

Malatya ve Çevresinde Aletsel Dönem (1900-2024) Depremlerinin Mekânsal Analizleri

Ahmet Uysal ¹, Murat Sunkar ², Vedat Avcı ³

¹ Antalya Emniyet Müdürlüğü, Antalya, Türkiye, ahmet-uysal33@hotmail.com

² Fırat Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Elazığ, Türkiye, msunkar@firat.edu.tr

³ Bingöl Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Bingöl, Türkiye, vavci@bingol.edu.tr

Kaynak Göster: Uysal, A., Sunkar, M., & Avcı, V. (2025). Malatya ve Çevresinde Aletsel Dönem (1900-2024) Depremlerinin Mekânsal Analizleri. Geomatik, 10 (2), 218-240.

DOI:10.29128/geomatik.1593289

Anahtar Kelimeler

Malatya
Doğu Anadolu Fay Zonu
Depremsellik
Mekânsal Analiz

Araştırma Makalesi

Geliş: 29.11.2024
Revize: 26.01.2025
Kabul: 07.02.2025
Yayınlanma: 01.08.2025



Öz

Bu çalışmada, Malatya ve çevresinde aletsel dönemde meydana gelen depremlerin mekânsal analizleri yapılmıştır. Malatya, Doğu Anadolu Bölgesi'nin batısında, Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ile Malatya Fay Zonu'nun (MFZ) kesişme alanında yer almaktadır. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri ve sonrasında meydana gelen depremler bölge içerisinde tektonik açıdan en hareketli alanın Malatya ve çevresi olduğunu göstermiştir. İlin tektonik özellikleri nedeniyle hem aletsel dönemde hem de tarihsel dönemde yıkıcı depremler meydana gelmiştir. Bölgede tarihsel dönemde magnitüdü 6 ve üzeri 13, aletsel dönemde ise 4 deprem meydana gelmiştir. Bunlardan en yıkıcı olanı 6 Şubat 2023 tarihinde yaşanan 7.7 ve 7.6 büyüklüğündeki Kahramanmaraş depremleridir. Bu depremlerden ilkinin merkez üssü Pazarcık (Kahramanmaraş), ikincinin merkez üssü Ekinözü-Elbistan'dır. Malatya ve çevresindeki yerleşmeler için ikinci deprem daha yıkıcı olmuştur. Aletsel dönemde Malatya ve çevresinde magnitüdü 4 ve üzeri 500'den fazla deprem meydana gelmiştir. Bu deprem verileri ve Malatya çevresindeki aktif faylar kullanılarak depremlerin mekânsal ve yoğunluk analizleri yapılmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak yapılan analiz sonuçlarına göre Malatya ilinin güneybatısı ve güneyinde deprem yoğunluğunun arttığı gözlenmiştir. Malatya şehri ve büyük ilçe merkezlerinin deprem yoğunluğu fazla olan alanlarda yer alması, deprem afetinin önemini göstermektedir.

Spatial Analysis of Instrumental Period (1900-2024) Earthquakes in Malatya and its Surroundings

Keywords

Malatya
East Anatolia Fault Zone
Seismicity
Spatial analysis

Research Article

Received: 29.11.2024
Revised: 26.01.2025
Accepted: 07.02.2025
Published: 01.08.2025

Abstract

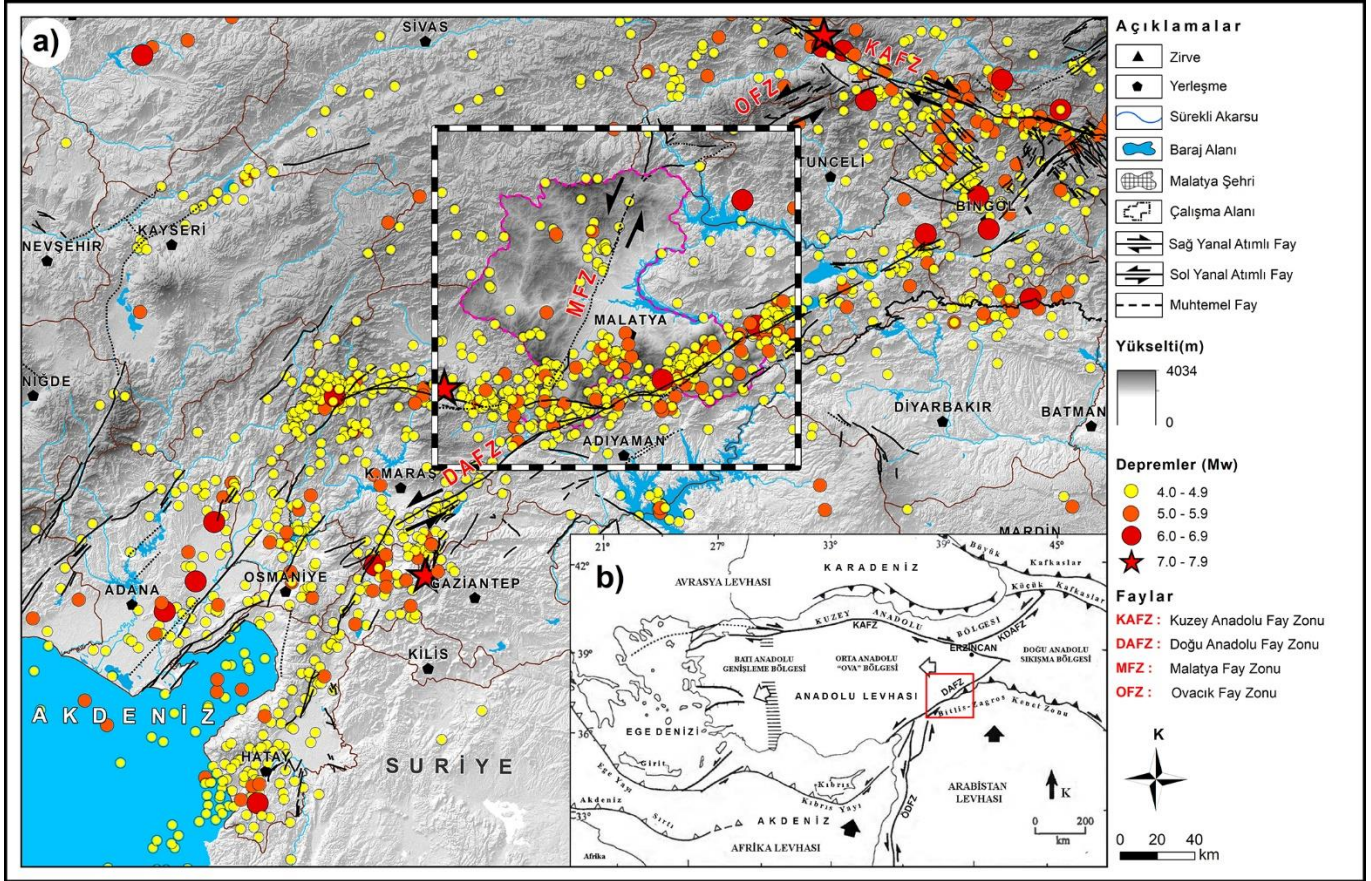
This study examines the spatial analyses of earthquakes that occurred in Malatya and around during the instrumental period. Malatya is situated in the western part of the Eastern Anatolia Region, at the junction of the East Anatolian Fault Zone (EAFZ) and the Malatya Fault Zone (MFZ). The earthquakes that occurred in Kahramanmaraş on February 6, 2023, along with the subsequent tremors, revealed that Malatya and its surroundings are among the most tectonically active areas in the region. Due to its tectonic features, the province has experienced destructive earthquakes during both the instrumental and historical periods. In the region, 13 earthquakes with a magnitude of 6 or higher occurred during the historical period, while 4 such earthquakes were recorded in the instrumental period. The most devastating among these were the Kahramanmaraş earthquakes of February 6, 2023, with magnitudes of 7.7 and 7.6. The epicenter of the first earthquake was in Pazarcık (Kahramanmaraş), while the second was centered in Ekinözü-Elbistan. The second earthquake caused greater destruction in Malatya and its surrounding settlements. Over 500 earthquakes with magnitudes of 4 or higher have occurred in and around Malatya during the instrumental period. Spatial and intensity analyses of earthquakes were conducted using data from these earthquakes and the active faults around Malatya. According to the analysis results using Geographic Information Systems (GIS), earthquake intensity was found to increase to the southwest and south of Malatya province. The fact that Malatya city and its major district centers are located in areas with high earthquake intensity highlights the significance of earthquake disaster.

1. Giriş

Malatya ili Doğu Anadolu Bölgesi'nin batısında, Doğu Anadolu ile Akdeniz bölgeleri arasında, Doğu Toroslar ile Güneydoğu Toroslar arasında yer almaktadır. Genel karakteri dağlık ve plato özelliği gösteren bu alan tektonik açıdan çok hareketlidir. Malatya ilinin güneyi Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), batısı ise Malatya Fay Zonu (MFZ) üzerinde yer almaktadır. Bu fayların hareketine bağlı olarak oluşan ve Doğu Toroslar'ın orta ve dış sırasındaki havzalardan birine karşılık gelen Malatya Havzası (Erol, 1993), KD-GB doğrultusunda kabaca üçgen şekilli yaklaşık 830 km²'lik bir alan

kaplamaktadır (Sunkar ve ark., 2013; Şekil 1). Malatya, komşu iller ile birlikte değerlendirildiğinde deprem riski çok yüksek olan fay zonları üzerinde yer almaktadır.

Malatya'nın güneyindeki Malatya Dağları (2545 m), batıda Nurhak Dağları (2685 m) ve Akça Dağ (2164 m) Güneydoğu Toroslar'ın Fırat Nehri batısında kalan bölümünü oluşturmaktadır. Kuzeyde ise Yama Dağı (2310 m) en yüksek kütleye karşılık gelmektedir. İli sınırlandıran bu dağlık alanlar üzerindeki platolar ve dağlık alanlar arasındaki havza tabanı ve derin vadiler ana jeomorfolojik birimlere karşılık gelmektedir (Şekil 2).



Şekil 1. Malatya ili ve yakın çevresinin lokasyon haritası (Deprem verileri URL 1'den, faylar Emre ve ark., 2013'den faydalanılarak çizilmiştir) (a), Türkiye'nin Neotektonik yapısı ve bölgeleri (Şengör ve ark., 1985'ten yeniden düzenlenerek alınmıştır) (b)

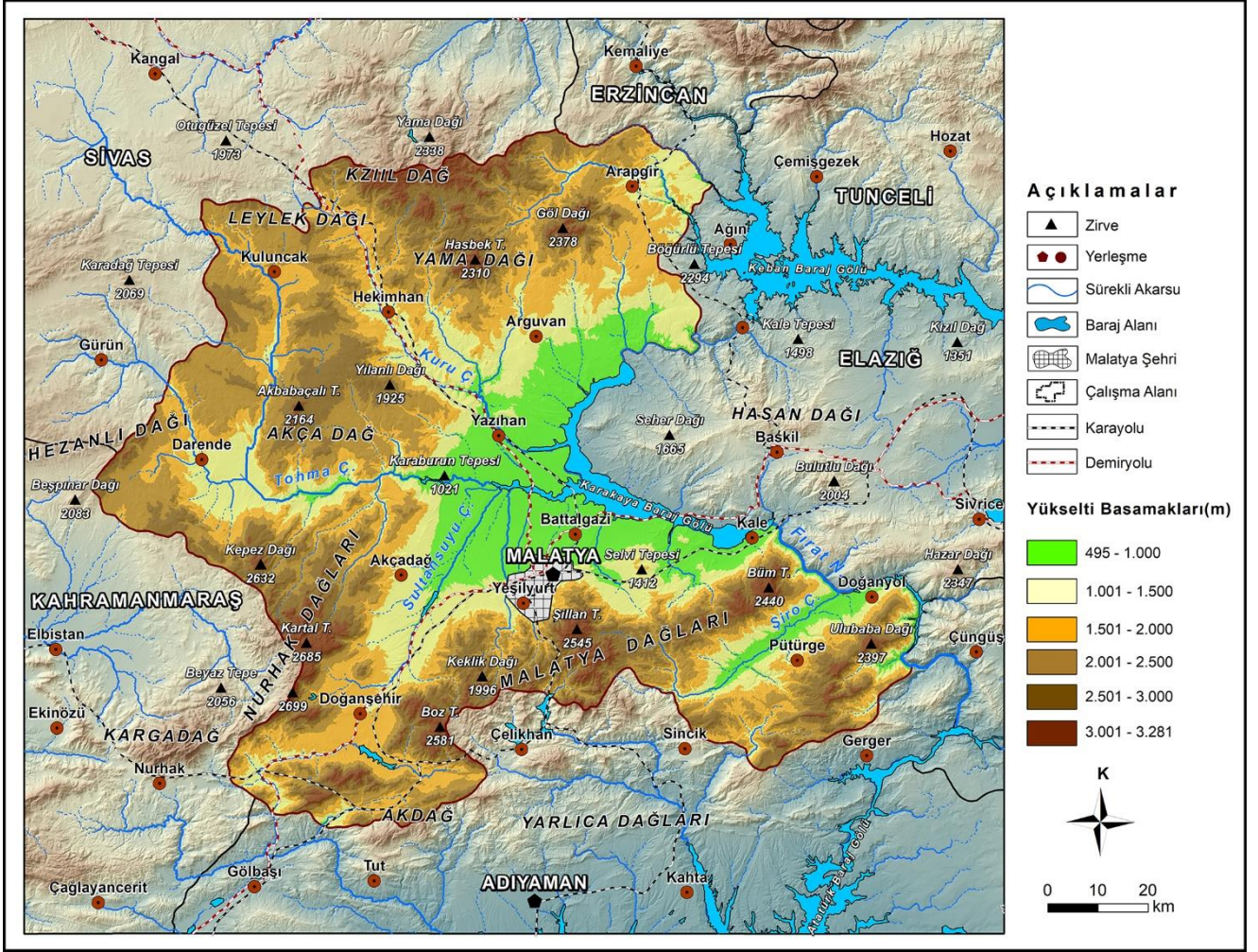
Malatya ili ve çevresi Türkiye'nin tektonik gelişimi ile uyumlu olarak Üst Kretase'den günümüze kadar yaşanan tektonik hareketlerden önemli ölçüde etkilenmiştir. Türkiye'nin Üst Kretase ile Alt Tersiyer dönemleri arasındaki gelişimi, Neotetis Okyanusu'nun kuzey ve güney kolları boyunca kuzeye doğru dalma ve bu kolların kapanması sonrasındaki çarpışma süreçleri tarafından şekillendirilmiştir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Görür ve ark., 1984; Yılmaz ve ark., 1993; Koçyiğit ve Altın, 2002; Kaymakçı ve ark., 2006). Güney kolun tamamen dalarak yok olmasına Bitlis-Zagros Bindirmesi boyunca Geç Miyosen'de Arap ve Avrasya levhalarının çarpışmasına neden olmuştur (Şengör ve Yılmaz 1981; Şengör ve ark., 1985; Dewey ve ark., 1986; Yılmaz ve ark., 1993; Kaymakçı ve ark., 2006). Arap levhasının çarpışması ve kuzeye doğru hareketi Anadolu levhasının Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve DAFZ boyunca

batıya doğru kaymasına neden olmuştur (Şengör ve Yılmaz, 1981; Şengör ve ark., 1985).

Güneyde Malatya Dağları ve batı devamındaki dağların litolojisi Paleozoyik şist ve mermerlerden oluşmaktadır. Bu litoloji ve tektoniğin etkisiyle bu alanlarda yükselti en fazladır. İlin batısında Mesozoyik birimleri, kuzeyde ise geniş alanlarda Tersiyer birimleri yüzeylemektedir (Bilgiç 2008a, 2008b, 2008c). Malatya ili için en önemli tektonik yapıyı DAFZ oluşturmaktadır, yıkıcı depremler bu fay zonu üzerinde meydana gelmiştir. Duman ve Emre (2013), Malatya güneyinde DAFZ'ı iki önemli kola ayırarak incelemiştir. DAFZ, Karlıova ile Antakya arasında kalan 580 km uzunluğundaki zon, ana fay zonu olarak kabul edilmektedir (Arpat ve Şaroğlu, 1972; Koçyiğit ve ark., 2003; Aksoy ve ark., 2007; Aksoy ve ark., 2023). Çelikhan batısında DAFZ'dan ayrılan Sürgü ve Çardak

Fayı olarak batıya devam eden zon kuzey kol olarak değerlendirilmektedir. Doğanşehir yakınlarında DAFZ ile kesişen MFZ, KD-GB doğrultusunda olup il için önemli ikinci fay zonunu oluşturmaktadır (Aktimur,

1979). Malatya güneybatısında DAFZ iki kola ayrılmakta ve yine kuzey kolu bu alanda MFZ ile kesişmektedir. Fayların kesiştiği kavşağın il sınırlarında yer alması Malatya için deprem riskini artırmaktadır.



Şekil 2. Malatya ili ve yakın çevresinin fiziki haritası

Malatya ve çevresinin litolojik ve tektonik özelliklerini kapsayan pek çok araştırma yapılmıştır. Farklı tarihlere ait çalışmalarda Malatya'nın depremselliğini konu alan çalışmalar da bulunmaktadır (Karadoğan 2001; Karakaplan, 2024). Ancak bu makalede olduğu gibi aletsel dönem depremleri, mekânsal ve jeostatistiksel açıdan analiz edilmemiştir. 24 Ocak 2020 Sivrice Depremi ve 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde yaşanan kayıplar ve bu depremlerden sonra devam eden artçılar dikkate alınarak, Malatya ilinin depremselliğini belirlemek amacıyla mekânsal analizler yapılmıştır. Oluşturulan yoğunluk haritaları ile Malatya ilinde tektonik yapı ile sismik aktivite arasındaki ilişkiler ve yüksek riskli alanlar belirlenmiştir.

Deprem afeti öncesi ve sonrasında mekânsal planlamalar ve yeni yerleşim alanlarının belirlenmesinde en doğru kararın mekânsal analiz sonuçlarına göre alınması mümkündür. Mekânsal analiz, bir özellik kümesinin başka bir kümenin içinde olup olmadığına karar veren bir analiz yöntemidir (Allen, 2013). CBS, mekânsal olayları açıklayan farklı disiplinler için güçlü analiz imkânı sunmakta olup mekânsal analizlerin en önemli kullanım alanlarından birini oluşturmaktadır.

Mekânsal analizler, yer seçimi (Ünel, 2023; Konurhan ve Başaran, 2023), güzergah seçimi (Ekinci ve ark., 2011) ve afet çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Ocak ve Bahadır, 2022; Akyürek, 2023; Demirel ve Türk, 2023; Diler ve ark., 2023; Canpolat ve Bulucu, 2024; Fidan ve ark., 2024). Ayrıca mekânsal analizlerle, depremlerin faylarla ilişkisi (Sözbilir ve ark., 2015; Kuşçu ve ark., 2019; Uysal ve Sunkar, 2024), küresel ve bölgesel kümelenmelerin mekânsal ve zamansal dağılışı özelliklerinin belirlenmesine yönelik araştırmalar da yapılmıştır (Aktepe ve Aydın, 2013; Tağil ve Alevyakalı, 2013; Hepdeniz ve Soyaslan, 2015; Bakak, 2016; Vasykivska ve Huerta, 2017; Akyürek ve Arslan, 2018; Jalali ve Ramazi, 2018; Huseynova, 2019; Yang ve ark., 2019; Alevyakalı ve Dindar, 2022).

