık 1939 depreminin derinliği 20 km, 13 Mart 1992 depreminin ise 23 km'dir. Hiposantr analizi sonuçlarına göre depremlerin derinliği ile yoğunluğu arasında kısmen paralel bir ilişki gözlenmektedir (Şekil 5b).

* Bu haritadan sonra kullanılan haritalardaki deprem verileri ve faylar bu kaynaklardan alınmıştır.



Şekil 5. Erzurum Ovası ve çevresindeki depremlerin ($M \geq 4$) dağılışı haritası (1900-2023). a) Depremlerin episantr dağılışı, b) Depremlerin hiposantr yoğunluk dağılışı ve c) Tampon (buffer) analizi haritası.

Tampon (Buffer) analizi, ArcGIS aracılığıyla referans olarak belirlenen çizgi özelliğine sahip herhangi bir coğrafi uzaklığın çevresinde bulunan yeni bir tampon bölge oluşturularak uzaklıkları ölçüsünde sorgulanmasıdır. Fay hatları dikkate alınarak yapılan bu analizde depremlerin sık meydana geldiği diri fayların çevresinde yerleşmeler için riskli zonlar belirlenmektedir (Sözbilir ve diğ., 2015; Kuşçu ve diğ., 2019). Aynı zamanda fay hatlarından uzaklaştıkça belirlenen zonlar sayesinde güvenli alanları da belirlenmek mümkündür. Böylece depreme karşı riskli ve güvenli alanlar dikkate alınarak planlama yapmak mümkündür.

Erzincan Ovası ve çevresindeki aktif faylar dikkate alınarak yapılan tampon analizinde, fay hatlarına çok yakın olması nedeniyle 1000 m'lik mesafe kullanılarak analiz yapılmıştır. Bu zondan sarı ve koyu yeşile doğru gidildikçe deprem riski kademeli olarak azalmaktadır (Şekil 5c). Bu analize göre deprem riskinin en yüksek olduğu alanlar Erzincan ve yakın çevresi olup gelecekteki şiddetli depremlerin bu alanda etkili olacağı düşünülmektedir. Ovadaki nüfusun büyük bölümünün de bu kuşak üzerinde yer alması afet açısından önlem alınması gerekliliğini doğurmaktadır.

5.1.2. Ortalama Merkez ve Ağırlıklı Ortalama Merkez Analizi

Ortalama merkez analizinde, bütün deprem noktaları X ve Y koordinatlarına göre ortalama konumu hesaplanır. Böylece depremlerin mekânsal olarak orta noktaları belirlenmektedir (Şekil 6). Ortalama merkez analizi aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır (McGrew ve Monroe, 1993; Karabulut, 2014; Kaya ve diğ., 2015).

$$\bar{X}_c = \frac{\sum X_i}{n}, \bar{Y}_c = \frac{\sum Y_i}{n} \quad 1$$

Formüldeki; \bar{X}_c ve \bar{Y}_c , X ve Y noktalarının koordinatlarının ortalama değerlerini, X_i ve Y_i her bir gözlemin koordinat değerini, n ise nokta sayısını ifade etmektedir.

Bazı durumlarda sahada meydana gelen olay ve olguların bireysel etkisi bulunduğundan dağılımın merkezi çözümü için yeterli olmayabilir. Bu durumda ağırlıklı ortalama merkez kullanılmakta olup aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır (McGrew ve Monroe, 1993; Karabulut, 2014; Hepdeniz ve Soyaslan, 2015; Kaya ve diğ., 2015).

$$\bar{X}_{wc} = \frac{\sum f_i X_i}{\sum f_i}, \bar{Y}_{wc} = \frac{\sum f_i Y_i}{\sum f_i} \quad 2$$

Formüldeki; \bar{X}_{wc} , X'in ağırlıklı ortalama merkezi \bar{Y}_{wc} , Y'nin ağırlıklı ortalama merkezi f_i , i noktasının frekansı (ağırlığı)'dır.

Ortalama merkez analizinde deprem noktaları, ağırlıklı ortalama merkez analizinde ise deprem noktaları ile birlikte deprem büyüklükleri de hesaba katılarak yeniden analiz edilmektedir. Bu analiz sonuçlarına göre ortalama merkez noktası 39.66 K enlemi, 39.67 D boylamında olup bu nokta Erzincan'a bağlı Altınbaşak köyü sınırları içinde kalmaktadır. Ağırlıklı ortalama merkez analizi sonucu ise ortalama merkez noktasına yakın konumda olan 39.69 K enlemi, 39.65 D boylamında yer alan Erzincan Ovası'nın doğusunda Altınbaşak ve Mertekli köyleri arasında kalmaktadır. Bu iki analiz sonucunda elde edilen merkez noktalarının birbirlerine çok yakın olması, meydana gelen depremlerin büyüklük ve sıklıklarının benzer olduğunu göstermektedir (Şekil 6).

5.1.3. Standart Uzaklık ve Ağırlıklı Standart Uzaklık Analizi

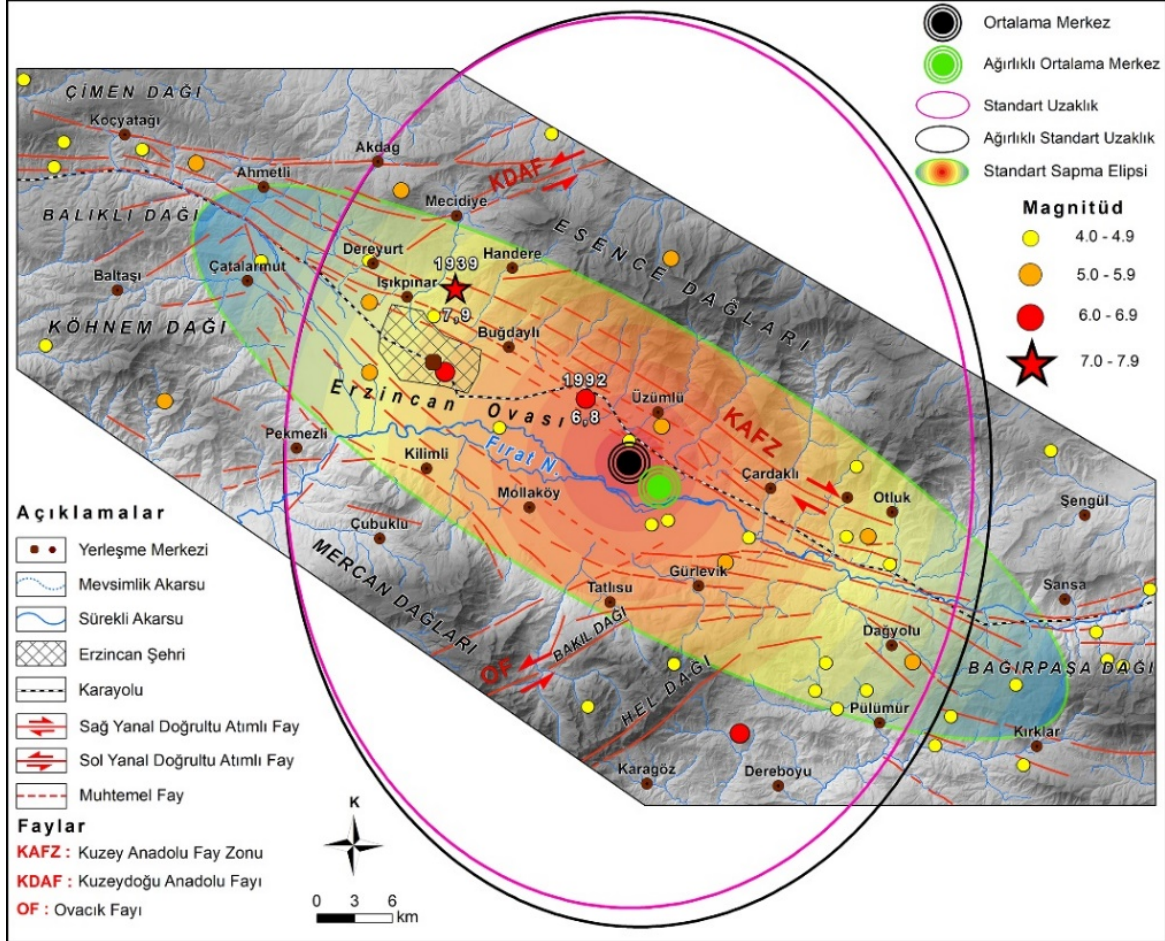
Standart uzaklık, bir sahada oluşan deprem episantr noktalarının dağılımını belirlemek için kullanılmaktadır. Standart uzaklık çemberi geniş olduğunda deprem episantr noktalarının dağınık olduğunu, buna karşılık çember daha dar olursa depremin olduğu noktaların birbirine daha yakın konumda olduğunu göstermektedir. Ağırlıklı standart uzaklık analizi, ağırlıklı ortalama merkez analizinde olduğu gibi deprem noktaları ile birlikte deprem büyüklüğü de hesaplamaya katılarak uzaklık yeniden hesaplanarak analiz edilmektedir (McGrew ve Monroe, 1993; Karabulut, 2014).

$$S_D = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X}_c)^2 + \sum (Y_c - \bar{Y}_i)^2}{n}} \quad 3$$

$$S_{WD} = \sqrt{\frac{\sum f_i (x_i - \bar{X}_c)^2 + \sum f_i (Y_i - \bar{Y}_c)^2}{\sum f_i}} \quad 4$$

Her iki formülde de; \bar{X} ve \bar{Y} , ortalama merkezin koordinatlarını, X_i ve Y_i her bir noktanın koordinat değerlerini, Σf_i ise noktaların ağırlık değerlerini göstermektedir.

Erzincan Ovası ve çevresinin standart uzaklık ve ağırlıklı standart uzaklık analizlerine göre çemberler oval olup birbirlerine benzer formdadırlar. Bunun temel nedeni ise 4'ten büyük olan depremlerin birbirlerine yakın konumda meydana gelmiş olmasıdır. Ovadaki en büyük yerleşmelerden olan Erzincan ve Üzümlü'nün bu çemberlerin içerisinde kalması dikkat çekmektedir (Şekil 6). Kuzey ve güneyde ise bazı depremler dağlık alanların üzerinde meydana gelmiş olduğundan çember incelenen alanın dışına taşarak kuzeyde Otlukbeli (Erzincan), güneyde ise Ovacık (Tunceli) ilçesine kadar genişlemektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Erzincan Ovası ve çevresindeki depremlerin ($M \geq 4$) Ortalama Merkez ve Ağırlıklı Ortalama Merkez Analizi sonuçlarına göre dağılım haritası (1900-2023).

5.1.4. Standart Sapma Elipsi Analizi

Bu analizde depremlerin mekânsal dağılışı ile standart uzaklık analizi sonuçları benzerdir. Fakat dağılımın doğrultusu ve yönünü ortaya koyması bakımından standart uzaklıktan ayrılmaktadır. Bu analizde mesafeler X ve Y yönlerinde ayrı ayrı hesaplanmaktadır (Bakak, 2016). Standart sapma elipsi analizi aşağıdaki formüllere göre hesaplanmaktadır (CrimeStat III, 2005; Chainey, 2005).

$$S_x = \sqrt{2X \frac{\sum \{(X_i - \bar{X}) \cos \theta - \sum (Y_i - \bar{Y}) \sin \theta\}^2}{N - 2}} \quad 5$$

$$S_y = \sqrt{2X \frac{\sum \{(X_i - \bar{X}) \sin \theta - \sum (Y_i - \bar{Y}) \cos \theta\}^2}{N - 2}} \quad 6$$

Bu formülde; SX; X eksenini, SY; Y eksenini, θ elips oryantasyonunu, \bar{X} ve \bar{Y} ise ortalama merkezi göstermektedir.

Standart sapma elipsi analizi sonuçlarına göre oluşturulan haritada depremler KAF'a paralel bir uzanış göstermektedir. Bu nedenle standart sapma elipsi, basık elips şekline sahiptir (Şekil 6). Ovanın merkezi kısımlarında elips hafif şişkince olup doğu ve batıdaki boğazlara doğru sivrilmektedir. Bu şekildeki bir elips hem ovanın şekli hem de KAF'ın segmentlerinin doğrultusu ile uyumludur (Şekil 6).