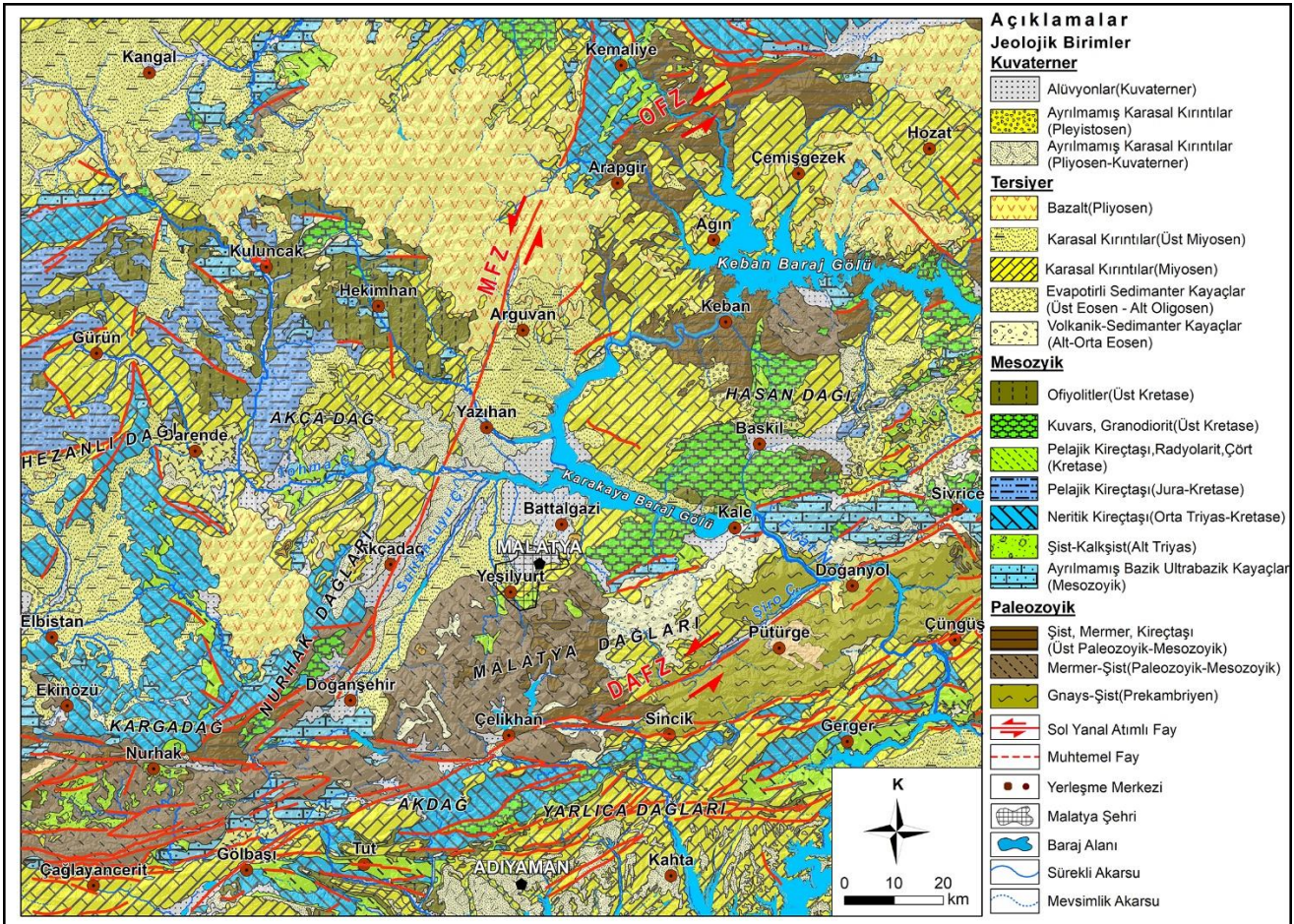
Türkiye'de son yıllarda sismik aktivitenin artışına bağlı olarak farklı lokasyonlarda depremlerin mekânsal analizlerine yönelik araştırmalarda artış gözlenmektedir (Sarp ve ark., 2007; Bakak, 2016; Hepdeniz, 2024; İçöz ve Peker, 2024; Uysal ve Sunkar, 2024). Kernel ve Nokta yoğunluk analizleri kullanılarak da çok sayıda deprem analizi yapılmıştır (Gündoğdu, 2010; Tağil ve Alevyakalı, 2013; Zuccolo vd., 2013; Al-Ahmadi ve ark., 2014; Bakak, 2016; Uysal, 2024).

2. Malatya İli ve Çevresinin Jeolojik Özellikleri

Malatya ili ve çevresinde Paleozoyik'den Kuvaterner'e kadar çeşitli dönemlerde oluşan magmatik, metamorfik, volkanik ve sedimanter kayalar yüzeylenmektedir (Bilgiç 2008a, 2008b, 2008c; Şekil 3). İl sınırları içerisinde güneyde Pütürge ve çevresinde yüzeyleyen ve DAF tarafından kesilen gnays ve şistlerden oluşan birim temeli oluşturmaktadır. Bu birimin batıya doğru devamında mermer ve şistlerden oluşan birim ikinci en yaşlı litolojiyi oluşturmaktadır. Malatya Havzası'nı güneyden sınırlandıran Malatya Dağları'nın yapısı büyük ölçüde bu birimlerden oluşmaktadır. Yaşlı birimlerin DAF ve kolları tarafından kesildiği alanlarda topografyada yüksek diklikler oluşmuştur. Doğuda ise ağırlıklı olarak diyorit, granodiyorit ve gabrodan oluşan magmatik kayalar yüzeylenmekte olup yer yer karmaşık yapılar gözlenmektedir. Aynı şekilde Kuluncak ve Hekimhan çevresinde de magmatik kayalar, batıda

Mesozoyik yaşlı pelajik ve neritik kireçtaşları yüzeylenmektedir. İlin çevresinde Paleozoyik ve Mesozoyik dönemine ait temel yaşlı kayalar, merkezde Malatya Havzası ve çevresinde ise Tersiyer birimleri yüzeylenmektedir. Kuzeyde Neojen volkanitleri oldukça geniş alan kaplamaktadır. İl genelindeki litolojik birimlerin bu dağılışı dikkate alındığında, ilin çevresinde Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı temel kayalar bunların arasında ise ağırlıklı Neojen birimleri yer almaktadır (Asutay, 1988; Bilgiç 2008a, 2008b, 2008c; Herece, 2008; Şekil 3).

Malatya ili ve çevresinde alüvyon ve ayrılmamış karasal kırıntılardan oluşan Kuvaterner birimleri vadi ve havza tabanlarında görülmektedir (Asutay, 1988; Bilgiç 2008a, 2008b, 2008c; Herece, 2008). Malatya Havzası'nda geniş alan kaplayan bu birimler akarsular tarafından yarılmıştır. Bu birimler dağlık alanların eteklerinde hafif eğimli sahalarda çakıl ve ince kum, havza tabanında daha ince unsurlu alüvyal malzemelerden oluşmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Malatya ili ve çevresinin jeoloji haritası (Asutay 1988; Bilgiç 2008a, 2008b, 2008c; Herece 2008; Emre ve ark., 2013'den faydalanılarak hazırlanmıştır) (DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, MFZ: Malatya Fay Zonu, OFZ: Ovacık Fay Zonu)

Malatya ilinin çevresi bütün yönlerde faylarla sınırlandırılmış olup tektonik açıdan kavşak ve kilit konumundadır. Bu faylardan sol yanal atımlı DAF, batıya doğru hareket eden Anadolu levhasının güneydoğu sınırını oluşturmakta olup Anadolu levhası ile Arap levhası arasında hareket etmektedir (Şengör ve ark., 1985; Dewey ve ark., 1986; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Westaway, 2003; Bozkurt, 2001; Yönlü ve ark.

2017). DAFZ, kuzeydoğuda Karlıova, güneybatıda Antakya arasında 580 km uzunluğunda, KD doğrultusunda, sol yanal atımlı büyük bir makaslama kuşağıdır (Arpat ve Şaroğlu, 1972; Koçyiğit ve ark., 2003; Aksoy ve ark., 2007). Bu fay zonu boyunca oluşan yüzey kırıkları, depremler ve fayların geometrisine göre 14 segmente ayrılmıştır (Barka ve Kadinsky-Cade 1988). Daha sonra yapılan araştırmalarda ise bu özellikler

dikkate alınarak farklı segmentler halinde incelenmiştir (Şaroğlu ve ark., 1992; Herece 2008, Duman ve Emre, 2013). Bu sınıflandırmalara göre Malatya ili yaklaşık olarak DAFZ'nin orta bölümünde, güneyde Sürgü-Çardak, Çelikhan-Gölbaşı ve Hazar-Sincik segmentleri üzerinde yer almaktadır.

Malatya'nın güneybatısında Sürgü Fayı, Çelikhan'ın güneyinden DAF'dan ayrılarak batıya doğru D-B doğrultusunda yaklaşık 70 km uzunluğunda olup Nurhak'a kadar devam etmektedir (Balkaya ve ark., 2021). Sürgü Fayı ile ilgili ilk araştırmalarda bu fayın DAF'nin bir segmenti olduğu (Perinçek, 1979; İmamoğlu ve Gökten, 1996; Yılmaz, 1999; Westaway, 2004) kabul edilmiştir. Daha sonra uzaktan algılama yöntemleri ile yapılan çalışmalarda DAF'dan farklı olarak sağ yanal atımlı olduğu görüşü benimsenmiştir (Koç, 2005; Günek ve Sunkar, 2006; Sunkar ve ark., 2008; Koç ve Kaymakçı, 2013). Ancak son araştırmalarda fay üzerinde açılan hendeklerden elde edilen bulgulara göre fayın sol yanal atımlı olduğu belirlenmiştir (Duman ve ark., 2020).

DAFZ dışında Malatya ili için tektonik açıdan önemli olan Malatya Fayı, Aktimur (1979) tarafından hava fotoğrafları kullanılarak tespit edilmiş ve adlandırılmıştır (Şekil 3). Ancak daha sonra bu fay ile ilgili tektonik çalışmalarında fay farklı şekilde değerlendirilmiştir. Malatya ilinin merkezinde yer alan ve yaklaşık ili ikiye bölen MFZ, KD-GB doğrultulu sol yanal atımlı bir fay zonedir. Anadolu levhasını kesen Malatya-Ovacık Fay Zonu (MOFZ) KD-GB doğrultusunda 240 km uzunluğunda, sol yanal atımlı bir fay zonedir (Westaway ve Arger, 2001). Koçyiğit ve Beyhan'a (1998) göre Ovacık ve Malatya Fay zonlarının birleşmesinden oluşmaktadır. Ancak Kaymakçı ve ark. (2006), MOFZ'ü farklı segmentleri bulunmayan; tersine, bağımsız hareket mekanizmasına göre hareket eden iki ayrı fay zonu olarak tanımlamıştır. Erzincan'ın güneydoğusunda KAF'dan ayrılarak KD-GB doğrultusunda 150 km devam edip, Kemaliye-Arapgir arasında Malatya'ya doğru dönmektedir. Bu alandan sonra ana doğrultuya uymakla birlikte kabaca K-G doğrultusunda 100 km devam ederek Doğanşehir yakınlarında DAF ile birleşmektedir (Görür ve Zabcı, 2015). MOFZ'la ilgili çalışmalarda küresel konumlama sistemi (GPS) verilerine göre kayma hızları $1,8 \pm 0,1$ ve $1,2 \pm 0,1$ mm/yıl arasında değişmektedir (Aktuğ ve ark., 2013a; Aktuğ ve ark., 2013b).

3. Malatya İli ve Çevresinin Depremselliği

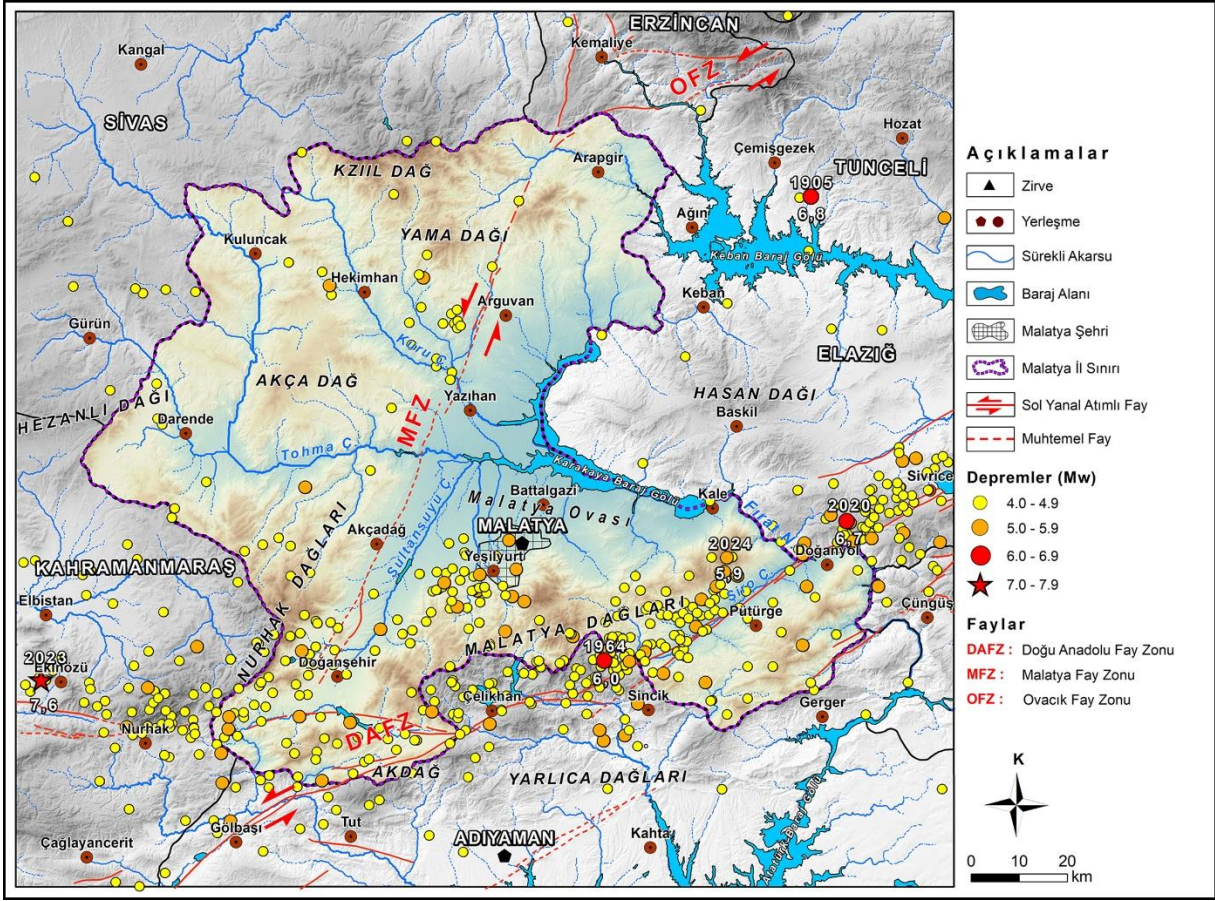
Türkiye'de çeşitli afetler görülmesine rağmen en fazla can ve mal kaybı depremlerle meydana gelmektedir (Şahin ve Üçgül, 2019; Demir ve Altaş, 2024; Eraslan ve ark., 2024). Türkiye, Dünyada aletsel dönemde yaşanan büyük depremler bakımından dördüncü sırada (Can ve Saka, 2022), can kaybına neden olan depremler açısından üçüncü, etkilenen insan sayısı açısından ise sekizinci sırada bulunmaktadır. Bu genel durum nedeniyle aletsel dönemde meydana gelen depremlerde 100.000'den fazla insan hayatını kaybetmiştir (Karademir ve ark., 2019). Bu kayıpların büyük bölümü son 25-30 yıllık süre içerisinde meydana gelen depremlerde yaşanmıştır. Can kayıpları dışında ekonomik etkiler ve deprem sonrası zorunlu göçler ile

birlikte depremin etkileri geniş bölgelere yayılabilmektedir.

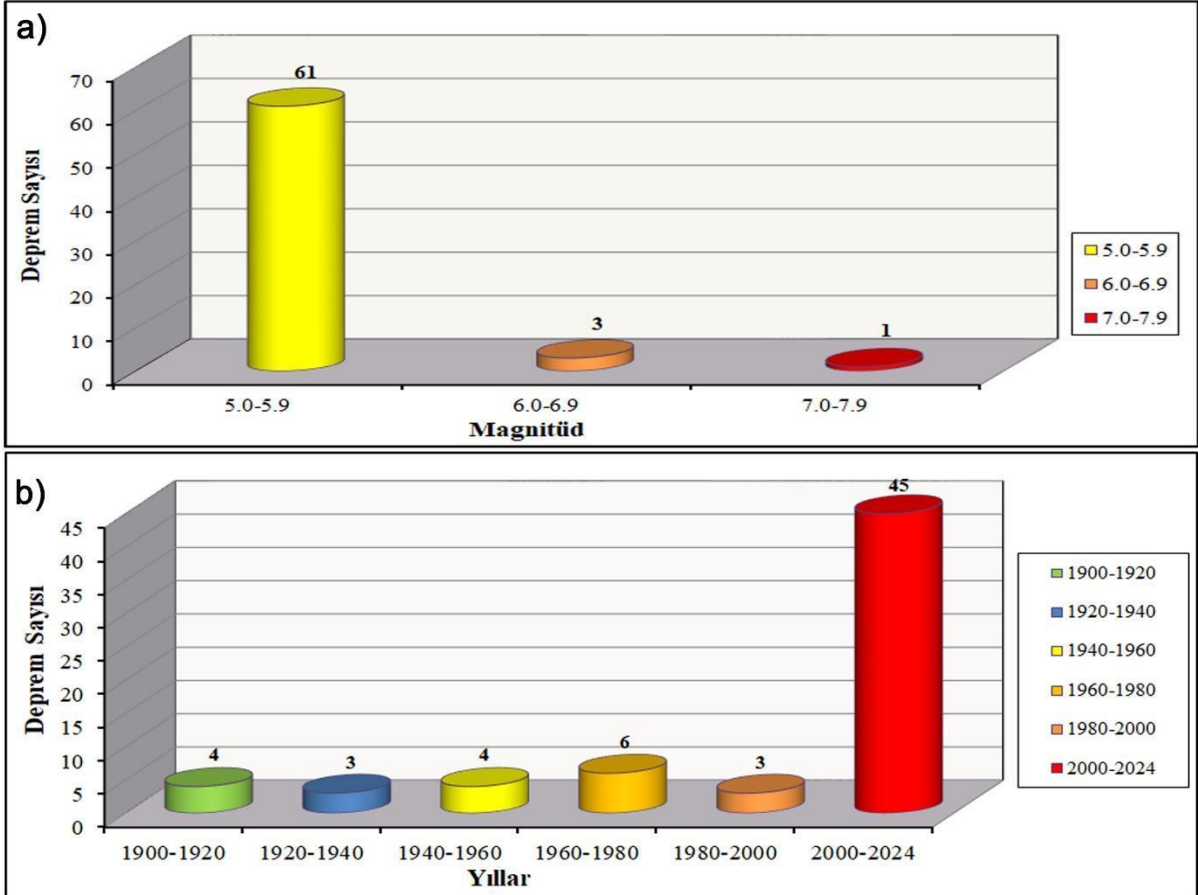
Malatya ili DAFZ'nin Hazar-Sincik, Çelikhan-Gölbaşı ve Sürgü-Çardak segmentleri üzerinde yer alması nedeniyle yıkıcı deprem riski altındadır. DAFZ dışında Malatya Fayı'nın deprem üretme potansiyeli yüksektir. Nitekim bu segmentler üzerinde 2020, 2023 ve 2024 yıllarında meydana gelen depremler riskin yüksek olduğunu göstermiştir. Bu segmentler üzerinde tarihsel dönemde de can ve mal kaybı ile sonuçlanan yıkıcı depremler meydana gelmiştir. Bunlardan en önemlileri; 1822 Antakya (Mw=7.5), 1826 Karlıova (7.2), 1872 Amik Gölü (7.5), 1874 Hazar Gölü (7.1), 1875 Hazar Gölü (6.7), 1893 Malatya (7.1) depremleridir. Aletsel dönemde oluşan en önemli depremler ise; 1971 Bingöl (Mw=6.8), 1986 Malatya (6.0), 1998 Adana (6.2), 2003 Bingöl (6.4), 2010 Elazığ (6.1), 2020 Elazığ (6.8) ve en fazla etkiye sahip olan 2023 Kahramanmaraş (7.7 ve 7.6) depremleridir (Kartal ve Kadiroğlu, 2013; AFAD, 2023; Şekil 4). Bu depremler daha çok DAFZ'nin orta ve kuzeydoğusundaki segmentler üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Malatya ve çevresinde meydana gelen depremler tarihsel dönem (1900 öncesi) ve aletsel dönem (1900-2024) depremleri şeklinde incelenmiştir. Bölgede tarihsel dönemde afet boyutunda 13 deprem meydana gelmiş olup en yıkıcı olanları 240, 1514, 1779, 1874, 1890, 1893, 1895 yıllarında meydana gelen depremlerdir (URL 2; URL 4). 14 Mart 1779 Malatya depreminde başta Malatya olmak üzere yakın il ve ilçelerde çok sayıda insan hayatını kaybetmiş, deprem pek çok yerleşim alanında yıkıma neden olmuştur (Ambraseys, 2009; Soysal ve ark., 1981). DAF'nin Çelikhan-Gölbaşı segmenti üzerinde Malatya'nın güneydoğusunda 3 Mart 1893 yılında meydana gelen 7.1 şiddetindeki depremde 885 kişi hayatını kaybetmiş, 164 kişi yaralanmış, 5.654 bina tamamen yıkılmış ve 4488 bina ise hasar almıştır. Deprem sadece Malatya şehrini etkilememiş, aynı zamanda çevre il ve ilçelerde de yıkıma neden olmuştur (Satılmış, 2016).