5.2. Yoğunluk Analizleri

Herhangi bir sahada meydana gelen depremlerin öznitelik bilgilerine göre yoğunluklarını belirlemek için farklı yoğunluk analizleri kullanılmaktadır. Bu makalede de Erzincan Ovası ve çevresinde depremlerin yoğunluğunu belirlemek amacıyla; a) Noktasal Yoğunluk, b) Kernel Yoğunluğu, c) Ortalama En Yakın Komşuluk, d) Sıcak-Soğuk Nokta (Getis-Ord G_i^*) ve e) Anselin Yerel Moran's I analizleri uygulanmıştır.

5.2.1. Noktasal Yoğunluk Analizi

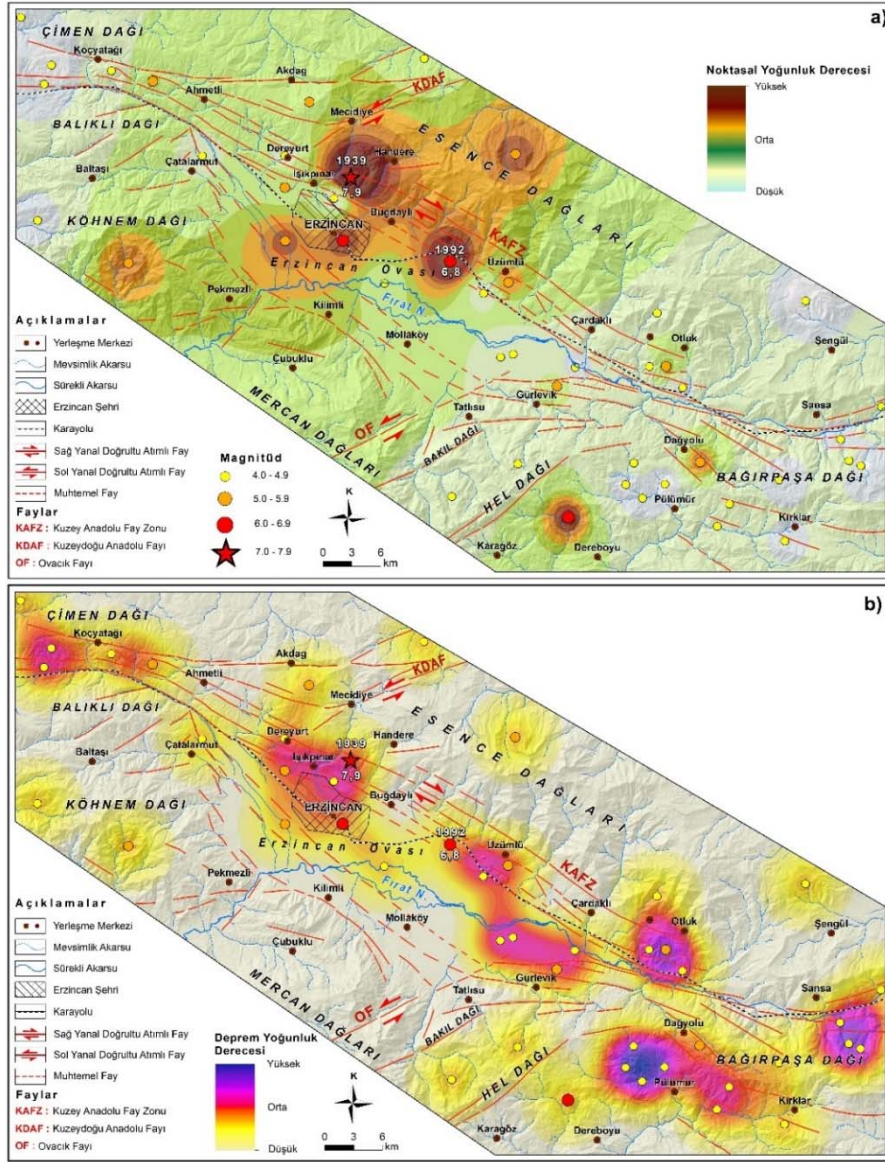
Noktasal yoğunluk analizinde hücre değerleri dairesel bir tarama alanı içinde hesaplamaya tabi tutularak yapılmaktadır. Hesaplama yapılacak alandaki her bir hücre değeri, tarama alanı içindeki nesne sayısı, mevcut alanın büyüklüğüne bölünmesiyle hesaplanmaktadır (Kahraman ve Ünsal, 2014). Bu analiz için incelenen alandaki depremlerin konumları dikkate alınarak büyüklüklerine göre sınıflandırılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre büyük depremlerin birbirine çok yakın mesafelerde meydana geldiği, bu depremlerin Erzincan şehri ile şehrin kuzey ve kuzeybatısında yoğunlaştığı görülmektedir. Kent ve yakın çevresi dışında ova doğusu ve güneyindeki dağlık alanlarda yoğunluk düşmektedir (Şekil 7a).

5.2.2. Kernel Yoğunluk Analizi

Kernel yoğunluk analizi, meydana gelen depremlerin sıklık ve tehlike durumunun belirlenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır (Bailey ve Gatrell, 1995; Woo, 1996; Zuccolo ve diğ., 2013; Tağıl ve Alevkayalı, 2013). Bu analiz, belirlenen bir yarıçapa sahip çember içerisinde bulunan noktaların yoğunluğu ile bu kaynaktan uzaklaştıkça değişen noktasal yoğunluğu ifade etmektedir. Belirlenen alana giren her bir hücre değeri değil örnek bir nokta çevresine dairesel bir alan çizilerek 1'den 0'a doğru olacak şekilde matematiksel bir fonksiyon uygulanır (Gündoğdu, 2010; Kahraman ve Ünsal, 2014). Bu yoğunluk analizi aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır (Al-Ahmadi ve diğ., 2014).

$$f(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x_i}{h}\right) \quad 7$$

Bu analiz sonucuna göre Erzincan Ovası ve çevresindeki depremlerin KAFZ boyunca, ovayı içine alacak şekilde KB-GD doğrultusunda geniş bir zon içerisinde yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 7b). Bu zon hem şiddetli depremlerin görüldüğü hem de fazla can ve mal kayıtlarını yaşandığı bir alana karşılık gelmektedir. Kuzey ve güneydeki dağlık alanlara doğu yoğunluğun düşmesi KAFZ'dan uzaklaşma ve zemin özellikleri ile ilişkilidir.



Şekil 7. Erzurum Ovası ve çevresindeki depremlerin yoğunluk analizi sonuçları (1900-2023). a) Noktasal yoğunluk analizi sonuçları, b) Kernel yoğunluk analiz sonuçları.

5.2.3. Ortalama En Yakın Komşuluk Analizi

Bu analiz özellikle deprem, nüfus, yerleşme ve bitki dağılımlarının analizinde kullanılmaktadır. Bu analizde birbirine en yakın konumda bulunan iki nokta arasındaki mesafenin hesaplanması yapılan tüm noktaların en yakın noktaları ile arasındaki uzunluklarının ortalamasının alınmasıyla elde edilmektedir (Yakar, 2011; Kaya, 2017). Böylece analizi yapılan ortalama mesafe, rastgele dağılım özelliği gösteren ortalamadan daha büyükse, analiz edilen özellikler dağılmış, daha düşükse kümelmiş olarak kabul edilmektedir (Akyürek ve Arslan, 2018).

$$ANN = \frac{\bar{D}_0}{D_E} \quad 8$$

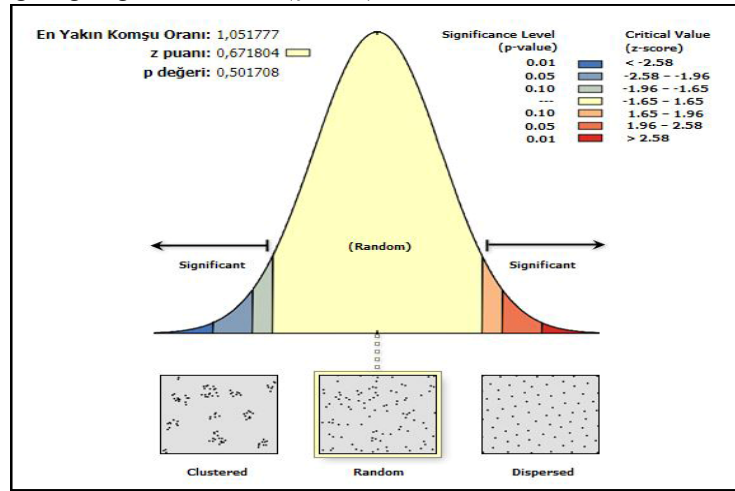
Formülde; \bar{D}_0 , hesaplanması yapılan her bir verinin en yakınında bulunan komşusuyla konumu arasındaki mesafenin ortalaması, d_i , veri setinin komşusuyla olan mesafesidir.

$$\bar{D}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad 9$$

\bar{D}_E , rastgele dağılımda bulunan veri içindeki beklenen ortalama mesafe, n, veri setinin toplam sayısını, A, toplam çalışma alanıdır.

$$\bar{D}_E = \frac{0,5}{\sqrt{\frac{n}{A}}} \quad 10$$

Bu analizde, Z puanı 1.96'dan küçük veya -1.96'dan büyük ise anlamlı dağılım veya kümelenme olduğunu göstermektedir ($p < 0.05$). Z puanının 1.96 ile -1.96 arasında çıkması durumunda verilerin rastgele dağılım sergilediğini göstermektedir (Mitchell, 2005). Bu analiz ile Erzincan Ovası ve çevresindeki depremlerin rastgele (random), kümelenmiş (clustered) ve dağıntık (dispersed) tiplerden hangi mekânsal dağılım içinde kaldığı hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarına göre Z puanı 0,671804 olup bu değere göre analiz edilen depremler rastgele bir dağılım özelliği göstermektedir. Bu durum 4 ve daha büyük depremlerin farklı lokasyonlar ve bölgelerde meydana geldiğini göstermektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Erzincan Ovası ve çevresindeki depremlerin ortalama en yakın komşuluk analiz sonuçları.

5.2.4. Sıcak- Soğuk Nokta Analizi (Getis-Ord G_i^*)

Bu analiz yöntemi, veri seti içindeki sıcak ve soğuk noktaların sınırlandırılan alan içerisinde kümelenme bölgelerini belirlemek için kullanılmaktadır (Ord ve diğ., 1995; Getis ve diğ., 1992). Bu analizde veri setindeki her bir değer için Z skoru hesaplanarak güven aralığı oluşturulmaktadır. Bu analize göre hesaplanan Z skoru değerleri -1 ile +1 arasında değişmekte olup -1'e doğru dağıntık bir dağılımı, +1 ise kümelenme olduğunu göstermektedir. Z skoru değeri "0" (sıfır) ve yakın olursa mekânsal kümelenme azalarak rastgele bir dağılım meydana geldiğini göstermektedir.

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{[n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2]}{n-1}}} \quad 11$$

Formülde; x_j , veri seti içinde bulunan j değerinin özelliğini, $w_{i,j}$ ise, i ve j değerleri arasında bulunan mekânsal ağırlık değerini ifade etmektedir (Al-Ahmadi ve diğ., 2014; Affan ve diğ., 2016).

Bu analiz sonucuna göre Erzincan şehri ve yakın çevresinde sıcak noktalarda anlamlı bir kümelenme görülmekte olup sıcak nokta % 99 güven aralığında bulunmaktadır. Şehir çevresi dışında ise anlamlı bir kümelenme oluşmamıştır. Soğuk noktalar ise büyüklüğü 4 ve daha küçük depremlerin meydana geldiği alanlara karşılık gelmektedir. Ancak analizlere 4'ten küçük depremler dâhil edilmediğinden soğuk nokta analizinde kümelenme bulunmamaktadır (Şekil 9a).