Depremler Malatya ili güney ve güneydoğusunda fay zonları üzerinde yoğunlaşmaktadır (Şekil 4). Malatya ili ve çevresinde aletsel dönemde magnitüdü 4-4.9 arasında 474, 5-5.9 arasında 61, 6-6.9 arasında 3, 7 ve üzeri 1 deprem olmak üzere toplam 539 deprem meydana gelmiştir (Tablo 1; Şekil 4, 5). Malatya ve çevresinde son 25 yıllık dönemde deprem aktivitesinde artış yaşanmakta olup özellikle bu dönemde $M \geq 5$ depremlerin sayısı artmıştır. 2000 yılından sonra yaşanan depremler adeta 24 Ocak 2020 Sivrice Depremi ve 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinin habercisi konumundadır. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında artçıların etkisi uzun dönem devam etmiş/etmektedir (Tablo 1; Şekil 4). Asrın felaketi olarak kayıtlara geçen bu depremler, başta Kahramanmaraş olmak üzere Hatay, Osmaniye, Adana, Adıyaman, Gaziantep, Şanlıurfa, Kilis, Malatya, Elazığ ve Diyarbakır illerinde büyük can ve mal kayıplarına neden olmuştur (AFAD, 2023). Bu depremde 50.096 kişi hayatını kaybetmiş, 107.204 kişi ise yaralanmıştır. Ayrıca depremde 518.009 bina yıkılmış veya ağır hasar almış, 131.577 bina orta hasarlı olmak üzere toplamda 1.279.727 bina etkilenmiştir (TC Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023; Tablo 2).



Şekil 4. Malatya ve çevresindeki depremlerin ($M \geq 4$) mekânsal dağılışı (1900-2024) (Deprem verileri URL 1'den, faylar Emre ve ark., 2013'den alınmıştır)



Şekil 5. Malatya ve yakın çevresinde aletsel dönemde meydana gelen $M \geq 5$ depremlerin büyüklükleri (a) ve yıllara göre dağılışı (b) (Deprem verileri URL 1'den alınmıştır)

Tablo 1. Malatya İli ve çevresinde aletsel dönemde meydana gelen Mw≥5 depremler

No	Oluş Tarihi	Enlem (K)	Boylam (D)	Magnitüd (Mw)	Derinlik (km)	Lokasyon
1	04.12.1905	39.00	39.00	6.8	30	Payamdüzü-Çemişgezek (Tunceli)
2	04.12.1905	39.00	39.00	5.8	30	Payamdüzü-Çemişgezek (Tunceli)
3	04.12.1905	39.00	39.00	5.7	30	Payamdüzü-Çemişgezek (Tunceli)
4	04.10.1914	38.01	38.24	5.3	15	Çelikhan (Adıyaman)
5	09.01.1931	38.00	38.50	5.2	30	Hasanlı-Sincik (Adıyaman)
6	23.09.1940	38.96	39.32	5.2	80	Söğütötepe-Pertek (Tunceli)
7	20.12.1940	38.30	38.30	5.8	10	Gündüzbey-Yeşilyurt (Malatya)
8	18.08.1948	38.51	39.25	5.3	10	Gözebaşı- (Elazığ)
9	25.04.1949	38.27	38.99	5.5	80	Gökçe-Doğanyol (Malatya)
10	09.05.1950	38.24	38.32	5.3	70	Kozluk-Yeşilyurt (Malatya)
11	08.11.1950	38.27	39.16	5.4	50	Uçpınar-Çüngüş (Diyarbakır)
12	23.04.1964	38.09	38.75	5.3	57	Yeşildere-Pötürge (Malatya)
13	14.06.1964	38.13	38.51	6.0	3	Aksu-Sincik (Adıyaman)
14	14.06.1964	37.98	38.51	5.0	30	Hasanlı-Sincik (Adıyaman)
15	16.05.1965	38.16	38.98	5.2	26	Teluşağı-Pötürge (Malatya)
16	30.10.1968	37.99	38.56	5.3	3	Çatbahçe-Sincik (Adıyaman)
17	04.12.1978	38.07	37.43	5.0	3	Ağcasar-Nurhak (Kahramanmaraş)
18	20.01.1981	38.05	38.59	5.0	24	Serince-Sincik (Adıyaman)
19	05.05.1986	38.02	37.79	5.8	4	Kadılı-Doğanşehir (Malatya)
20	06.06.1986	38.01	37.91	5.6	1	Savaklı-Doğanşehir (Malatya)
21	13.07.2003	38.33	38.98	5.6	6	Topaluşağı-Sivrice (Elazığ)
22	26.02.2004	38.01	38.24	5.0	6	Çelikhan (Adıyaman)
23	11.08.2004	38.37	39.22	5.9	1	Doğansu-Sivrice (Elazığ)
24	26.11.2005	38.28	38.82	5.3	9,4	Bölükçaya-Pötürge (Malatya)
25	09.02.2007	38.40	39.04	5.5	5	Tarlatepe-Sivrice (Elazığ)
26	21.02.2007	38.35	39.30	5.9	7,5	Albayrak-Çüngüş (Diyarbakır)
27	29.11.2015	38.82	37.84	5.1	7,1	Dursunlu-Hekimhan (Malatya)
28	04.04.2019	38.36	39.14	5.3	5	Uslu-Sivrice (Elazığ)
29	27.12.2019	38.35	38.98	5.1	4,5	Topaluşağı-Sivrice (Elazığ)
30	24.01.2020	38.39	39.08	6.7*	5	Kalaba-Sivrice (Elazığ)
31	25.01.2020	38.35	39.10	5.1	5,1	Kılıçkaya-Sivrice (Elazığ)
32	25.02.2020	38.27	38.77	5.1	5,2	Karşıyaka-Pötürge (Malatya)
33	19.03.2020	38.38	39.09	5.2	5,4	Kalaba-Sivrice (Elazığ)
34	05.06.2020	38.24	38.74	5.3	5,4	Balıncı-Pötürge (Malatya)
35	04.08.2020	38.19	38.72	5.7	5,5	Alhan-Pötürge
36	27.12.2020	38.50	39.21	5.6	5	Kavaktepe- (Elazığ)
37	12.11.2021	38.29	38.79	5.0	6,4	Bölükçaya-Pötürge (Malatya)
38	09.04.2022	38.10	38.65	5.2	5	Çamlıdere-Pötürge (Malatya)
39	06.02.2023	38.03	38.10	5.1	9	Kurucaova-Doğanşehir (Malatya)
40	06.02.2023	37.90	37.84	5.5	8,1	Karanlıkdere-Doğanşehir (Malatya)
41	06.02.2023	38.12	38.57	5.0	3,1	Arıkonak-Sincik (Adıyaman)
42	06.02.2023	38.08	37.17	7.6	5	Ekinözü (Kahramanmaraş)
43	06.02.2023	38.35	38.28	5.7	16,1	Malatya (Malatya)
44	06.02.2023	38.14	37.79	5.8	8,2	Çavuşlu-Doğanşehir (Malatya)
45	06.02.2023	38.18	37.97	5.8	7,5	Suçatı-Doğanşehir (Malatya)
46	06.02.2023	38.14	37.54	5.3	6,1	Karahasanuşağı-Elbistan (Kahramanmaraş)
47	06.02.2023	38.01	37.62	5.1	7	Gövdeli-Doğanşehir (Malatya)
48	06.02.2023	38.44	37.79	5.2	16,2	Kolköy-Akçadağ (Malatya)
49	06.02.2023	38.27	38.12	5.5	5	Görgü-Yeşilyurt (Malatya)
50	06.02.2023	38.18	38.27	5.1	2,5	Kozluk-Yeşilyurt (Malatya)
51	07.02.2023	37.94	37.60	5.1	7,5	Kapıdere-Doğanşehir (Malatya)
52	07.02.2023	37.82	37.63	5.6	2	Çataltepe-Gölbaşı (Adıyaman)
53	07.02.2023	38.14	38.60	5.5	5	Tekederesi-Pötürge (Malatya)
54	07.02.2023	38.14	38.51	5.4	8,2	Aksu-Sincik (Adıyaman)
55	08.02.2023	37.99	37.62	5.5	4,3	Gövdeli-Doğanşehir (Malatya)
56	08.02.2023	37.99	37.38	5.0	4,2	Barış-Nurhak (Kahramanmaraş)
57	10.02.2023	38.22	38.16	5.0	4,3	Atalar-Yeşilyurt (Malatya)
58	12.02.2023	38.84	38.07	5.3	4,4	İğdir-Hekimhan (Malatya)
59	27.02.2023	37.89	37.60	5.1	2,8	Meydanköy-Gölbaşı (Adıyaman)
60	27.02.2023	38.24	38.29	5.5	5,7	Kozluk-Yeşilyurt (Malatya)
61	10.08.2023	38.28	38.21	5.2	5	İkizce-Yeşilyurt (Malatya)
62	24.08.2023	38.25	38.20	5.0	5	Seyituşağı-Yeşilyurt (Malatya)
63	23.11.2023	38.12	38.55	5.3	8,3	Arıkonak-Sincik (Adıyaman)
64	25.01.2024	38.17	38.43	5.3	4,2	Aksu-Sincik (Adıyaman)
65	16.10.2024	38.80	38.36	5.9	10,5	Kale (Malatya)

Kaynak: Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü kayıtları (URL 1). (*Bu deprem için AFAD (2020) 6.8 değerini kullanmaktadır)

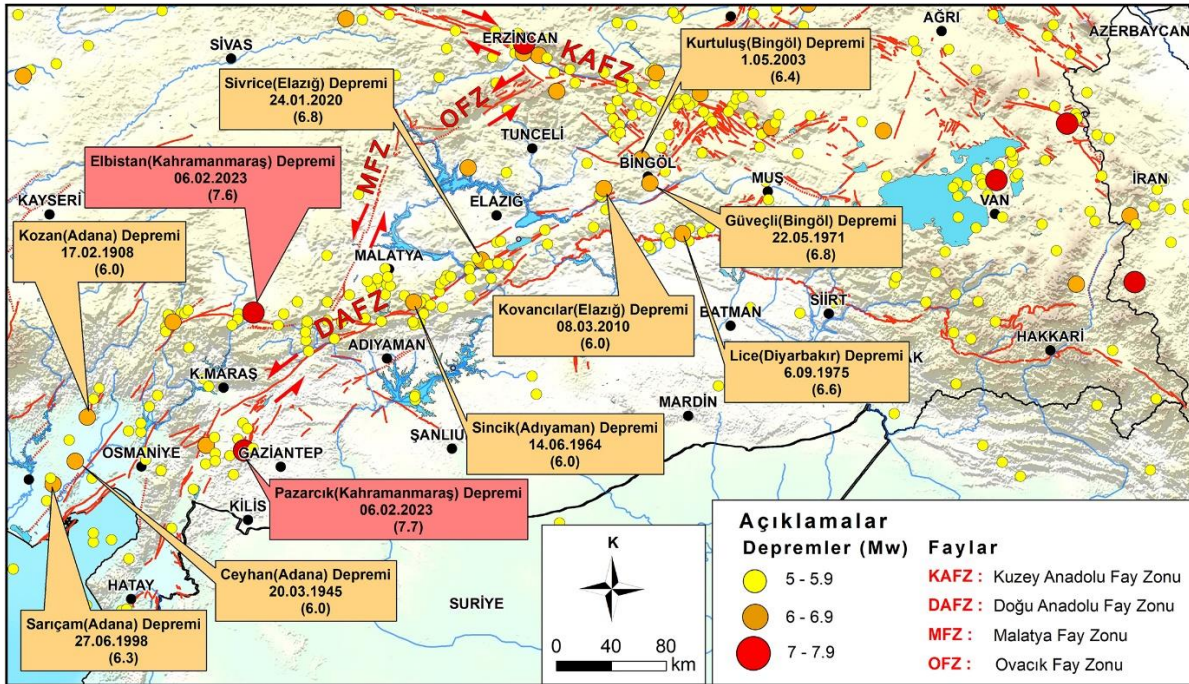
14 Haziran 1964 tarihinde meydana gelen Aksu-Sincik (Adıyaman) depremi (6.0) Malatya ve çevre illerde etkili olmuş, 8 kişi hayatını kaybetmiş, 515 kişi yaralanmış ve 847 binada hasar meydana getirmiştir (Özdemir, 1994; URL 5). Ayrıca 1986 yılında, Doğanşehir ilçesinde Sürgü Fayı üzerinde 5 Mayıs (5.8) ve 6 Haziran (5.6) tarihlerinde iki ayrı deprem meydana gelmiştir. İlk depremde 7 kişi hayatını kaybetmiş, 24 kişi yaralanmış ve 824 binada hasar meydana gelmiştir. İkinci depremde ise 1 kişi hayatını kaybetmiş, 20 kişi yaralanmış ve 1174 binada hasar oluşmuştur (Balkaya, 2022). Sürgü çevresinde meydana gelen bu depremler Sürgü Barajı'nda da hasara neden olmuştur (Bayülke ve ark., 1986; Duman ve Emre, 2013). Bölgede DAF boyunca aletsel dönemde meydana gelen diğer önemli depremler; 11 Ağustos 2004 Doğansu-Sivrice (Elazığ) Depremi (5.9), 21 Şubat 2007 Albayrak-Çüngüş (Diyarbakır) Depremi (5.9), 24 Ocak 2020 Elazığ-Sivrice (Elazığ) (6.8)

depremleridir. 24 Ocak 2020 Elazığ-Sivrice Depremi, Pütürge segmentinin kuzeydoğusunda meydana gelmiş, özellikle güney segmentlerde enerji birikimini arttırmış, Çöşnük-Çardak-Doğanşehir faylarında kırılmalar meydana getirerek 6 Şubat 2023 depremini (7.6) tetiklemiştir (Aksoy ve ark., 2023). Yaklaşık 8.06 km derinlikte oluşan bu depremde, 41 kişi hayatını kaybetmiş, 1.600 kişi yaralanmış ve 17.500 binada hasar oluşmuştur (Tatar ve ark., 2020a; 2020b; AFAD, 2020). Ayrıca bu depremde Sivrice-Çevrimtaş köyü arasında kaya düşmesi, heyelan, yanıl yayılma gibi deformasyonlar oluşmuştur. Fayın aktivitesine bağlı olarak yüzey deformasyonlarından başka Taşmış (Pütürge) köyü kuzeyinde çermik su kaynağında katı ve gaz çıkışlarında artışlar da yaşanmıştır (Sunkar ve ark., 2023). Bu değerlendirmeler bölgedeki ana fayların tarihsel süreçte etkinliklerini koruduklarını göstermektedir (Tablo 2; Şekil 6).

Tablo 2. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinden etkilenen illerde meydana gelen hasar durumu

İller	Yıkılmış/Acil Yıkılması Gereken/Ağır Hasarlı Bina Sayısı	Orta Hasarlı Bina Sayısı	Az Hasarlı Bina Sayısı
Adana	2.952	11.768	71.072
Adıyaman	56.256	18.715	72.729
Diyarbakır	8.602	11.209	113.223
Elazığ	10.156	15.220	31.151
Gaziantep	29.155	20.251	236.497
Kahramanmaraş	99.326	17.877	161.137
Malatya	71.519	12.801	107.765
Hatay	215.522	25.957	189.317
Kilis	2.514	1.303	27.969
Osmaniye	16.111	4.122	69.466
Şanlıurfa	6.163	6.041	199.401
Toplam	518.009	145.274	1.276.727

Kaynak: TC Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023 (SBB)



Şekil 6. DAFZ üzerinde aletsel dönemde meydana gelen (Mw≥5) depremler (1900-2024). Deprem verileri URL 1'den, faylar Emre ve ark., 2013'den alınmıştır (KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, MFZ: Malatya Fay Zonu, OFZ: Ovacık Fay Zonu) ¹

¹¹ Bu haritadan sonra kullanılan haritalardaki deprem verileri, faylar ve fay kısaltmaları bu kaynaklardan alınmıştır.

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri ikili deprem özelliğinde olup (Akgül ve Etili, 2023) ilki 04:17'de Pazarcık (Kahramanmaraş) depremi ($M_w=7.7$), en fazla Kahramanmaraş ve Hatay'da, aynı gün saat 13:24'de meydana gelen ikinci deprem olan Elbistan (Kahramanmaraş) depremi ($M_w=7.6$) ise Malatya iline yakın konumda (~100 km) olması nedeniyle Malatya'da daha çok yıkıma neden olmuştur. Deprem, Malatya'ya yakın Çardak Fayı ve Doğanşehir Fayı ile ilişkili olup, yüzey kırığı oluşturmuştur (AFAD, 2023). Bu depremler

nüfusun yoğun olduğu kentsel alanlar başta olmak üzere bazı kırsal yerleşmelerde de ciddi can ve mal kayıplarına neden olmuştur. Kentsel alanlarda yıkımın fazla olmasında; faylara yakınlık ve zemin özellikleri ile konut yapımında kullanılan dayanıksız yapı malzemesi ve uygun olmayan yapım teknikleri etkili olmuştur. Yüzyılın afeti olarak ifade edilen bu depremler sonrasında çevre illere doğru yoğun göç meydana geldiği için demografik yapıda değişiklikler meydana gelmiştir (Tablo 2; Şekil 6,7).