5.2.5. Anselin Yerel Moran's I Analizi

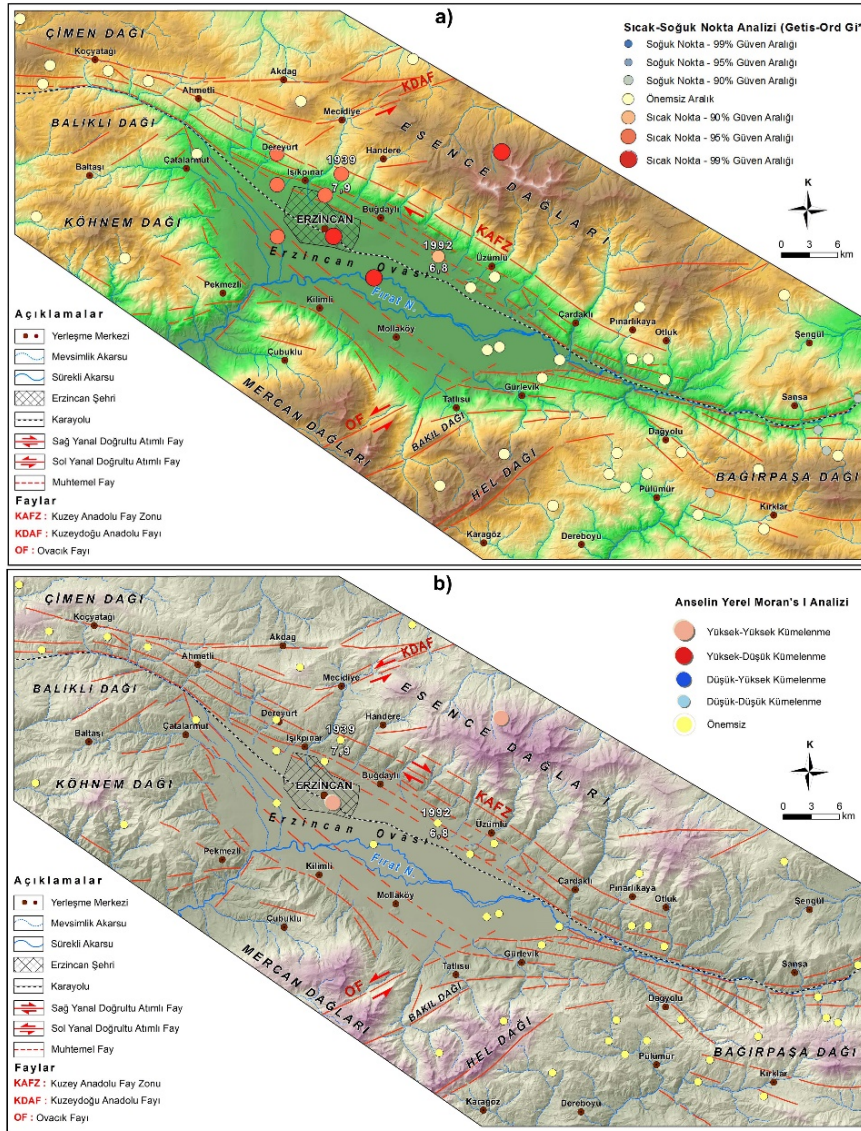
Anselin Yerel Moran'ın I analizi, birbirine benzer ve benzer olmayan değişkenlerin meydana getirdiği kümelenmelerin araştırılmasında kullanılmaktadır. Analize göre düşük I değeri bulunan yerler birbirine

benzemeyen değerlerin oluşturduğu kümelenebilirliği, yüksek I değerine sahip alanlar ise yüksek ya da düşük değerlerin oluşturduğu kümelenebilirlikleri göstermektedir (Yakar, 2011; Akyürek ve Arslan, 2018; Alevkayalı ve Dindar, 2022). Anselin Yerel Moran's I analizi aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır.

$$I_i = \frac{w_i - \bar{X}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij} (x_j - \bar{X}) \quad 12$$

Formülde; x_j , veri içinde bulunan i değerinin özelliği, \bar{X} mevcut değerlerin ortalaması (deprem büyüklüklerinin ortalaması), w_{ij} , i ve j veri noktaları arasında bulunan mekânsal ağırlık değeridir.

Bu analiz sonuçlarına göre Erzincan şehri ve kuzeyde Esence Dağları yüksek-yüksek kümelenebilirliğin olduğu ve büyük depremlerin meydana geldiği alanları, diğer alanlar ise küçük depremlerin meydana geldiği dağınık kümelenebilirlik özelliği gösteren önemsiz sınıflama kategorisindeki alanlara karşılık gelmektedir (Şekil 9b).



Şekil 9. Erzincan Ovası ve çevresindeki depremlerin sıcak-soğuk nokta analizi (a) ve Anselin Yerel Moran's I sonuçları (b).

6. Sonuç

KAFZ üzerinde yer alan Erzincan Ovası'nda geçmişte çok şiddetli depremler yaşanmıştır. Yaşanan depremler ve KAF'ın ova ve çevresindeki aktivitesi dikkate alındığında, Erzincan Ovası ve çevresinin yüksek deprem riskine sahip olduğunu görülmektedir. 1939 Erzincan depreminin merkez üssünün kent merkezinde kalması ve 1992 depreminin Üzümlü'de meydana gelmiş olması Erzincan'da yüksek deprem riskinin devam ettiğini göstermektedir. Ayrıca Üzümlü ile Yedisu arasında kalan Yedisu segmenti üzerinde uzun süreden beri büyük bir deprem meydana gelmemiştir. Bu segment üzerinde meydana gelecek şiddetli bir depremin de Erzincan Ovası ve çevresini etkilemesi mümkündür. Ova ve çevresindeki yüksek deprem riski nedeniyle depremlerin mekânsal ve yoğunluk analizleri yapılarak riskin çok yüksek olduğu alanlar belirlenmiştir.

Mekânsal dağılım analiz sonuçlarına göre şiddetli depremlerin dağılışı ile KAFZ arasında paralellik bulunmaktadır. Bu durum standart sapma elipsi analizinde çok daha net görülmektedir. Bu analiz sonuçlarına göre elipsin şekli ovanın şekli ile birebir uyumludur. Elipsin şekli, şiddetli depremlerin ova içerisinde meydana geldiğini, ova dışında şiddetli depremlerin fazla görülmediğini göstermektedir. Mekânsal dağılım analizleri için kullanılan beş yöntemin sonuçları birbiri ile uyumlu ve birbirini destekler niteliktedir.