Şekil 7. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde Malatya'da oluşan hasarlar. a) Malatya Ulu Camii, b ve c) İnönü Caddesi, d) Bostanbaşı Mahallesi, e) Doğanşehir, f, g ve h) Muhtelif mahallelerdeki bina hasarları

4. Materyal ve Yöntem

Bu makalede, deprem analizlerinde sıklıkla kullanılan CBS ile mekânsal ve yoğunluk analizleri yapılmıştır. CBS ile son yıllarda farklı yöntemlerin birlikte kullanılması disiplinler arası araştırmalarda geniş uygulama imkanı sunmaktadır (Meşin ve Demir, 2023; Pandian ve ark., 2023; Patil ve ark., 2023; Eraslan ve ark., 2024). Aynı zamanda bu alandaki gelişmeler afetlerin mekânsal dağılımını ortaya koymada büyük avantajlar sağlamaktadır. Mekânsal analizler, mevcut coğrafi verilerin incelenmesiyle birlikte bölgesel farklılık ve ilişkilerin kurulmasında, planlama ve karar verme süreçlerinde kullanılan verilerin etkili bir şekilde analiz edilmesine katkı sağlamaktadır (Kınalıoğlu, 2024). Bu nedenle mekânsal analizler olayların dağılımı ve haritalamanın ötesinde mekânsal özellikler ile olaylar arasındaki ilişkileri yorum ve değerlendirmemize katkı sağlamaktadır (URL 3). Yaşanan depremlerden en az hasar ile kurtulmanın yolu risk yönetimi planlarının hazırlanarak uygulanmasıdır (Bahadır ve ark., 2024). Bu planların hazırlanmasında ve uygulanmasında

depremlerin mekânsal ve yoğunluk analizleri büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada CBS teknolojileri ile yapılan analizlerde altlık olarak kullanılan 12,5*12,5 m yersel çözünürlüğe sahip ALOS PALSAR Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) Alaska Satellite Facility web sitesinden indirilerek (URL 6) taslak ve analiz haritalarında altlık olarak kullanılmıştır. Tektonik ve litolojik özelliklerin belirlenmesinde Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'ne (MTA) ait 1/100000 ölçekli Divriği J39, J40, J41, Malatya L41, K41 jeoloji paftaları (Asutay, 1988; Bilgiç 2008a, 2008b, 2008c) kullanılmıştır. Deprem açısından önemli olan diri faylar Emre ve ark., 2013'den alınmıştır.

Malatya ilinin depremselliğini değerlendirmek amacıyla tarihsel döneme ait deprem verileri Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) verileri ve literatüre göre hazırlanmıştır (URL 2). Aletsel dönem deprem verileri ise AFAD ve Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM) kataloglarından alınmıştır (URL 1, 5). BDTİM verileri 01.01.1900-25.10.2024 tarihleri arasında,

magnitüdü 4-9 ve derinliği 0-90 km arasında olan 539 deprem ile sınırlandırılarak Microsoft Excel dosyası şeklinde düzenlenmiştir. Sayısal deprem verileri, ArcGIS Desktop 10.4.1 programında açıldıktan sonra Add Data (veri ekle komutu) sekmesinde enlem ve boylam koordinat verileri girilerek nokta verisine dönüştürülmüş. Bu veriler Universal Transversal Mercator (UTM) koordinat sistemine dönüştürüldükten sonra analiz ve mekânsal dağılım haritalarının üretiminde kullanılmıştır.

Malatya ili genelinde aletsel dönemde oluşan depremlerin aktif faylar ile ilişkisini ortaya koymak için fay yoğunluk analizleri yapılmıştır. Daha sonra depremlerin dağılımını ortaya koymak için ArcGIS Desktop 10.4.1 programında bulunan Spatial Analyst Tools ile episantr ve hiposantr dağılımları, kernel yoğunluk, noktasal yoğunluk, çizgisel yoğunluk analizleri; Spatial Statistics Tools ile ortalama en yakın komşuluk, Anselin Yerel Moran's I ve Sıcak-Soğuk Nokta (Getis-Ord Gi*), ortalama merkez, ağırlıklı ortalama merkez, standart uzaklık, ağırlıklı standart uzaklık ve standart sapma elipsi; Analysis Tools aracı ile Buffer (tampon) analizleri yapılmıştır.

Episantr (Büyüklik) ve Hiposantr (Derinlik) Analizleri kapsamında, Malatya ve çevresinde aletsel dönemde magnitüdü 4 ve üzeri ($M \geq 4$) olan 539 adet deprem verisinin projeksiyon dönüşümü yapılarak episantr ve hiposantr verilerinin dağılım haritası üretilmiştir.

Tampon (Buffer) analizi, belirli konum ve özelliklere göre belli uzaklıklar kullanılarak yapılan sorgulama işlemlerinden oluşmaktadır. Bu analizle depremler ile fay hatları arasındaki ilişkilere göre riskli ve güvenli alanlar belirlenebilmektedir. (Sözbilir ve ark., 2015; Kuşçu ve ark., 2019; Uysal ve Sunkar, 2024). Farklı sorgulamaların yapıldığı bu analiz kapsamında Emre ve ark., (2013) tarafından hazırlanan aktif faylara göre sınıflandırma yapılmıştır.

Standart uzaklık analizinde, deprem episantr noktalarının dağılımı ve bu noktaların birbirine göre olan uzaklıkları gösterilmektedir. Analiz sonucunda oluşturulan çemberlerin şekline göre depremlerin dağılımı belirlenmekte olup noktaların birbirine yakın olduğu durumlarda çember küçük, birbirine uzak olması durumunda çember geniş olur. Ağırlıklı standart uzaklıkta ise deprem büyüklükleri analize dâhil edilerek nokta uzaklıkları tekrar hesaplanmaktadır (McGrew ve Monroe, 1993; Karabulut, 2014).

$$S_D = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \underline{X}_c)^2 + \sum(Y_c - \underline{Y}_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$S_{WD} = \sqrt{\frac{\sum fi(x_i - \underline{X}_c)^2 + \sum fi(Y_i - \underline{Y}_c)^2}{\sum fi}} \quad (1)$$

Formül 1'deki \underline{X}_c ve \underline{Y}_c , ortalama merkezin koordinatlarını, X_i ve Y_i her bir noktanın koordinat değerlerini, $\sum fi$ ise noktaların ağırlık değerlerini göstermektedir (McGrew ve Monroe, 1993).

Ortalama merkez analizinde, mevcut deprem noktaları X ve Y koordinatlarının ortalama konumu alınarak, depremlerin mekânsal açıdan orta noktaları

hesaplanmaktadır (McGrew ve Monroe, 1993; Karabulut, 2014).

$$\underline{X}_c = \frac{\sum X_i}{n}, \underline{Y}_c = \frac{\sum Y_i}{n} \quad (2)$$

Formül 2'deki \underline{X}_c ve \underline{Y}_c , X ve Y değerlerinin ortalama merkezlerini, X_i ve Y_i her bir gözlemin koordinat değerini n ise gözlem sayısı olarak ifade etmektedir (McGrew ve Monroe, 1993).

Mekânda oluşan olay ve olguların etkisi belli şartlarda ortaya çıkmaktadır. Bu durum mevcut dağılımın merkezinin çözümünde yeterli olmadığı için ağırlıklı ortama merkez yöntemi kullanılmaktadır. Ağırlıklı ortalama merkez aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır (McGrew ve Monroe, 1993; Walford, 2011; Hepdeniz ve Soyaslan, 2015).

$$\underline{X}_{wc} = \frac{\sum fi X_i}{\sum fi}, \underline{Y}_{wc} = \frac{\sum Y_i fi}{\sum fi} \quad (3)$$

Formül 3'deki \underline{X}_{wc} , X'in ağırlıklı ortalama merkezi \underline{Y}_{wc} , Y'nin ağırlıklı ortalama merkezi fi , i noktasının frekansını göstermektedir. Formülde X'in ortalama merkezi, X değerlerinin frekans değerleri ile çarpımının tüm X değerlerinin frekans değerlerine bölünmesiyle elde edilir. Bu durum Y değerleri için de geçerlidir (Kaya ve ark., 2015).

Standart sapma elipsi analizi, standart uzaklığa yakın bir mekânsal dağılımı ortaya koymaktadır. Fakat standart uzaklıktan, dağılımın doğrultusu ve yönünü belirlemesi açısından farklılık göstermektedir. Bu analizde mesafeler X ve Y yönlerinde ayrı ayrı hesaplanarak belirlenmektedir (Bakak, 2016; Chainey, 2005; CrimeStat III, 2005; Gürbüz ve Karabulut, 2008).

$$S_x = \sqrt{2X \frac{\sum\{(X_i - \underline{X}) \cos \theta - \sum(Y_i - \underline{Y}) \theta\}^2}{N - 2}} \quad (4)$$

$$S_y = \sqrt{2Y \frac{\sum\{(X_i - \underline{X}) \cos \theta - \sum(Y_i - \underline{Y}) \theta\}^2}{N - 2}} \quad (4)$$

Formül 4'deki S_x ; X eksenini, S_y ; Y eksenini, X ve Y ise ortalama merkezi ve θ elips oryantasyonunu ifade etmektedir (URL 7).

Kernel yoğunluk analizi, deprem ile ilgili araştırmalarda yaygın olarak kullanılmakta olup (Woo, 1996; Zuccolo vd., 2013), bu analiz ile meydana gelen depremlerin sıklığı, etki alanı ve tehlikesi belirlenmektedir (Bailey ve Gatrell 1995; Tağıl ve Alevkayalı, 2013; Uysal ve Sunkar, 2024). Bu analiz, tanımlı bir yarıçapa ait çember içerisine düşen noktaların yoğunluğu ile bu kaynaktan itibaren uzaklaştıkça değişiklik gösteren noktasal yoğunluğu göstermektedir. Analizde örnek olarak belirlenen noktanın etrafına dairesel bir alan çizilir ve noktanın bulunduğu yerden dairesel alana doğru 1'den 0'a doğru giden matematiksel bir fonksiyon uygulanır (Atalay ve Say, 2022). Böylece deprem yoğunluklarının alansal dağılımında meydana gelen farklılıklar belirlenerek deprem aktivitesinin yoğunlaştığı yerler belirlenmektedir (Gündoğdu, 2010; Kahraman ve Ünsal, 2014; Uysal, 2024). Kernel

yoğunluğu, aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır (Al-Ahmadi ve ark., 2014).

$$f(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (5)$$

Formül 5'deki K, çekirdek fonksiyonu, h ise bant genişliğini ifade etmektedir. K değeri h değerine göre çekirdek fonksiyonu üzerinde önemli değişiklik yapmadığı için etkisi azdır (Gündoğdu, 2010). Yoğunluk analizlerinde tarama alanı (extend) olarak, harita sınırı kullanılmıştır.

Noktasal yoğunluk analizi: Simple density olarak da bilinen bu yöntemde, hücre değerleri, dairesel şekilde seçilen tarama bölgesine göre hesaplanmaktadır. Mevcut hücre değeri, tarama bölgesi içindeki nesne sayısı alanın büyüklüğüne bölünerek hesaplanmaktadır (Kahraman ve Ünsal, 2014; Bakak, 2016; Uysal, 2024). Böylece noktasal verilerin birbirine yaklaştığı ve kesiştiği alanlarda yoğunluk artmaktadır.

Çizgisel yoğunluk analizi: Çizgisel yoğunluk ile km²'ye kaç kilometre/metre fay düştüğü ve fay yoğunluğunun nerede arttığı belirlenebilmektedir. Ayrıca bu analiz ile faylarda meydana gelen deprem sayısı ya da ortalama deprem büyüklüğü verileriyle o alanın ortalama deprem büyüklüğü yoğunluğu belirlenmektedir. Analiz ile her hücrenin belirli bir yarıçap içerisinde kalan parçasının birim alan başına yoğunluğu hesaplanmaktadır (Kahraman ve Ünsal, 2014).

Ortalama en yakın komşuluk analizi, ilk kez Clark ve Evans (1954) tarafından yapılmış olup birbirine yakın iki nokta arasındaki hesaplanan mesafenin çevresindeki tüm noktalar arasındaki mesafenin ortalaması alınarak hesaplanır (Yakar, 2019; Kaya, 2017). Bu analiz bir alanda hesaplanan mekânsal dağılımın yayılmış (dispersed), kümelenmiş (clustered) dağılım veya rastgele (random) dağılım tiplerinden hangisinin içinde bulunduğunu belirlemek amacıyla kullanılmaktadır (Çubukçu, 2020).

$$ANN = \frac{D_o}{D_E} \quad (6.1)$$

Formül 6.1'deki D_o , hesaplanan veri kümesinin en yakınında yer alan komşusuyla aralarındaki mesafenin ortalaması, d_i , i noktasının kendisine komşu olan en yakın noktaya olan doğrusal uzaklığıdır (URL 8).

$$\bar{D}_o = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (6.2)$$

Formül 6.2'deki D_E , rastgele dağılımda en yakın komşuya uzaklık, n, veri kümesinin toplam nokta sayısını, A, toplam çalışma alanıdır (URL 8).

$$D_E = \frac{0,5}{\sqrt{\frac{n}{A}}} \quad (6.3)$$

Bu analizde hesaplanan Z puanı, -1.96'dan düşük veya 1.96'dan büyükse anlamlı kümelenme veya dağılımın meydana geldiğini göstermektedir (p < 0.05). Z puanı değeri -1.96 ile 1.96 arasında çıkarsa rastgele bir dağılım meydana gelmektedir (Mitchell, 2005).

Anselin Yerel Moran's I Analizi, gözlemlenen ortamdaki benzer ve benzer olmayan mekânsal ilişkileri belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Analiz sonucunda yüksek I değeri yüksek ya da düşük değerlerden oluşan kümelenmeyi, düşük I değeri birbirine benzemeyen değerlerin meydana geldiği kümelenmeyi ifade etmektedir (Anselin, 1995; Yakar, 2019; Akyürek ve Arslan, 2018; Alevkayalı ve Dindar, 2022).

$$I_i = \frac{w_i - \bar{X}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij} (x_j - \bar{X}) \quad (7)$$

Formül 7'deki n, veri setindeki nokta sayısını; x_j , veri setindeki i değerinin özelliği; \bar{X} mevcut değerlerin ortalama değerini (deprem büyüklüklerinin ortalaması); w_{ij} , i ve j veri noktaları arasındaki mekânsal ağırlık değerini ifade etmektedir (Anselin, 1995).

Sıcak-soğuk nokta analizi (Getis-Ord Gi*), Getis ve Ord (1992) tarafından önerilen bu analiz, daha sonraki yıllarda Ord ve Getis (1995) tarafından detaylandırılmıştır. Bu analizde belli bir alanda istatistiksel açıdan anlamlı sıcak ve soğuk noktaların kümelenme bölgeleri belirlenmektedir. Soğuk noktalar düşük değişken değerlerine sahip kümeleri, sıcak noktalar ise yüksek değişken değerlerinin meydana getirdiği kümeleri ifade etmektedir (Getis ve Ord, 1992; Ord ve Getis, 1995). Böylece komşu bölgelerdeki benzer değerler pozitif mekansal otokorelasyon olarak tanımlanırken, farklı değerler ise negatif otokorelasyon olarak ifade edilmektedir (Levine, 2013). Analizi yapılan her değer için Z puanı hesaplanarak güven aralığı belirlenmektedir. Z puanı değerleri -1 ile +1 arasında değişmekte olup "0" (sıfır)'a yaklaşma düşük mekânsal kümelenmenin olduğu rastgele dağılımı, -1'e doğru dağınık, +1'e doğru ise yoğun kümelenme olduğunu ifade etmektedir (Al-Ahmadi ve ark., 2014; Affan ve ark., 2016).

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2}{n-1}}} \quad (8)$$

Formül 8'deki n, örneklemden nokta sayısını; x_j , veri setindeki j noktasına ait değerinin özelliğini; w_{ij} ise, i ve j noktası arasındaki yakınlık ilişkisini ifade etmektedir (Ord & Getis, 1995; Al-Ahmadi ve ark., 2014; Affan ve ark., 2016).

5. Bulgular

Malatya ilinin deprem analizinde, Malatya ili sınırlarını ve çevresini kapsayan alanda BDTİM'in 1900-2024 yılları arasında, $M \geq 4$ büyüklüğündeki deprem verileri kullanılmıştır. Mekânsal analiz sonuçlarına göre DAFZ ve MFZ üzerinde depremlerin yoğunlaştığı belirlenmiştir. Depremlerin episantr dağılımlarına göre büyük depremler Malatya güneyinde DAFZ üzerinde birbirlerine yakın şekilde linear bir hat boyunca yoğunluk kazanmıştır. Bu hat ilin güneybatısında Nurhak'tan başlayarak Hazar Gölü'ne kadar KD-GB doğrultusunda devam etmektedir. MFZ boyunca meydana gelen depremlerin analizinde de çizgisel

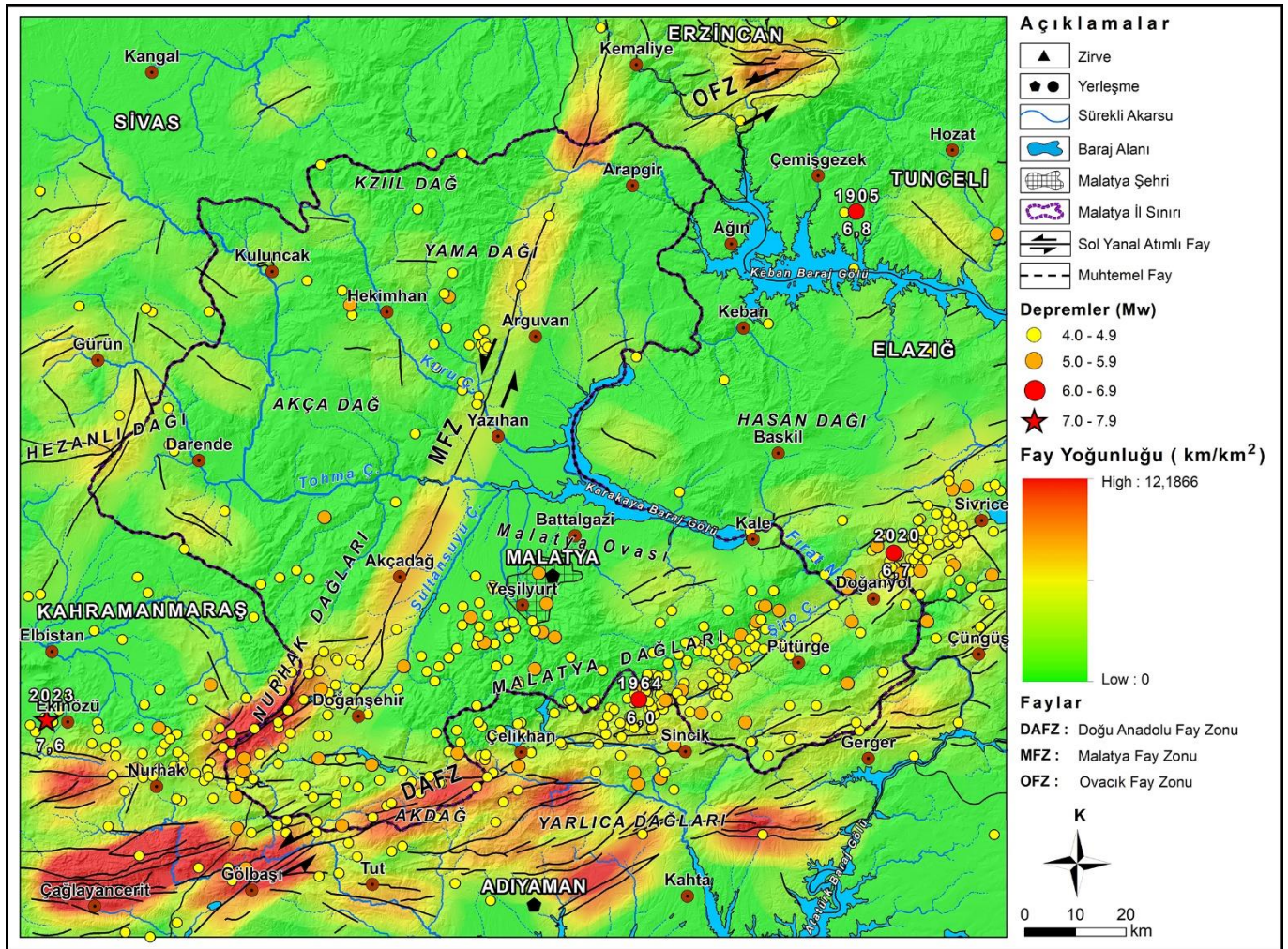
yoğunluk görülmektedir. MFZ ile DAFZ'nin birleşme alanında deprem yoğunluğu artarken MFZ'nin kuzeyinde yoğunluk düşmektedir. MFZ ile Ovacık Fay Zonu'nun (OFZ) kesişme alanına karşılık gelen Hekimhan ve Arapgir ilçeleri ile Yama Dağı çevresinde oluşan depremler birbirlerinden uzakta dağınık bir dağılışı özelliği göstermektedir (Şekil 7).

5.1. Fay Yoğunluğu Analizleri

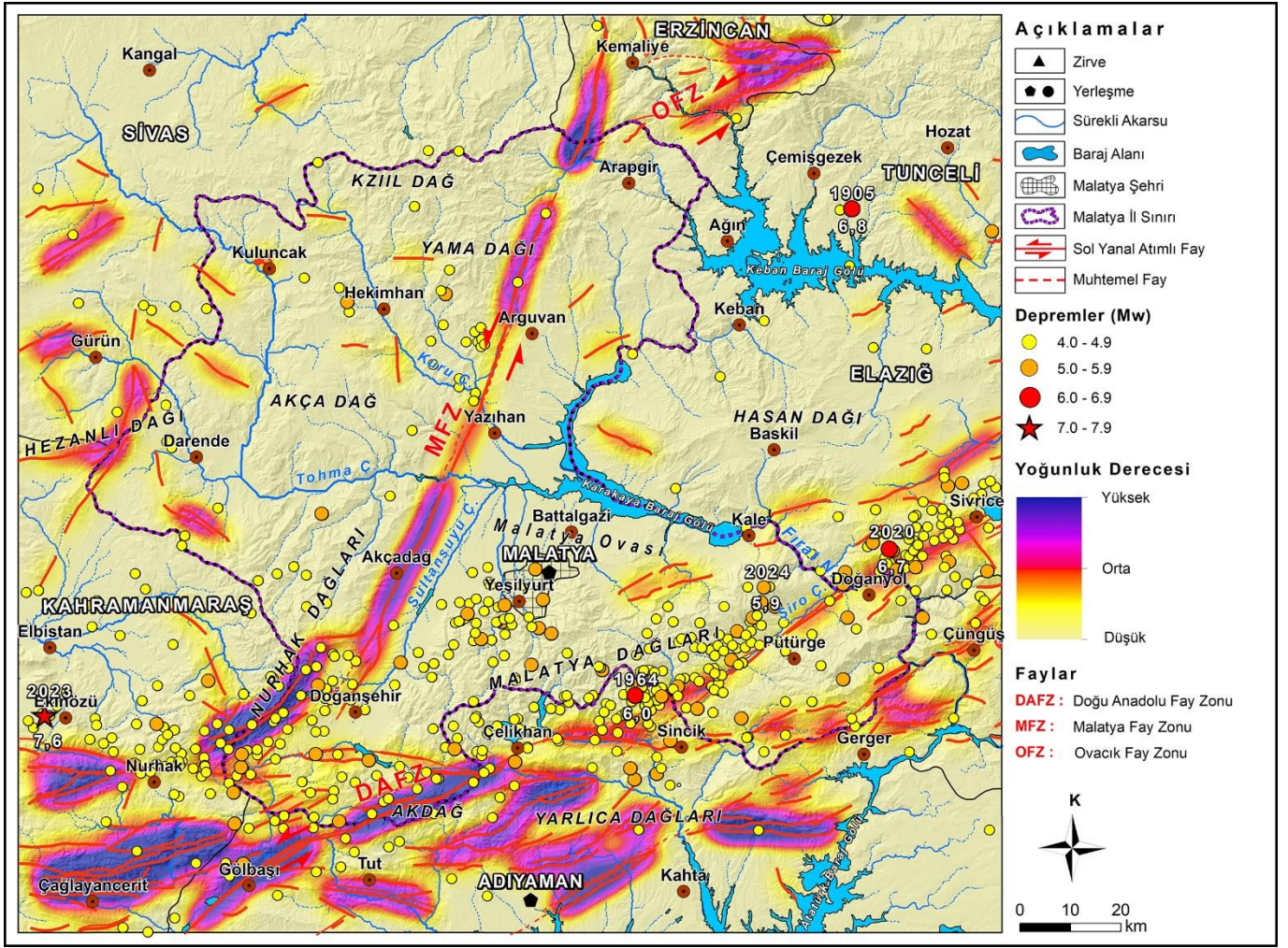
Bir sahada meydana gelen depremler doğrudan aktif faylar ile ilişkili olduğundan deprem analizlerinden önce Malatya ili ve çevresinin fay yoğunluk analizleri yapılmıştır. Emre ve diğ., (2013) göre hazırlanan tektonik harita kullanılarak çizgisel ve Kernel yoğunluk yöntemine göre fay yoğunluğu analiz edilmiştir. Fay yoğunluğu haritasına göre incelenen alanda yoğunluk, 0-12.19 km/km² arasında değişmekte olup ortalama fay

yoğunluğu 0.80 km/km²'dir. Malatya ili güney ve güneybatısında Malatya ile Adıyaman arasında DAFZ üzerinde fay yoğunluğu maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Çünkü bu bölge DAFZ ile MFZ'nin kesişim alanına karşılık geldiğinden dolayı yoğun bir deformasyon meydana gelmiş olup km²'de fay yoğunluğu artış göstermektedir. Bu alan dışında DAFZ ve MFZ boyunca normal yoğunluk görülmektedir. Fakat Erzincan güneyinde OFZ üzerinde de yoğunluk yüksektir (Şekil 8).

Faylar, çizgisel yoğunluk analizi dışında Kernel yoğunluk analizi ile değerlendirilerek sonuçları karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçları yaklaşık % 100'e yakın benzerlik göstermektedir. Kernel yoğunluk analizinde de fayların yoğunluğu Malatya-Adıyaman arasında DAFZ üzerinde çok yüksektir. MFZ üzerinde belli lokasyonlarda yoğunluk artarken, OFZ üzerinde de yükselmektedir (Şekil 9).



Şekil 8. Malatya ili ve çevresinin fay yoğunluğu haritası



Şekil 9. Malatya ili ve çevresinde Kernel yoğunluk analizine göre hazırlanan fay yoğunluğu haritası

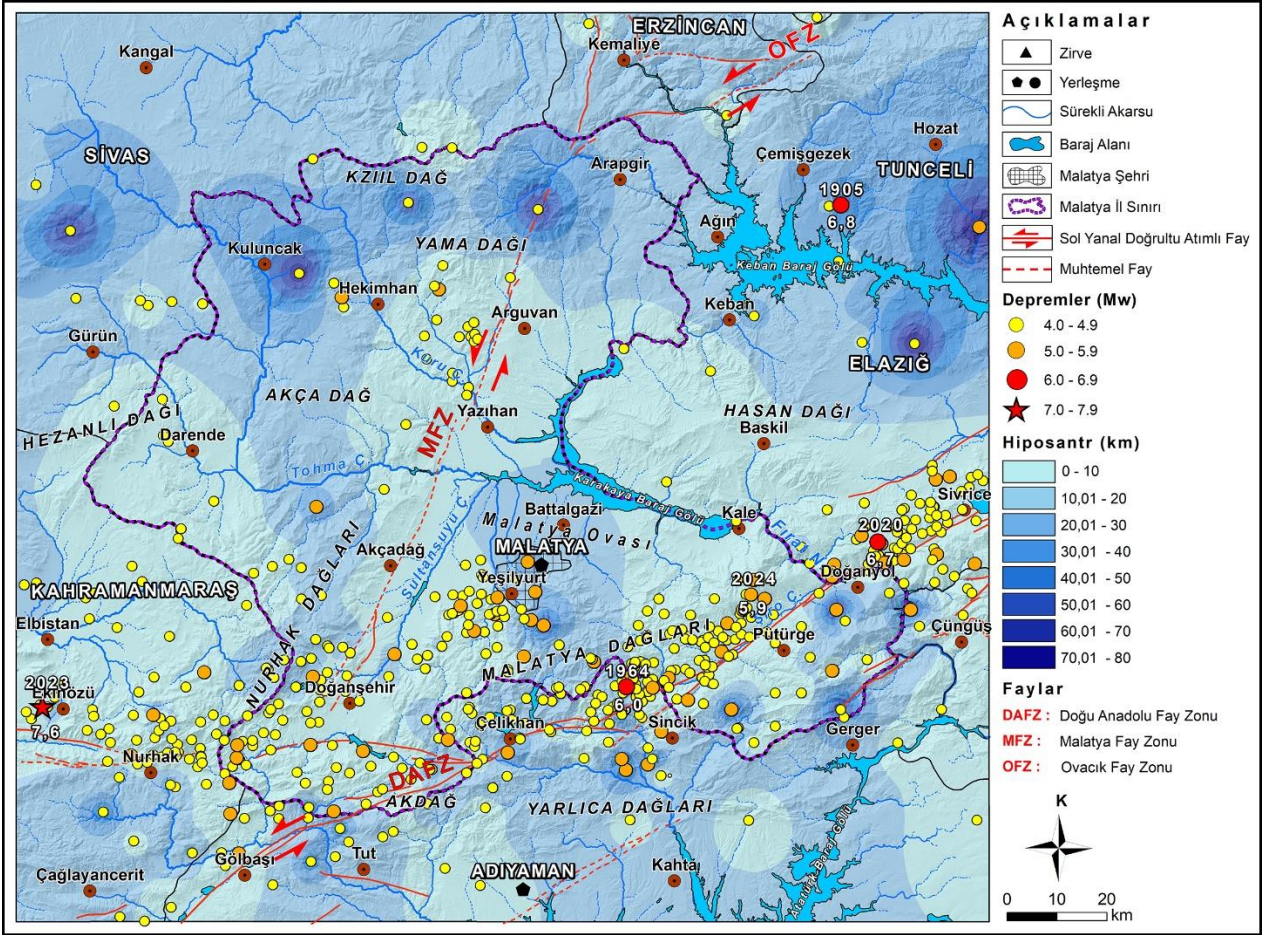
5.2. Mekânsal Dağılım Analiz Sonuçları

Malatya ve çevresinde aletsel dönemde meydana gelen $M \geq 4$ depremlerin hiposantr derinliklerine göre büyük bölümü 0-15 km arasında sığ depremlerden oluşmaktadır. Magnitüdü 6 ve üzeri olan depremlerin odak derinliği ise en fazla 30 km'yi bulmaktadır. Fakat magnitüdü 4.5 ve daha yüksek olan bazı depremlerin odak derinlikleri ise 80 km'ye kadar çıkabilmektedir. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş ($M_w=7.6$) Depremi 5 km derinlikte sığ özelliğe sahip bir depremdir. DAFZ üzerinde odak derinliği az sığ depremlerde yoğunluk yüksek iken DAFZ ve MFZ'de uzaklaştıkça yoğunluk düşmektedir. Malatya kuzeyinde deprem yoğunluğunun azaldığı alanlarda, derin odaklı depremlerin meydana gelmesi deprem yoğunluğu ile odak derinliği arasında ters ilişki olduğunu göstermektedir (Şekil 10).

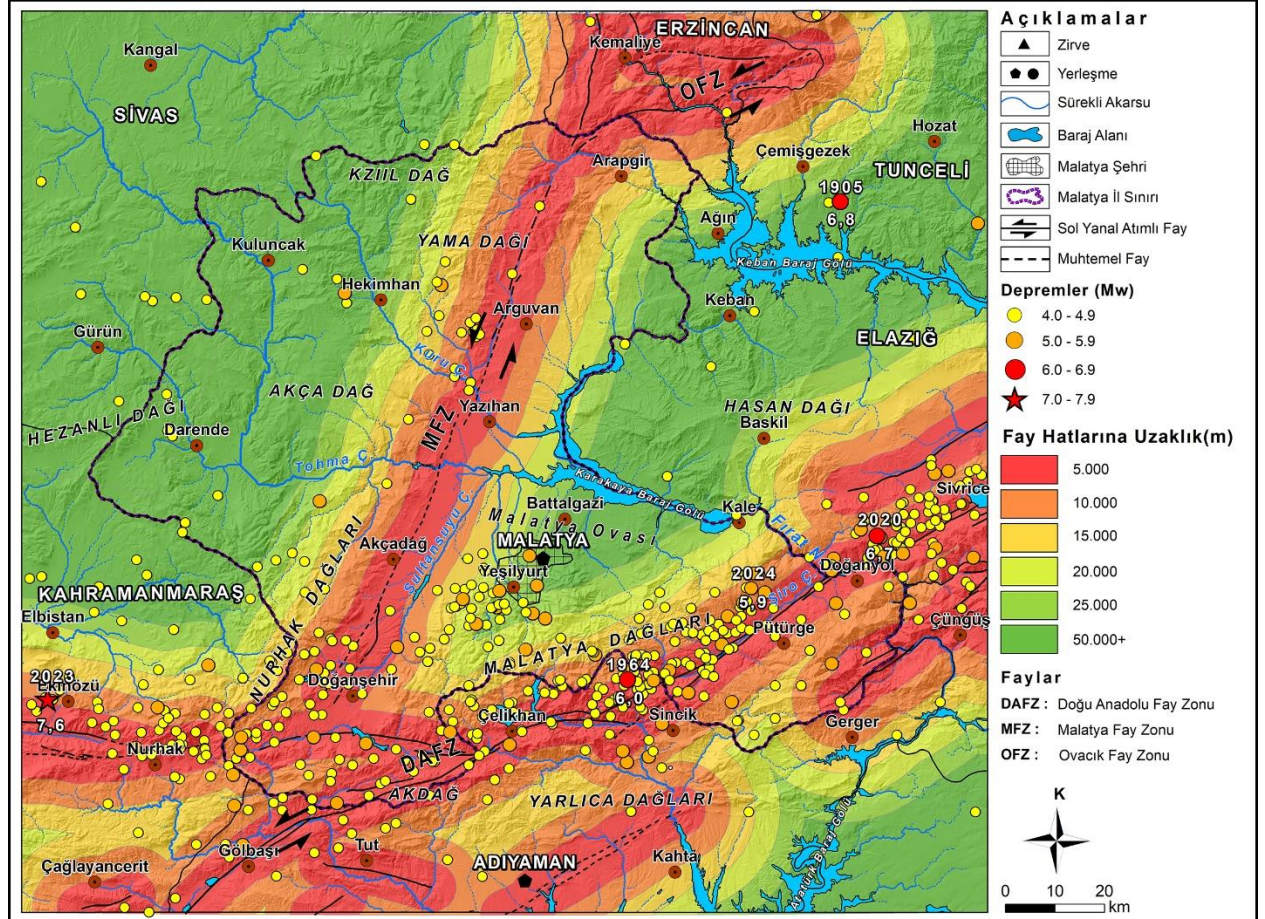
Ana fay hatlarına 5 km olan uzaklığa göre yapılan tampon (Buffer) analizine göre kırmızı ve turuncu renk ile belirtilen fay hattına 10 km'lik mesafelerde kalan alanlar depremler açısından en riskli alanlardır. Dört ilçe merkezi MFZ üzerinde ve bu analize göre yüksek deprem riski olan alanlarda yer almaktadır. Bu analizde DAFZ'da sadece ana faylar dikkate alınmış olduğundan Malatya şehrinin kurulduğu alan düşük riskli görülmektedir. Fakat şehrin güneyinden geçen Yeşilyurt Fayı dikkate

alındığında Malatya ve doğusundaki ilçe merkezleri de deprem riskinin yüksek olduğu alanlarda yer almaktadır. İki fay zonu il sınırları içerisinde kesişerek büyük bir makas oluşturması ve MFZ'nin ili tam ikiye bölmesi deprem riskinin yüksek olduğu alanların oranını artırmaktadır. Fay hatlarına yakınlık dışında büyük yerleşmelerin kuruluş yerlerinin litolojik ve jeomorfolojik özellikleri deprem riskini belirleyen faktörler olarak ön plana çıkmaktadır (Şekil 11).