Noktasal, Kernel, Sıcak-Soğuk Nokta ve Anselin Yerel Moran'ın I analiz sonuçlarının tamamında depremlerin, Erzincan şehri ve çevresinde yoğunlaştığı belirlenmiştir. Şiddetli depremlerin kent ve çevresinde yoğunlaşması, Erzincan için deprem riskinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak Erzincan şehri, depreme karşı dirençliliği artırılmış olmasına rağmen, fay zonu üzerinde ve zemin açısından yüksek riskli bir alanda kurulmuştur. Son şiddetli depremden sonra 32 yıllık bir sürenin geçmiş olması ve mekânsal analiz sonuçları, ovada yer alan Erzincan ve büyük yerleşmelerin afet riskinin yüksek olduğunu göstermektedir. Bu nedenle yerleşmelerin depreme karşı dirençliliğinin artırılması gereklidir. Bu kapsamda Erzincan için yapılacak en önemli girişim şehrin gelişimini batıda Köhne Dağı eteklerine doğru kaydırmaktır.

Katkı Belirtme

Bu çalışma birinci yazarın doktora tezinin bir bölümünü kapsamakta olup Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından İSBF.22.02 nolu proje olarak desteklenmiştir.

Kaynaklar

- AFAD (2022). 2022 yılı doğa kaynaklı olay istatistikleri. <https://www.afad.gov.tr/afet-is-tatistikleri>. Son erişim 02/02/2024.
- Affan, M., Syukri, M., Wahyuna, L. ve Sofyan, H. (2016). Spatial statistic analysis of earthquakes in Aceh province year 1921-2014: cluster seismicity. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 5(2), 54-62.
- Akkan, E. (1964). *Erzincan Ovası ve Çevresinin Jeomorfolojisi*. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih Coğrafya Fakültesi Yayınları, Sayı: 153, Ankara.
- Akpınar, Z. (2010). *Erzincan Havzasının Tektonik Gelişiminin Paleomanyetik Yöntemlerle Analizi*. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Sivas.
- Aktar, M. Dorbath, C. ve Arpat, E. (2004). The Seismic Velocity and Fault Structure of The Erzincan Basin, Turkey, Using Local Earthquake Tomography. *Geophysical Journal International*, 156, 497-505.
- Aktaş, Y. (2020). Erzincan'da Meydana Gelen Depremler (XI-XV. Yüzyıllar). *Atatürk Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları Enstitüsü Dergisi*, (68), 399-419.
- Aktimur, H. T. (1988). 1/100.000 ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Divriği-F26 Paftası: MTA Yayınları. Ankara.
- Akyürek, Ö., Arslan, O. (2018). Kocaeli İli ve Çevresinde (1900-2016) Yılları Arasında Gerçekleşen Tarihsel Depremlerin Konumsal İstatistik Analizi. *Geomatik*, 3(1), 48-62.
- Al-Ahmadi, K., Al-Amri, A. ve 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.
- Alevkayalı, Ç. ve Dindar, H. (2022). Kıbrıs Adası ve Çevresinde Depremlerin Zamansal ve Mekânsal Dağılımı: Jeostatistiksel Bir Yaklaşım. *Yerbilimleri*, 43 (3), 197-211.
- Aronoff, S. (1991). Geographic Information System: A management perspective. WLD Publ. Ottawa, Canada.
- Arpat, E., ve Şaroğlu, F. (1975). Türkiyedeki Bazı Önemli Genç Tektonik Olaylar. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 18 (1), 91-101.
- Arslan, R. (2020). Ladik Depremi. *Journal of Humanities and Tourism Research*, 10(1), s. 143-160.

- Aslan, Ö. (2015). *13 Mart 1992 Erzincan Depremi Yapısal Hasarları Üzerinde Yerel Zemin Koşullarının Etkisi* İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Bailey, T. C. ve Gatrell, A. C. (1995). *Interactive Spatial Data Analysis*, Essex: Addison Wesley Longman, Harlow.
- Bakak, Ö. (2016). 2005 Sığacık Körfezi (İzmir) Depremlerinin Mekânsal Değerlendirilmesi. *Yerbilimleri*, 37(1), 51-63.
- Barka, A. (1992). The North Anatolian Fault Zone. *Annales Tectonicae (Special Issue)*. Vol. VI. pp. 164-195.
- Barka, A. ve Gülen, L. (1989). Complex Evolution of the Erzincan Basin (Eastern Turkey) and its Pull-apart and Continental Escape Origin, *J. Struct. Geol.*, 11, 275-283.
- Barka, A. ve Reilinger, R. (1997). Active tectonics of the Eastern Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic and seismicity data. <http://hdl.handle.net/2122/1520>
- Barka A., Akyuz H.S., Altunel E., Sunal G., Cakır Z., Dikbas A., Yerli B., Armijo R., Meyer B., de Chaballier J.B., Rockwell T., Dolan J.R., Hartleb R., Dawson T., Christofferson S., Tucker A., Fumal T., Langridge R., Stenner H., Lettis W., Bachhuber J. ve Page W. (2002). The surface rupture and slip distribution of the 17 August 1999 Izmit earthquake (M 7.4), North Anatolian fault. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92, 43-60.
- Bektaş, O. (1981). Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Erzincan-Tanyeri Bucağı Yöresi'ndeki Jeolojik Özellikleri ve Yerel Ofiyolit Sorunları. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Yer Bilimleri Fakültesi. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Yayınları*. Cilt: 32
- Bernard, P., Gariel, J.C. ve Dorbath, L. (1997). Fault Location And Rupture Kinematics of The Magnitude 6.8, 1992 Erzincan Earthquake, Turkey, From Strong Ground Motion And Regional Records. *Bulletin of The Seismological Society of America*, v. 87, no. 5, p. 1230-1243.
- Bexultan, Y. (2021). *Köprülerde Kurşun Çekirdekli Elastomer Mesnet Tasarımı ve Köprü Deprem Davranışı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi*. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Boz D. ve Yılmaz, A. (2020). Erzincan Ovası ve Dolayının Çevre Jeolojisi ve Planlanmasına Bir Yaklaşım. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*. 44. 225-254.
- Büyükaşkoğlu, S. (1992). Erzincan'ın Yeraltı Yapısı, Yerbilimci Gözüyle Erzincan Depremi, Dünü Bugünü Yarını ve Türkiye Deprem Sorunu. Sayfa: 43-51, 15 Aralık 1992, İTÜ, İstanbul.
- Chainey, S. (2005). *Methods and Techiques for Understandeing Crime and Hot Spots*, Special Report (Mapping Crime: Understandeing Hot Spots), USA:National Institute of Justice, (www.ojp.usdoj.gov/nij).
- CrimeStat III, (2005). *CrimeStat III Manual, Chapter 4 Spatial Distribution*, ss.67-85.
- Demirtaş, R. (2019). Kuzey Anadolu Fay Sistemi (KAFS) Diri Fayları ve Deprem Etkinlikleri Paleosismolojik Çalışmalar ve Gelecek Deprem Potansiyelleri, DOI: 10.13140/RG.2.2.36608.69125, file:///C:/Users/Erkan%20AVLAR/Downloads/KAFSfaylar%20(1), Erişim Tarihi: 10.12.2023.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F. (2013). Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara-Türkiye. ISBN: 978-605-5310-56-1.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S. ve diğ. (2016). Active fault database of Turkey. *Bull Earthquake Eng.* 16, 3229-3275.
- Emre, Ö., Kondo, H., Özalp, S., & Elmacı, H. (2021). Fault geometry, segmentation and slip distribution associated with the 1939 Erzincan earthquake rupture along the North Anatolian fault, Turkey.
- Eyidoğan, H. (1993). 13 Mart 1992 Erzincan Depremi: Faylanma Mekanizması ve Depremin Yeri Üzerine Bir Tartışma. 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Sayfa: 404-415, 10 Mart 1993 Ankara.
- Fraser, J., Pigati, J. S., Hubert-Ferrari, A., Vanneste, K., Avsar, U., and Altinok, S. (2009). A 3000-Year Record of Ground- Rupturing Earthquakes along the North Anatolian Fault near Lake Ladik, Turkey, *B. Seismol. Soc. Am.*, 99, 2651-2703, <https://doi.org/10.1785/0120080024>.
- Fraser J. G., Hubert Ferrari A., Verbeeck K., Garcia-Moreno D., Avşar U, ...Venneste K. (2012). A 3000-year record of surface-rupturing earthquakes at Gülanan: variable fault-rupture lengths along the 1939 Erzincan earthquake-rupture segment of the North Anatolian Fault, Turkey. *Ann Geophys*, 55(5):895-927.
- Getis, A., ve Ord, J. K. (1992). The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical Analysis* 24, p.189-206.
- Grosser, H.,Baumbach, M., Berckhemer, H., Baier, B.,... Yılmaz, R. (1998). The Erzincan (Turkey) Earthquake (Ms 6.8) Of March 13, 1992 And İts Afterschok Sequence. *Pure Appl. Geophysics*, 152, 465-505.
- Gündoğdu, G. (2010). *Coğrafi Bilgi Teknolojileri Kullanılarak Trafik Kaza Analizi: Adana Örneği*, (Yüksek Lisans Tezi), Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Adana.