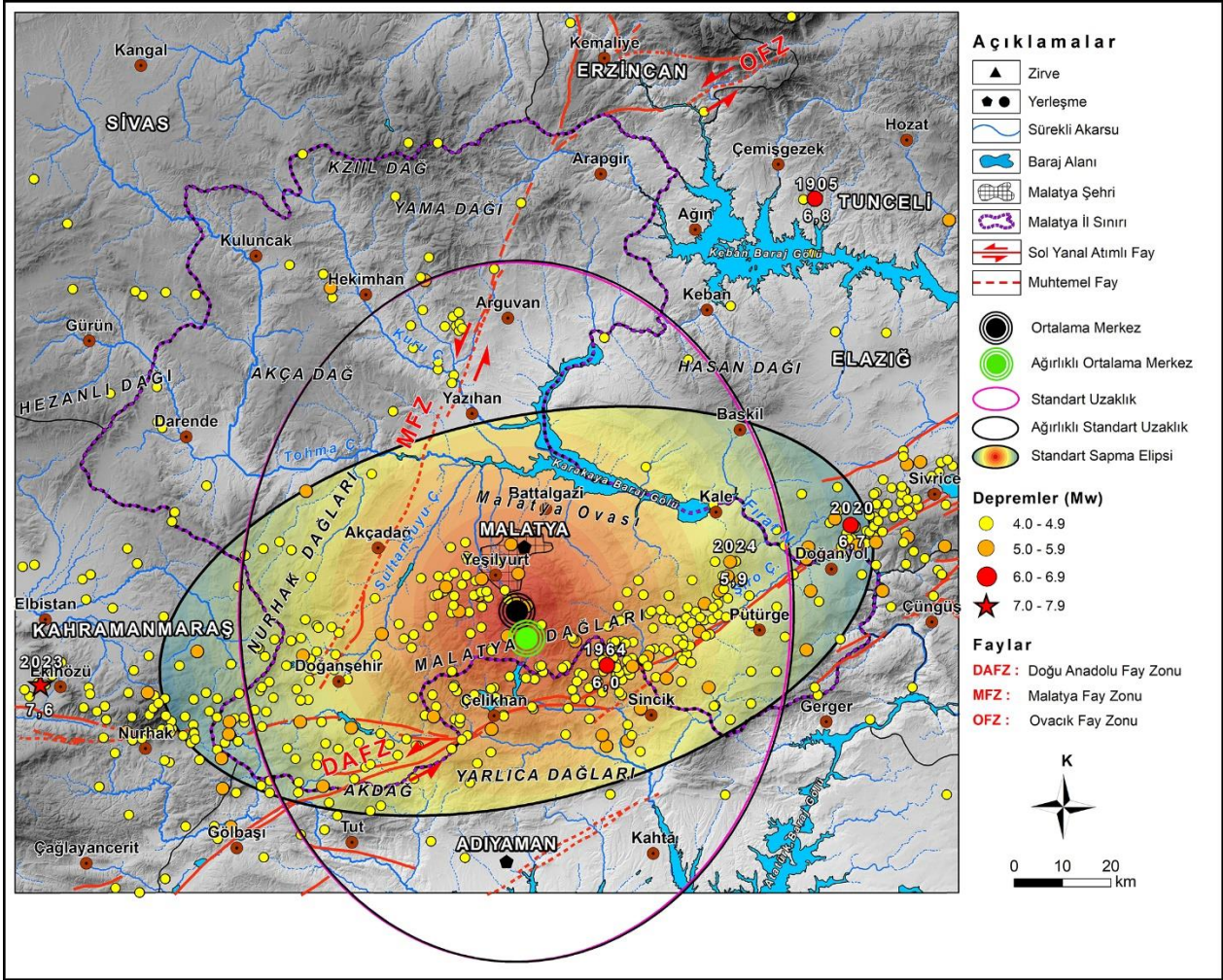
Ortalama merkez ve ağırlıklı ortalama merkez analizi sonuçlarına göre, ortalama merkez noktası $38^{\circ} 13'$ kuzey enlemi, $38^{\circ} 17'$ doğu boylamına karşılık gelmektedir. Bu merkez, inceleme alanında Yeşilyurt ilçesine bağlı Kozluk köyü sınırları içinde bulunmaktadır. Ağırlıklı ortalama merkez ise $38^{\circ} 10'$ kuzey enlemi, $38^{\circ} 20'$ doğu boylamı üzerinde, Yeşilyurt ilçesine yakın Öncü köyüne yakın alanda kalmaktadır. Ağırlıklı ortalama merkezi, mekânsal dağılımın çekim merkezine karşılık gelmektedir (U.S. Department of Commerce, 2001, Karabulut, 2014). Bu nokta aynı zamanda ortalama merkez noktasının güneyine düşmektedir. Bu analizlerin sonuçlarında ulaşılan merkezlerin birbirine yakın olması depremlerin frekans ve büyüklüklerinin benzer olduğu ve bu alanda depremlerin yoğunlaştığını göstermektedir (Şekil 12).



Şekil 10. Malatya ili ve çevresindeki depremlerin hiposantr yoğunluklarının dağılışı



Şekil 11. Malatya ili ve çevresindeki depremlerin tampon (buffer) analizi sonuçları



Şekil 12. Malatya ili ve çevresinde aletsel dönem depremlerinin ($M \geq 4$) ortalama merkez ve ağırlıklı ortalama merkez analiz sonuçlarının dağılış haritası

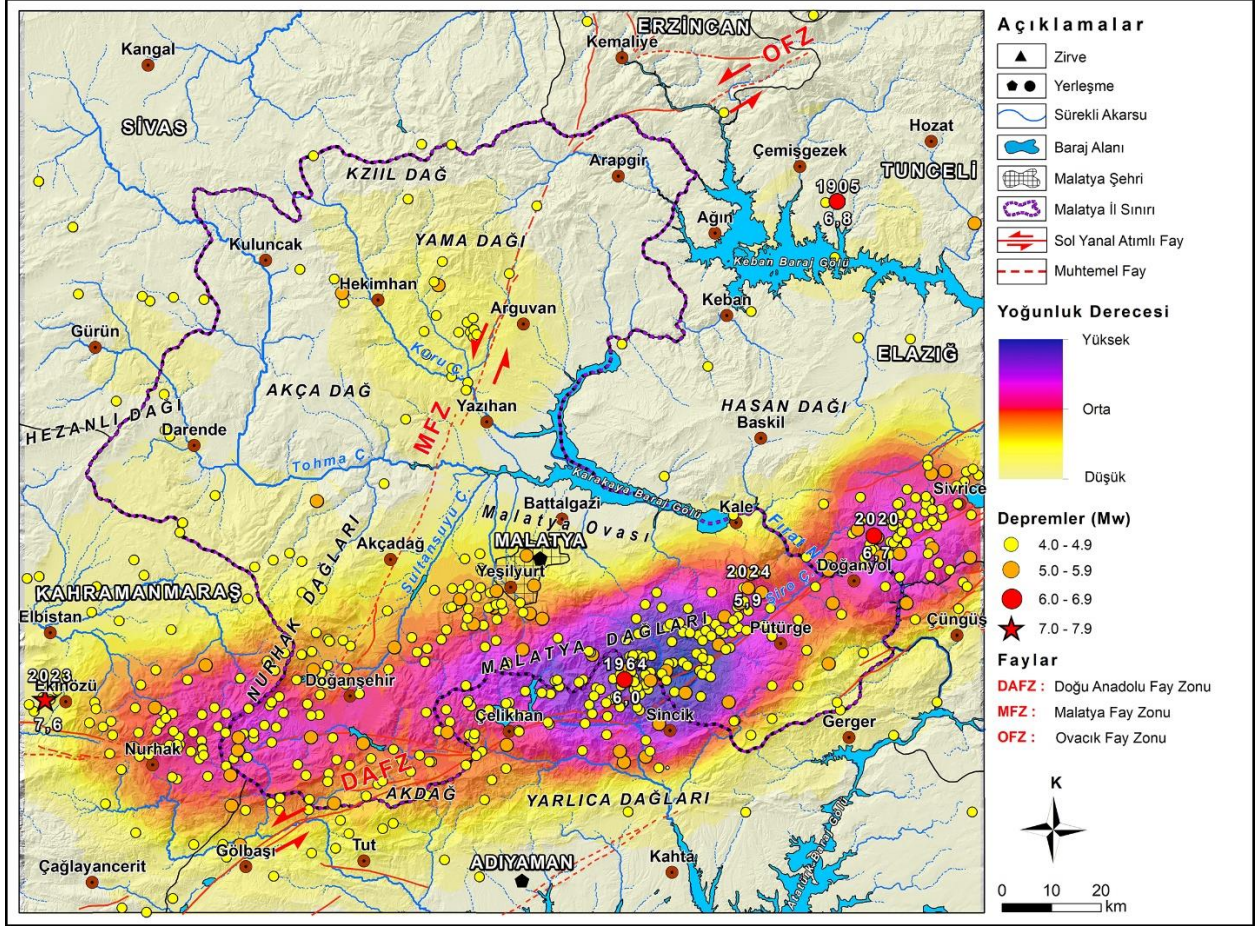
Aletsel dönem depremlerinin standart uzaklık ve ağırlıklı standart uzaklık analizi sonuçlarına göre çemberlerin ikisi de birbirine benzer ve elips şeklindedir. Çemberlerin kuzey sınırı Arguvan, güney sınırı ise Atatürk Baraj Gölü'ne kadar genişlemektedir. Malatya çevresinde fayların kesişmesi, kümelenmesi ve depremlerin bu alanda yoğunlaşması çemberlerin elips şeklinde olmasını sağlamıştır. Ayrıca depremlerin ana fay doğrultusundaki dağılımı da buna destek olmuştur. Analize göre oluşan çemberlerin içerisindeki en büyük yerleşme merkezini Malatya oluşturmaktadır. Dört ilçe merkezi dışında Malatya'nın bütün ilçe merkezlerinin bu çemberler içerisinde yer alması Malatya il geneli için deprem riskinin önemli olduğunu göstermektedir. Bu analiz sonuçlarına göre geniş bir alanda meydana gelen depremlerin ağırlık merkezlerinin Malatya'ya çok yakın olması kent için dikkate alınması gereken önemli bir sonuçtur (Şekil 12).

Standart sapma elipsi analizi sonuçlarına göre oluşan elips ile DAFZ'nin doğrultusu uyumludur. Elipsin doğusunda kalan depremler odaksal kümelenme özelliği gösterirken, batısında kısmen dağınık bir kümelenme meydana gelmiştir. Kuzey ve güneyde standart sapma elipsinin dışında kalan alandaki depremler ana faylardan bağımsız olarak dağınık bir dağılış deseni sergilemektedir (Şekil 12).

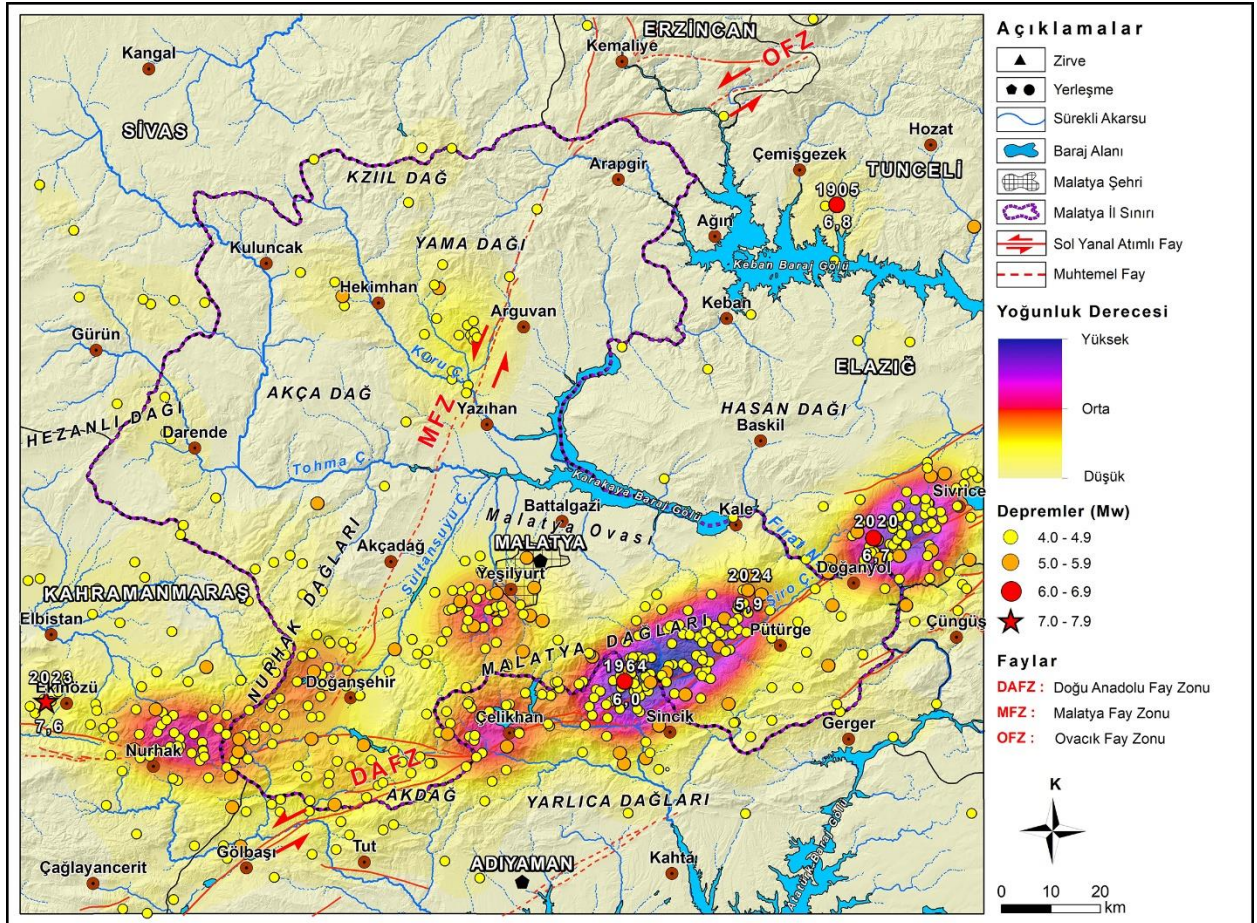
5.3. Mekânsal Yoğunluk Analiz Sonuçları

Malatya ili ve çevresindeki $M \geq 4$ depremlerin yoğunluk analizine göre oluşan depremler birbirine yakın konumda olup DAFZ boyunca yoğunluk artmaktadır. Bu zon boyunca mor ve kırmızı renklerin olduğu alanlarda deprem yoğunluğu yüksektir. İlin kuzeyinde depremlerin güneye göre daha az olması yoğunluğun düşük çıkmasını sağlamıştır. Kuzeyde Yazihan, Hekimhan ve Arguvan çevresinde deprem yoğunluğunda kısmi bir artış gözlenmektedir (Şekil 13).

Kernel yoğunluk analizine göre depremlerin yoğunluklarının dağılışı ile nokta yoğunluk dağılışı arasında benzerlik bulunmaktadır. Noktasal analizlerde yoğunluğun yüksek olduğu alanlar ile Kernel analizinde yoğunluğun fazla olduğu bölgeler arasında alansal dağılıştaki farklılık görülmektedir. Kernel yoğunluk analizinde $M \geq 4$ depremlerin Malatya güneyinde KD-GB doğrultusunda belli bir zonda yoğunlaştığı belirlenmiştir. Deprem yoğunluğunun Çelikhan batısında DAF'dan ayrılan Sürgü-Çardak segmentine doğru kaydığı görülmektedir. Bu durum 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri ve artçılarıyla ilişkilidir (Şekil 14). Bu yoğunluk analizi sonuçlarına göre depremlerin fay zonları üzerinde belli alanlarda kümelenmediği görülmektedir.

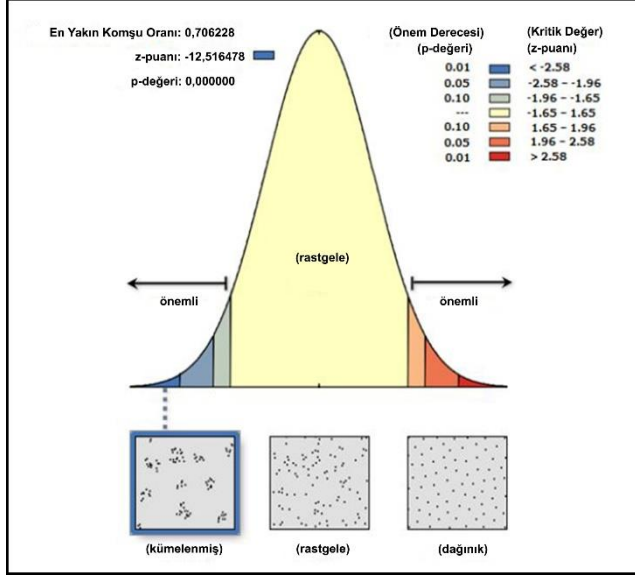


Şekil 13. Malatya ili ve çevresinde depremlerin noktasal yoğunluk analizi sonuç haritası



Şekil 14. Malatya ili ve çevresinde depremlerin Kernel yöntemine göre yoğunluk analizi sonuç haritası

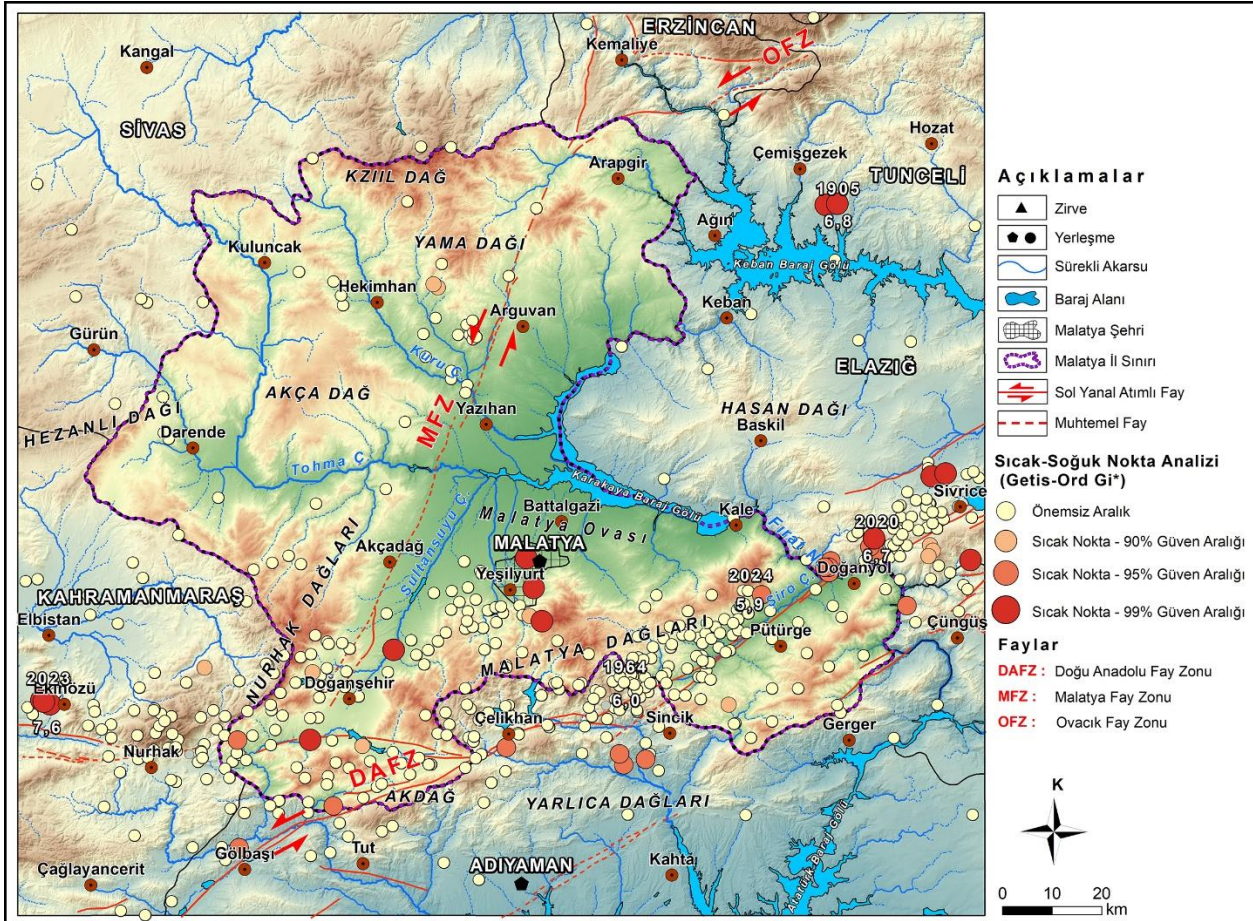
Malatya çevresinde meydana gelen depremlerin mekânsal dağılımı ortalama en yakın komşuluk analizi ile belirlenmiştir. Analiz sonucuna göre Z puanı -12,516478 olup, 1'den küçük olduğu için meydana gelen depremler kümelenmiş bir dağılım deseni göstermektedir. Buna göre $M \geq 4$ depremler Malatya'nın güney ve güneybatısında, fayların kesişme alanlarında ve birbirlerine yakın lokasyonlarda kümelenmektedir (Şekil 15).



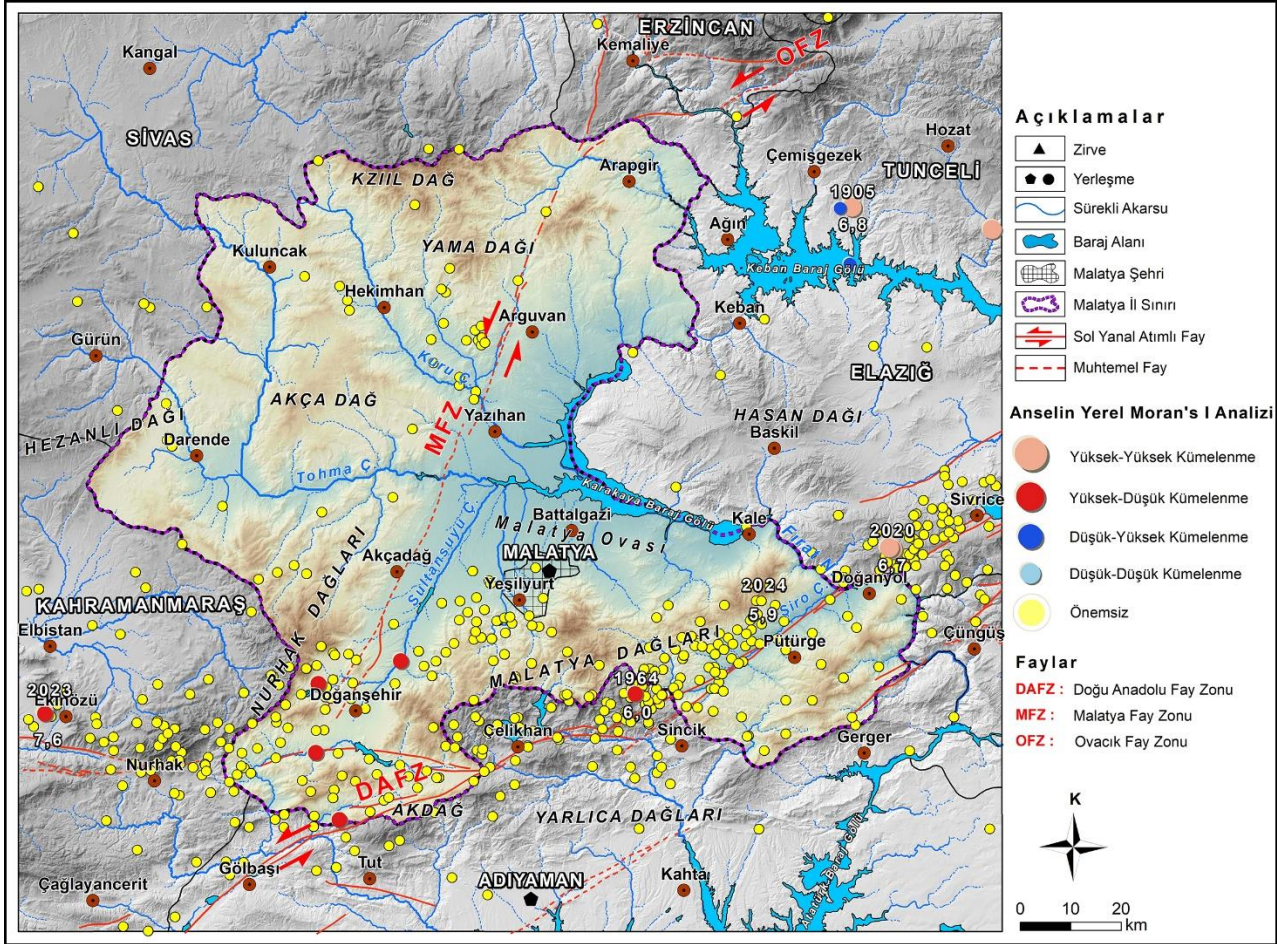
Şekil 15. Malatya ve çevresindeki depremlerin ortalama en yakın komşuluk analizi sonuçları

Sıcak-soğuk nokta analizi sonuçlarına göre sıcak noktalar Malatya güneyinde anlamlı kümelenme göstermektedir. Sıcak noktaların % 99 güven aralığında DAFZ üzerinde yer alması analiz sonuçlarını doğrulamaktadır. Sıcak noktaların kümeleri depremlerin nokta ve kernel yoğunluk analizindeki dağılımın aksine belirgin bir saçılma göstermektedir. Sıcak noktalar DAFZ'a paralel ve DAF'ın segmentleri üzerinde dağınık form özelliğinde fakat anlamlı bir kümelenme oluşturmuştur. Malatya kuzey ve kuzeybatısında ise anlamlı bir kümelenme oluşmamıştır. Analize magnitüdü 4'den küçük olan depremler dâhil edilmediğinden haritadaki dağılımı soğuk noktalara ait sonuçlar bulunmamaktadır (Şekil 16).

Anselin Yerel Moran's I analizi sonuçlarına göre en yüksek kümelenmeler Malatya doğusunda Pütürge ve Sivrice arasında görülmektedir. Bu alan dışında diğer analizlerde olduğu gibi Malatya'nın güney ve güneybatısında yüksek kümelenme belirlenmiştir. Benzer değerlerin olduğu yüksek kümelenmeler olduğu alanlar fay zonlarının kesişme alanları ile büyük depremlerin meydana geldiği alanlara karşılık gelmektedir. Yüksek kümelenme dışında kalan alanlar birbirine benzemeyen değerlerden oluştuğu için önemsiz sınıflandırma grubunda yer almaktadır (Şekil 17). Ancak bu analiz sonuçlarında belli alanlar ön plana çıksa da DAFZ üzerinde önemsiz sınıflama grubunda kalan diğer analizlerde deprem yoğunluğunun yüksek olduğu alanlarda yer almaktadır.



Şekil 16. Malatya ve çevresindeki depremlerin Sıcak-Soğuk Nokta analizleri sonuç haritası



Şekil 17. Malatya ve çevresindeki depremlerin Anselin Yerel Moran's I analizleri sonuç haritası

6. Sonuçlar

Malatya ilinin güneyi tektonik bakımdan çok aktif olan DAFZ üzerinde yer almaktadır. Bu zon dışında ilin tam merkezinden geçen KD-GB doğrultulu MFZ'nin varlığı ve bu fay zonlarına bağlı oluşan depremler ili etkilemektedir. Bu iki fay zonunun ilin güneybatısında kesişmesi ve DAFZ'nin segmentlere ayrılması bu alanda deprem yoğunluğunu artırmaktadır. Bölgede 2000 yılından sonra DAFZ üzerinde depremlerin frekansında ciddi artış yaşanmıştır. Bu hareketlilik bazı dönemlerde şiddetli depremlerin meydana gelmesine neden olmuştur. 24 Ocak 2020 Sivrice-Elazığ depremiyle başlayan hareket adeta 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri ile zirveye ulaşmıştır. 6 Şubat 2023 depremlerinin ikincisini oluşturan 7.6 büyüklüğündeki Ekinözü-Elbistan depremi Malatya ilinde fazla can kaybı ve büyük mal kayıplarına neden olmuştur. Bu depremten sonra 1.5 yıl geçmesine rağmen büyük artçıların yaşanması bölgedeki tektonik hareketin ve riskin devam ettiğini göstermektedir. Bölge bu tektonik konumu nedeniyle tarihsel ve aletsel dönemde şiddetli depremlerden etkilenmiş ve bu etki günümüzde de devam etmektedir.

Malatya ilinin bu konumu nedeniyle Malatya ve çevresinde $M \geq 4$ deprem verileri kullanılarak analizler yapılmıştır. Depremler ile fay hatları arasındaki ilişki dikkate alınarak öncelikle fay yoğunluğu analizi yapılmıştır. Bu analiz sonuçları ile depremlerin noktasal dağılışı yoğunluğu birbiriyle uyumlu olarak Malatya ve Adıyaman arasında yoğunlaştığı belirlenmiştir. Nokta ve

Kernel yoğunluk analizlerinde $M \geq 4$ depremlerin Malatya güneyinde DAFZ üzerinde, Malatya güneybatısında ise Çardak Fayı üzerinde yoğunlaştığı belirlenmiştir. Mekânsal analiz verileri depremlerin DAFZ ile MFZ'nin kesişme alanı başta olmak üzere Nurhak-Çelikhan, Çelikhan-Pütürge ve Doğanyol-Sivrice arasında yoğunlaştığını göstermektedir.

Hiposantr analiz sonuçlarına göre DAFZ üzerinde sığ odaklı, MFZ üzerinde derin odaklı depremler meydana gelmektedir. Ortalama merkez, ağırlıklı ortalama merkez analizi sonuçlarına göre ortalama merkez noktaları birbirine yakın, standart sapma elipsi analizi sonuçlarına göre elips DAFZ ile uyumlu konumdadır. Sıcak noktalar (hot-spot) Malatya güneyinde anlamlı kümelenme göstermekte, % 99 güven aralığında sıcak noktalar DAFZ üzerinde yer almaktadır. Anselin Yerel Moran's I analizine göre en yüksek kümelenmeler fayların kesişme sahası ve büyük depremlerin meydana geldiği Malatya doğusunda Pütürge ve Sivrice arasında, Malatya'nın güney ve güneybatısında görülmektedir. Bütün mekânsal analiz sonuçları birbiriyle ve fay zonları ile uyumludur. Yoğunluk analizi sonuçlarına göre büyük depremlerin DAFZ üzerinde belli alanlarda kümelenmesi görülmektedir. Fay ve deprem yoğunluğunun yüksek olduğu, depremlerin kümelenmesi ve sıcak nokta özelliği gösterdiği sahaslar, planlama çalışmalarında odak alanlar olarak kabul edilmelidir. Bu alanlarda kırsal ve kentsel yerleşmelerin kuruluş ve gelişmesinde daha hassas planlama yapılmalıdır. Bu şekilde deprem riski azaltılarak yerleşmelerin dirençliliğini artırmak mümkündür.

Sonuç olarak Malatya ili ve çevresi için yapılan deprem analizleri, sismik aktivitesinin yoğunlaştığı alanları belirlemede sağlıklı sonuçlar ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar kentsel dirençlilik ve yüksek deprem riski olan alanların belirlenmesinde depremlerin mekânsal ve yoğunluk analizlerinin düşük maliyetli olduğu ve kentsel planlama çalışmalarında kullanılmasının önemli olduğunu göstermektedir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Makaleye ait verilmesi gereken bilgilerin (destek, teşekkür vb.) okuyucu ile paylaşılacağı bölüm.

Araştırmacıların katkı oranı

Ahmet Uysal: Literatür taraması, Makale yazımı, Sayısal Analizler, Düzenleme; **Murat Sunkar:** Arazi çalışmaları, Makale yazımı, Düzenleme; **Vedat Avcı:** Makale yazımı, Sayısal Analiz, Düzenleme

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- AFAD. (2020). 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Mw 6.8 Depremine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu 2020, T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- AFAD. (2023). 06 Şubat 2023 Kahramanmaraş (Pazarcık ve Elbistan) Depremleri Saha Çalışmaları Ön Değerlendirme Raporu.
- Affan, M., Syukri, M., Wahyuna, L. & 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. <https://doi.org/10.13170/aijst.5.2.4878>.
- Akgül, M., & Etili, S. (2023). 06 Şubat 2023 Kahramanmaraş (Pazarcık, Elbistan) Depremleri Sonrası Betonarme Binalarda Gözlenen Hasar Durumları. *International Conference on Scientific and Innovative Studies. All Sciences Proceedings*, 1(1), 309-318. <https://doi.org/10.59287/icsis.618>.
- Aksoy, E., Akgün E., Softa M., Kocbulut, F., Sozibilir, H., Tatar, O., & Erol S. C. (2023). Effect on the Eastern Anatolian Fault Zone Erkenek and Pazarcık Segments of the 6 February 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) Earthquake: Observations from Celikhan-Golbaşı (Adıyaman), *Türk Deprem Araştırma Dergisi* 5(1), 85-104. <https://doi.org/10.46464/tdad.1280408>.
- Aksoy, E., İnceöz, M., & Koçyiğit, A. (2007). Lake Hazar Basin: A Negative Flower Structure on the East Anatolian Fault System (EAFS), SE Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, 319-338. <https://journals.tubitak.gov.tr/earth/vol16/iss3/3>.
- Aktepe, E., ve Aydın, C. (2013). İzmir çevresinde yapılan sismotektonik araştırmaların CBS ve mekânsal istatistik yöntemleri kullanılarak değerlendirilmesi. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, Ankara, Türkiye.

- Aktimur, S. (1979). Malatya-Sivas Dolayının Uzaktan Algılama Yöntemiyle Çizgiselliklerinin İncelenmesi. MTA Rapor No:66-51.
- Aktuğ, B. Parmaksız, E., Kurt, M., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., Gürdal, M, A., Özdemir, S. (2013b). Deformation of Central Anatolia: GPS implications. *Journal of Geodynamics* 67, 78-96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jog.2012.05.008>.
- Aktuğ, B., Dikmen, U., Doğru, A., Ozener, H. (2013a). Seismicity and strain accumulation around Karlıova Triple Junction (Turkey). *Journal of Geodynamics* 67, 21-29.
- Akyürek, Ö. & Arslan, O. (2018). Kocaeli İli ve Çevresinde (1900-2016) Yılları Arasında Gerçekleşen Tarihsel Depremlerin Konumsal İstatistik Analizi. *Geomatik*, 3(1), 48-62. <https://doi.org/10.29128/geomatik.333104>.
- Akyürek, Ö. (2023). Türkiye'deki 2000 - 2021 Yılları Arasındaki Bitki Örtüsü Yangınlarının Mekânsal Analizi. *Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi*, 4(1), 33-46. <https://doi.org/10.48123/rsgis.1179051>.
- Al-Ahmadi, K., Al-Amri, A. & See, L. (2014). A Spatial Statistical Analysis of the Occurrence of Earthquakes Along the Red Sea Floor Spreading: Clusters of Seismicity. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(7), 2893-2904. <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-013-0974-6>.
- Alevkayalı, Ç., & Dindar, H. (2022). Kıbrıs Adası ve Çevresinde Depremlerin Zamansal ve Mekânsal Dağılımı: Jeostatistiksel Bir Yaklaşım. *Yerbilimleri*, 43 (3), 197-211. <https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.1008258>.
- Allen, D. W. (2013). *Gis Tutorial 2 Spatial Analysis Workbook for Arcgis 10.3.x*. Esri Press California.
- Ambraseys, N. (2009). *Earthquakes in the Mediterranean and Middle east: a multidisciplinary study of seismicity up to 1900*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139195430>.
- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), 93-115. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>.
- Arpat, E., & Şaroğlu, F. (1972). Doğu Anadolu Fayı ile İlgili Bazı Gözlemler ve Düşünceler. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi*, 78, 44-50.
- Asutay, H. J. (1988). 1:100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Malatya-K41 Paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Jeoloji Etütleri Dairesi. No: 86. Ankara.
- Atalay, A., & Say, İ. (2022). Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Bisiklet Yolu Güzergâhı Araştırması. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(2), 356-362. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1014733>.
- Bahadır, M., Ocak, F., & Şen, H. (2024). Determination of the development of settlements above earthquake susceptibility classes in Atakum district (Samsun/Türkiye). *International Journal of Engineering and Geosciences*, 9 (3), 390-405. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1465072>.
- Bailey, T. C. & 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. <https://doi.org/10.17824/yrb.17485>.
- Balkaya, M. (2022). Sürgü ve Çardak Faylarının (Doğu Anadolu Fay Zonu) Morfotektonik ve Paleosismolojik Özellikleri. Doktora Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çanakkale.
- Balkaya, M., Özden, S., & Akyüz, H. S. (2021). Morphometric and Morphotectonic characteristics of Sürgü and Çardak Faults (East Anatolian Fault Zone). *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 7(3), 375-392. DOI: <https://doi.org/10.28979/jarnas.939075>.
- Barka A. A., & Kadinsky-Cade K. (1988). Strike-slip fault geometry and its influence on earthquake activity, *Tectonics*, 7(3), 663-684. <https://doi.org/10.1029/TC007i003p00663>.
- Bayülke, N., Büyükköse, N., İnan, E., Gencoğlu, S., Koşan, U., Hürata, A., Yılmaz, R. (1986). 5 Mayıs ve 6 Haziran 1986 Doğanşehir Depremleri Raporu. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı yayınları, Ankara.
- Bilgiç, T. (2008a). 1:100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Divriği-J39 Paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Jeoloji Etütleri Dairesi. No:85. Ankara.
- Bilgiç, T. (2008b). 1:100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Divriği-J40 Paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Jeoloji Etütleri Dairesi. No:86. Ankara.
- Bilgiç, T. (2008c). 1:100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Divriği-J41 Paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Jeoloji Etütleri Dairesi. No:87. Ankara.
- Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey – a Synthesis. *Geodinamica Acta*, 14, 3-30. <https://doi.org/10.1080/09853111.2001.11432432>.
- Can, İ., & Saka, A. E. (2022). Deprem Sonrası Geçici Barınma Birimleri İçin Alternatif Bir Çözüm Önerisi, *Wikigeb. Online Journal Of Art And Design*, 10(2), 115-125. <https://adjournal.net/articles/102/1029.pdf>.
- Canpolat, F. A., & Bulucu, Y. (2024). Kayseri ilinde deprem tehlikesinin, sezgisel ve istatistiksel modellerle karşılaştırmalı analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 86, 143-159. <https://doi.org/10.17211/tcd.1556195>.
- Chainey, S. (2005). Methods and Techiques for Understandeing Crime and Hot Spots, Special Report (Mapping Crime: Understandeing Hot Spots), USA:National Institute of Justice.
- Clark, P.J., Evans, F. C. (1954). Distance to Nearest Neighbor as a Measure of Spatial Relationships in Populations. *Ecology* 35, 445-453. <https://doi.org/10.2307/1931034>.
- CrimeStat III. (2005). CrimeStat III Manual, Chapter 4 Spatial Distribution, ss.67-85.
- Çubukçu, K. M. (2020). Planlamada ve Coğrafyada Temel İstatistik ve Mekansal İstatistik. Nobel Yayıncılık. Ankara.
- Demir, M., & Altaş, N. T. (2024). Kars kentinde deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanların CBS tabanlı AHP analizlerine dayalı olarak belirlenmesi. *Geomatik*, 9 (1), 123-140. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1375650>.
- Demirel, Y., & Türk, T. (2023). Türkiye’de 2015 ile 2022 yılları arasında meydana gelen orman yangınlarının coğrafi bilgi sistemleri ile zamansal ve mekânsal analizi. *Jeodezi Ve Jeoinformasyon Dergisi*, 10(2), 136-150. <https://doi.org/10.9733/JGG.2023R0010.T>.
- Dewey, J. F., Hempton M. R., Kidd, W. S. F., Şaroglu, F., & Şengör, A. M. C. (1986). Shortening of continental lithosphere: The neotectonics of eastern Anatolia - a young collision zone, in: Coward M.P., Ries A.C. (Eds.), Collision tectonics, *Geological Society Special Publication*, 19, pp. 3-36. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1986.019.01.01>.
- Diler, Z., Özlü, T., & Haybat, H. (2023). Trafik Kazalarının Zamansal ve Mekânsal İncelenmesi: Mersin Şehri Örneği. *Mavi Atlas*, 11(2), 276-296. <https://doi.org/10.18795/gumusmaviatlas.1338005>
- Duman, T. Y., & Emre, O. (2013). The East Anatolian fault: geometry, segmentation and jog characteristics. *Geol Soc* 372, 495-529. <https://doi.org/10.1144/SP372.14>.
- Duman, T. Y., Elmacı, H., Özalp, S., Kürçer, A., Kara, M., Özdemir, E., ... & Uygun Gündoğan, Ç. (2020). Paleoseismology of the western Sürgü-Misis fault system: east Anatolian Fault, Turkey. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 2(3), 411-437. <https://doi.org/10.1007/s42990-020-00041-6>.
- Ekinci, Ö., Akbulut, T., & Kurt, O. (2011). İçme Suyu Mekânsal Karar Destek Sistemi. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 6. Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu 14-15 Ekim 2011, Antalya, 297-305.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. & Şaroglu, 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.
- Erarslan, S., Hatipoğlu, İ. K., Ocak, F., Işık, F., & Zeybek, H. İ. (2024). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde yıkılan binalar ile zemin ilişkisinin incelenmesi ve depremde yıkıma uğrama riski analizi. *Geomatik*, 9 (2), 207-226. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1422639>.
- Erol, O. (1993). Türkiye’nin Doğal Yörelere ve Çevrelere, *Ege Coğrafya Dergisi*, 7, 13-41.
- Fidan, S., Yılmaz, M., Ateş, E., Altundal Öncü, M. (2024). Mekânsal ve Zamansal Perspektiften Ankara’daki Trafik Kazaları: Ölümlü ve Yaralanmalı Olayların Analizi. *Journal of Geography*, 48, 193-211. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2024-1438461>.
- Getis, A., & Ord, J. K. (1992). The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical Analysis* 24, p.189-206. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1992.tb00261.x>.
- Görür, N. & Zabçı, C. (2015). Elazığ ve Yakın Çevresinin Depremselliği: Diri Faylar, Aletsel ve Tarihsel Dönem Depremleri, Tarihten Günümüze Elazığ Uluslararası Kongresi - I Bildiri Kitabı 17-19 Kasım 2014 (573-582) Elazığ, *Atatürk Araştırma Merkezi Yayınları*.
- Görür, N., Oktay, F. Y., Seymen, Ü. & Şengör, A. M. C. (1984). Palaeotectonic evolution of the Tuzgölü basin complex, central Turkey: sedimentary record of a