- Gürsoy, H., Tatar, O., Akpınar, Z., Polat, A., Mesci, L., ve Tuncer, D. (2013). New observations on the 1939 Erzincan Earthquake surface rupture on the Kelkit Valley segment of the North Anatolian Fault Zone, Turkey. *Journal Of Geodynamics*, vol. 65, 259-271.
- Haçın, İ. (2014). 1939 Erzincan Büyük Depremi. *Atatürk Araştırma Merkezi Dergisi*, 30(88), 37-70.
- Hayli, S. (1995). *Erzincan Ovası'nın Beşeri ve İktisadi Coğrafyası*. Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Doktora Tezi, Elazığ.
- Hempton, M. R. ve Dunne, L.A. (1984). Sedimentation in Pull-Apart Basins: Active Examples in Eastern Turkey. *The Journal of Geology* 92, 513-530.
- Hepdeniz, K., ve Soyaslan, İ. İ. (2015). Burdur İlinde Meydana Gelen Depremlerin Odak Noktalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) İle 3 Boyutlu Modellenmesi ve Jeostatistiksel Analizi. *Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu*, Burdur, Türkiye, Bildiriler Kitabı, 104-112.
- Hubert-Ferrari, A., Armijo, R., King, G., Meyer, B., ve Barka, A. (2002). Morphology, displacement, and slip rates along the North Anatolian Fault, Turkey. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 107(B10), ETG-9.
- Irritz, W. (1972). Lithostratigraphie und tektonische Entwicklung des Neogens in Nordostanatolien (Kanozoikum und Braunkohlen in der Türkei. 6.). *Beih. Geol. Jahrb.*, No. 120, 111 pp.+10 plates.
- Kahraman, S., ve Ünsal, Ö. (2014). ArcGIS for Desktop Spatial Analysis. ESRI Bilgi Sistemleri Mühendislik ve Eğitim Ltd. Şti., Ankara.
- Kan, Ö. Kaymaz, K., Zengin, B. ve Özcan, M. (2017) Türkiye'deki Depreme Dayanıklı Yapıların Sismik İzolasyon Tiplerinin İncelenmesi, *Munzur Üniversitesi Bilim ve Gençlik Dergisi*, 5/2, 82-100.
- Karabulut, M. (2014). Mekânsal İstatistik Teknikleri. Y. Arı, ve İ. Kaya içinde, *Coğrafya Araştırma Yöntemleri* (s. 433-446). Coğrafyacılar Derneği, Balıkesir.
- Karslı, O. (2006). Pre-eruptive conditions revealed by mega-and pheno-cryst compositions from the Quaternary Erzincan Volcanics, Eastern Turkey: Insights into the magma processes. *Geochemistry*, 66(4), 277-305.
- Kaya, Ö. , Toroğlu, E. & Adıgüzel, F. (2015). 2011 Genel Seçimlerinde Partilerin Aldığı Oy Oranlarının İlçeler Ölçeğinde Mekânsal Analizi. *Coğrafya Dergisi*, (31), 1-13.
- Kaya, S. (2017). *Teke Yöresi Endemik Bitki Dağılımının Mekânsal ve İstatistiksel Analizleri*. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Kaypak, B. ve Eyidoğan, H. (2005). One-dimensional crustal structure of the Erzincan basin, Eastern Turkey and relocations of the 1992 Erzincan earthquake (Ms=6.8) aftershock sequence. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 151(1-2), 1-20.
- Keçer, M. (1985). *Erzincan Ovası ve Çevresinin Jeomorfolojisi*. İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü Jeomorfoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Ketin, İ. (1969). Kuzey Anadolu Fayı Hakkında, *MTA Enstitüsü Dergisi*, Sayı:72, s.1-27, Ankara.
- Kopar, İ, ve Polat, P. (2020). Molla Tepe (Mollaköy-Erzincan) Perlitik Volkan Konisi'nin Jeolojik-Jeomorfolojik Özellikleri ve Molla Tepe Perlitinin Endüstriyel Madde Olarak Değerlendirilmesi. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 24 (3), 1529-1554.
- Kurtuluş, C. (1993). 13 Mart 1992 Erzincan Depremi ve Sonuçları, 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Sayfa: 310-318, 10 Mart 1993, İstanbul, Türkiye
- McGrew, J., ve Monroe, C. B. (1993). *Statistical Problem Solving in Geography*. Wm.C. Brown Communication, Oxford.
- Mitchell, A. (2005). *The ESRI Guide to GIS Analysis, Volume 2*. ESRI Press.
- Ord, J. K. ve Getis, A. (1995). Local Spatial Autocorrelation Statistics: Distributional Issues and an Application. *Geographical analysis*, 27(4), 286-306.
- Orhan, F. (2019). Depremlerin Şehir ve Mesken Mimarisine Olan Etkilerine Coğrafi Bir Bakış: 1939 Erzincan Depremi Örneği. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 23(1), 339-364.
- Özşahin, E., ve Eroğlu, İ. (2019). Erzincan Kentinde Yerel Zemin Özelliklerinin Deprem Duyarlılığına Etkisi. Artvin Çoruh Üniversitesi, Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(1), 41-57.
- Pınar, N. ve Lahn E. (1952). Türkiye Depremleri İzahlı Kataloğu. AKIN Matbaacılık Ltd. Ortaklığı. Ankara.
- Sançar, T. (2006). *Yedisu Fay Segmentinin Paleosismolojik ve Morfotektonik Özellikleri*, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Sözbilir, H., Sümer, Ö., Uzel, B., Tepe, Ç., Softa, M., Eski, S., Babayiğit, G., Turan, R., Karas, 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.
- Sözbilir, H., Tatar, O., Çakır, R., Eski, S., Softa, M., Duran, İ., Akgün, M., Utku, M. ve Koçbulut, F. (2020).

- 14 Haziran 2020 Bingöl-Karlıova Depremi Ön İnceleme Raporu, Dokuz Eylül Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi. Diri Fay Araştırma Grubu.
- Şengör, A. M. C., Tüysüz, O., Imren, C., Sakıncı, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X. and Rangin, C. (2005). The North Anatolian Fault: A New Look. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33, 37-112.
- Tağıl, Ş., ve Alevkayalı, Ç. (2013). Ege Bölgesi'nde depremlerin mekânsal dağılımı: jeostatistiksel yaklaşım. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6 (28), 369-379.
- Tarhan, N. (2007 a). 1:100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Erzincan- İ43 Paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Jeoloji Etütleri Dairesi. No:68. Ankara.
- Tarhan, N. (2007 b). 1:100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Erzincan- İ44 Paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Jeoloji Etütleri Dairesi. No:67. Ankara.
- Tarhan, N. (2007 c). 1:100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Erzincan- J44 Paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Jeoloji Etütleri Dairesi. No:69. Ankara.
- Tarhan, N. (2008 a). 1:100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Erzincan-İ42, Paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Jeoloji Etütleri Dairesi. No:84. Ankara.
- Tarhan, N. (2008 b). 1:100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Erzincan- J43 Paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Jeoloji Etütleri Dairesi. No:89. Ankara.
- Tatar, Y. (1978). KAF Zonunun Erzincan-Refahiye Arasındaki Bölümü Üzerine Tektonik İncelemeler. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Enstitüsü Yayınları*, C: 4, Sayı: 1-2, Ankara.
- Temiz, H. (2004). The role of thrust ramp reactivation in pull-apart mechanism of the Erzincan basin, North Anatolian Fault Zone, Turkey. *Geodinamica Acta*, 17 (3), 219-228.
- Tüysüz, O., (1992), Erzincan Çevresinin Jeolojisi, (Yerbilimci Gözüyle Erzincan Depremi, Dünü-Bugünü-Yarını ve Türkiye Deprem Sorunu, (Derleyen; Ahmet Ercan); İ.T.Ü. Maden Fak. Jeofizik Bölümü ve Jeoloji Müh. Böl. Ortak Oturum Bildirileri, İ.T.Ü. 15 Aralık 1992), İstanbul.
- Uysal, A. ve Sunkar M. (2022). Erzincan Ovası Kuzeyindeki Yerleşmelerin Yer Değiştirmesine Neden Olan Afetler: Sel, Taşkın ve Çamur Akmaları. *Afet ve Risk Dergisi*, 5(2), 693-714.
- Woo, G. (1996). Kernel estimation methods for seismic hazard area source modeling. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol: 86(2), pp: 353-362.
- Yakar, M. (2011). Nüfus Dağılımının Mekânsal Analizi: Afyonkarahisar İli Örneği, *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, Cilt:4, Sayı: 19.
- Zabcı, C. (2012). Kuzey Anadolu Fayı'nın Ilgaz (Çankırı) Doğusunda Kalan Kesiminin Morfokronoloji Tabanlı Son Beşbin Yıllık Kayma Hızı Tarihçesi ve Depremselliği. İstanbul Teknik Üniversitesi Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Katı Yer Bilimleri Anabilim Dalı Doktora Tezi, İstanbul.
- Zuccolo, E., Corigliano, M. ve Lai, C. G. (2013). Probabilistic seismic hazard assessment of Italy using kernel estimation methods. *Journal of Seismol* 17. 1001-1020.

Raporlar

- DAE. (1992). 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Raporu. T.C. İmar ve İskân Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara.

Etik, Beyan ve Açıklamalar

1. Etik Kurul izni ile ilgili;

Bu çalışmanın yazar/yazarları, Etik Kurul İznine gerek olmadığını beyan etmektedir.

2. Bu çalışmanın yazar/yazarları, araştırma ve yayın etiği ilkelerine uydıklarını kabul etmektedir.

3. Bu çalışmanın yazar/yazarları kullanmış oldukları resim, şekil, fotoğraf ve benzeri belgelerin kullanımında tüm sorumlulukları kabul etmektedir.

4. Bu çalışmanın benzerlik raporu bulunmaktadır.