- Neotethyan closure. In: DIXON, J.E. & ROBERTSON, A.H.F. (eds), *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*. Geological Society, London, *Special Publications* 17, 77-112. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1984.017.01.34>.
- 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.
- Günek, H. & Sunkar, M. (2006). Kurucaova ve yakın çevresinin (Malatya) jeomorfolojik özelliklerinden kaynaklanan sorunlar ve çözüm önerileri, *Türk Coğrafya Dergisi*, 47, 15-38.
- Gürbüz, M., & Karabulut, M. (2008). Fatih Polis Merkez Amirliğinin (Adana) Sorumluluk Sahasında Çocuk Suçlarının CBS İle Haritalandırılması ve Analizi. *Polis Bilimleri Dergisi*, 10(2), 51-78.
- Hepdeniz, K. (2024). Spatial statistical analysis of earthquakes in the Fethiye - Burdur fault zone. *Front. Earth Sci.* 18, 554-564. <https://doi.org/10.1007/s11707-022-1080-4>.
- Hepdeniz, K., & Soyaslan, İ. İ. (2015). Burdur ilinde meydana gelen depremlerin odak noktalarının coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile 3 boyutlu modellenmesi ve jeostatistiksel analizi. Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu, Burdur, Türkiye, Bildiriler Kitabı, 104-112.
- Herece, E. (2008). Doğu Anadolu Fayı (DAF) Atlası, MTA Özel Yayın Serisi-13, 359 s.
- Huseynova, T. (2019). Azerbaycan'da Meydana Gelen Depremlerin Mekânsal İstatistiksel Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü eğitim Enstitüsü, Yerbilimleri Anabilim Dalı, Eskişehir.
- İçöz C., & Peker, K. Ö. (2024). Spatial analysis of earthquakes in and around the northern Anatolian Fault Zone. *SIGMA*, 42(6), 1813-25. <https://dx.doi.org/10.14744/sigma.2024.00139>.
- İmamoğlu, Ş. M, & Gökten, E. (1996). Doğu Anadolu fay zonu Gölbaşı kesimi neotektonik özellikleri ve Gölbaşı-Saray fay kaması havzası, *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, Sayı: II*, s: 176-184, Ankara.
- Jalali, M., Ramazi, H. (2018). Application of Geostatistical Simulation to Compile Seismotectonic Provinces Based on Earthquake Databases (Case Study: Iran). *Journal of Seismology*, 22(4), 957-983. <https://doi.org/10.1007/s10950-018-9745-x>.
- Kahraman, S., & Ünsal, Ö. (2014). ArcGIS for Desktop Spatial Analysis. ESRI Bilgi Sistemleri Mühendislik ve Eğitim Ltd.Şti., Ankara.
- Karabulut, M. (2014). Mekânsal İstatistik Teknikleri. *Coğrafyacılar Derneği*, Balıkesir.
- Karademir, N., Ortaç, Y., & Bilinir, Ş. (2019). Samsat'ta (Adıyaman) Deprem Algısı ve Yerleşme İlişkisi. *International Journal Of Geography And Geography Education (IGGE)*, (40), 248-265. <https://doi.org/10.32003/iggei.557232>.
- Karadoğan, S. (2001). Kuruluş Yeri Açısından Malatya Şehri ve Yakın Çevresinin Jeomorfolojisi, *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* Cilt 11 Sayı 1, 27-56.
- Karakaplan, E. (2024). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremlerine Bağlı Malatya İli ve Çevresinin Sismik Tehlike Değerlendirmesi. Uluslararası Katılımlı 76. Türkiye Jeoloji Kurultayı 15-19 Nisan 2024, Ankara, Türkiye
- Kartal, R. F., & Kadiroğlu, F. T. (2013). Doğu Anadolu Fayının sismotektoniği ve bu fay üzerindeki son beş yıllık deprem aktivitesinin istatistiksel analizi, 66. Türkiye Jeoloji Kurultayı 01-05 Nisan 2013, ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, Ankara. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.824032>.
- Kaya, Ö., Toroğlu, E. & Adıgüzel, F. (2015). 2011 Genel Seçimlerinde Partilerin Aldığı Oy Oranlarının İlçeler Ölçeğinde Mekânsal Analizi. *Coğrafya Dergisi*, 0 (31), 1-13.
- Kaya, S. (2017). Teke Yöresi Endemik Bitki Dağılımının Mekânsal ve İstatistiksel Analizleri. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı Isparta.
- Kaymakçı, N., İnceöz, M., & Ertepinar, P. (2006). 3D-architecture and Neogene evolution of the Malatya Basin: inferences for the kinematics of the Malatya and Ovacık fault zones. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 15(2), 123-154.
- Kınaloğlu, İ. (2024). Coğrafi Bilgi Sistemleri Destekli Mekânsal İstatistiksel Yöntemler Kullanılarak Konya Şehrinde Trafik Kaza Kara Noktalarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Uşak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uşak.
- Koç, A. (2005). Remote Sensing Study of Sürgü Fault Zone (Malatya, Turkey). Master Thesis (Unpublished), Ankara.
- Koç, A., & Kaymakçı, N. (2013). Kinematics of Sürgü Fault Zone (Malatya, Turkey): A remote sensing study, *Journal of Geodynamics*, 65, 292-307. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jog.2012.08.001>.
- Koçyiğit, A. Aksoy, E., & İnceöz, M. (2003). Basic Neotectonic Characteristics of the Sivrice Fault Zone in the Sivrice-Palu area, East Anatolian Fault System (EAFS), Turkey. Excursion Guide Book, International Workshop on the North Anatolian, East Anatolian and Dead Sea Fault Systems: Recent Progress in Tectonics and Palaeoseismology, 31 August to 12 September 2003, METU (Ankara, Turkey).
- Koçyiğit, A., & Altın, D. (2002). Tektonostratigrafik Evolution of the North Anatolian Paleorift (NAPR): Hettangian-Aptian Passive Continental Margin of the Northern Neo-Tethys. Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 11, 169-191.
- Koçyiğit, A., & Beyhan, A. (1998). A new intracontinental transcurrent structure: the Central Anatolian Fault Zone, Turkey. *Tectonophysics*, 284(3-4), 317-336. [http://doi.org/10.1016/s0040-1951\(97\)00176-5](http://doi.org/10.1016/s0040-1951(97)00176-5).
- Konurhan, Z., & Başaran, E. (2023). Rüzgâr Enerji Santrali (RES) Yer Seçimi için BWM-CBS Tabanlı Bir Yaklaşım: Tunceli Örneği. *Journal of Geography*, 47, 15-28. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2023-1233104>.
- Kuşcu, İ., Kopar, İ., & Bakırtaş, İ. (2019). Erzurum İlinde (Türkiye) 1907-2018 Yılları Arasında Kaydedilen M ≥ 3.0 Depremlerin Mekânsal Analizi. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 23 (4), 1607-1624.

- Levine, N. (2013). Spatial A utocorrelation Statistics. Ned Levine & Associates, Houston, T X.
- McGrew, J., & Monroe, C. B. (1993). Statistical Problem Solving in Geography. Wm.C. Brown Communication, Oxford.
- Meşin, V., & Demir, V. (2023). Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı analitik hiyerarşi yöntemi kullanılarak Konya il merkezinde teknoloji geliştirme bölgesi için yer seçimi. *Geomatik*, 8(3), 208–221. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1161059>.
- Mitchell, A. (2005). The ESRI Guide to GIS Analysis, Volume 2. ESRI Press.
- Ocak, F., & Bahadır, M. (2022). CBS Teknikleri Kullanılarak Deprem Duyarlılık Analizi için Analitik Hiyerarşi Prosesi: Samsun Ladik Gölü Havzası Örneği, Türkiye. *Kesit Akademi*, 8(33), 322-348. <http://dx.doi.org/10.29228/kesit.64705>.
- Ord, J. K., & Getis, A. (1995). Getis. Local Spatial A utocorrelation Statistics: Distributional Issues and an Application. *Geographic Analysis*, Vol. 27, No. 4, pp. 286–306. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00912.x>.
- Özdemir, M. A. (1994). Örmeli Çayı Havzasının (Pütürge Malatya) Genel ve Uygulamalı Jeomorfolojisi, Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Elazığ.
- Pandian, R. S., Udayakumar, S., Balaji, K. K. P., & Narayanan, R. L. (2023). Identification of groundwater potential for urban development using multi-criteria decision-making method of analytical hierarchy process. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(3), 318–328. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1190998>.
- Patil, M., Saha, A., Pingale, S. M., Rathore, D. S., & Goyal, V. C. (2023). Identification of potential zones on the estimation of direct runoff and soil erosion for an ungauged watershed based on remote sensing and GIS techniques. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(3), 224–238. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1115608>.
- Perinçek, D. (1979). Geological investigation of the Qelikhhan-Sincik-Kocali Area (Adıyaman Province). Istanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmuası. Seri B 44, p. 127-147.
- Sarp, G., Düzgün, Ş., & Toprak, V. (2007). Spatial Analysis Of Earthquake Epicenters In; North-West Of Ankara, International Conference on Environment: Survival and Sustainability At: Nicosia-Northern Cyprus, Volume: 9.
- Satılmış, S. (2016). 1893 Malatya Depremi ve Afet Yönetimi. *OTAM Ankara Üniversitesi Osmanlı Tarihi Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi* (39), 137-177. https://doi.org/10.1501/OTAM_0000000687.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D., & Altınok, Y. (1981). Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu (MÖ 2100-MS1900), TÜBİTAK, Proje No: TBGA-341.
- Sözbilir, H., Sümer, Ö., Uzel, B., Tepe, Ç., Softa, M., Eski, S., Babayiğit, G., Turan, R., Karaş, M., & Koşum, Ş. (2015). İzmir Kenti İçinden Geçen Diri Faylarda Fay Sa-kınım Bandı/Yüzey Faylanması Tehlikesi Kuşağı Oluşturma Kriterleri. 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ankara. 1-14.
- Sunkar M., & Hatun Ü., & Toprak, A. (2013). Malatya Havzası ve Çevresinde İklim Özelliklerinin Meyveciliğe Etkisi, 3rd International Geography Symposium (GEOMED), Symposium Proceedings, ISBN: 978-605-62253-8-3.
- Sunkar, M., Avci, V., & Canpolat, C. (2023). 24 Ocak 2020 Sivrice-Elazığ Depreminin Jeomorfolojiye Yansımaları ve Karakaya Baraj Gölünde Oluşan Çizgisel Hatların Analizi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 35(2), 821-835. <https://doi.org/10.35234/fumbd.1301932>.
- Sunkar, M., Günek, H., & Canpolat, C. (2008). Kurucaova ve Yakın Çevresinin (Malatya) Jeomorfolojisi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* Cilt: 18, Sayı: 2 Sayfa: 1-22, Elazığ.
- Şahin, Ş., & Üçgül, İ. (2019). Türkiye’de Afet Yönetimi ve İş Sağlığı Güvenliği. *Afet ve Risk Dergisi*, 2(1), 43-63. <https://doi.org/10.35341/afet.498594>.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., & Kuşçu, İ. (1992). The East Anatolian Fault Zone of Turkey. *Annales Tectonicae*, 6, 99-125.
- Şengör, A. M. C. & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*. 75, 181–241. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90275-4](https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90275-4).
- Şengör, A. M. C., Görür, N., & Şaroğlu, F. (1985). Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In Strike slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation, Soc. Econ. Paleontol. Miner. Spec. Publ. 37 (in honor of J.C. Crowell), ed. KT Biddle, N Christie-Blick, 227–64. <https://doi.org/10.2110/pec.85.37.0227>.
- Tağıl, Ş., & Alevkayalı, Ç. (2013). Ege Bölgesi’nde depremlerin mekânsal dağılımı: jeostatistiksel yaklaşım. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6 (28), 369-379.
- Tatar, O., Sözbilir H., Kocbulut, F., Bozkurt E., Aksoy E., Eski, S., Ozmen, B., Alan, H., & Metin Y. (2020b). Surface deformations of 24 January 2020 Sivrice (Elazığ)–Doğanyol (Malatya) earthquake (Mw= 6.8) along the Pütürge segment of the East Anatolian Fault Zone and its comparison with Turkey’s 100-year-surface ruptures, *Mediterranean Geoscience Reviews*, 2, 385-410. <https://doi.org/10.1007/s42990-020-00037-2>.
- Tatar, O., Sözbilir, H., Bozkurt, E., Aksoy, E., Koçbulut, F., Özmen, B., ... Alan, H., & Yüksel, M. (2020a). 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) - Doğanyol (Malatya) Depremi: Arazi Gözlemleri ve Değerlendirilmesi. Ankara: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/b5951d693007500_ek.pdf.
- TC Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2023). Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri Raporu. Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı Deprem Sonrası Değerlendirme Raporu. Erişim adresi: <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/03/2023-Kahramanmaraş-ve-Hatay-Depremleri-Raporu.pdf>.
- U.S. Department of Commerce, (2001). Centers of Population Computation for 1950, 1960, 1970, 1980, 1990 and 2000, Washington, DC.

- Uysal, A. (2024). Erzincan Ovası ve Çevresinin Morfotektonik Özellikleri ve Deprem Analizi. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Elazığ.
- Uysal, A., & Sunkar, M. (2024). Erzincan Ovası ve Çevresinin Depremsellik ile Depremlerin Mekânsal ve Yoğunluk Analizleri, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 34, 2(419-436). <https://doi.org/10.18069/firatsbed.1451933>.
- Unel, F. B., Kusak, L., & Yakar, M. (2023). GeoValueIndex map of public property assets generating via Analytic Hierarchy Process and Geographic Information System for Mass Appraisal: GeoValueIndex. *Aestimum*, 82, 51-69.
- Vasylykivska, V.S., Huerta, N. J. (2017). Spatiotemporal Distribution of Oklahoma Earthquakes: Exploring Relationships Using a Nearest-Neighbor Approach. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122(7), 5395-5416. <https://doi.org/10.1002/2016JB013918>.
- Walford, N. (2011). Practical Statistics for Geographers and Earth Scientists. Wiley-Blackwell, Oxford.
- Westaway, R., Arger, J. (2001). Kinematics of the Malatya-Ovacik fault zone, *Geodinamica Acta* 14, 103-131. <https://doi.org/10.1080/09853111.2001.11432438>.
- Westaway, R. (2003). Kinematics of the Middle East and Eastern Mediterranean Updated. *Turkish Journal of Earth Sciences*. Vol.12, 2003, pp. 5-46. TÜBİTAK.
- Westaway, R. (2004). Kinematic consistency between the Dead Sea Fault Zone and the Neogene and Quaternary left-lateral faulting in SE Turkey *Tectonophysics*, 391, 203-237. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.07.014>.
- 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. <https://doi.org/10.1785/BSSA0860020353>.
- Yakar, M., & Dogan, Y. (2019). 3D Reconstruction of Residential Areas with SfM Photogrammetry. In Advances in Remote Sensing and Geo Informatics Applications: Proceedings of the 1st Springer Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG-1), Tunisia 2018 (pp. 73-75). Springer International Publishing..
- Yang, J., Cheng, C., Song, C., Shen, S., Zhang, T., Ning, L. (2019). Spatial-Temporal Distribution Characteristics of Global Seismic Clusters and Associated Spatial Factors. *Chinese Geographical Science*, 29(4),614-625. <https://doi.org/10.1007/s11769-019-1059-6>.
- Yılmaz, H. (1999). Doğu Toroslar'da Sürgü (Doğanşehir-Malatya) Çevresinin Jeolojisi, *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A-Yerbilimleri* Cilt: 16, Sayı:1, s: 95106 Sivas.
- Yılmaz, Y., Yiğitbaş, E., & Genç, Ş. C. (1993). Ophiolitic and metamorphic assemblages of southeast Anatolia and their significance in the geological evolution of the orogenic belt. *Tectonics*,12-5, 1280 - 1297. <https://doi.org/10.1029/93TC00597>.
- Yönlü, Ö., Altunel, E., & Karabacak, V. (2017). Geological and geomorphological evidence for the southwestern extension of the East Anatolian Fault Zone, Turkey. *Earth and Planetary Science Letters*, 469, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2017.03.034>.
- Zuccolo, E., Corigliano, M. & Lai, C. G. (2013). Probabilistic seismic hazard assessment of Italy using kernel estimation methods. *J Seismol* 17. 1001-1020. <http://dx.doi.org/10.1007/s10950-013-9369-0>.

İnternet Kaynakları

- URL-1. <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>. (son erişim: 01.11.2024)
- URL-2. <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/tarihsel-depremler/>. (son erişim: 29.04.2024)
- URL-3.<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/spatial-analyst/basics/get-started-with-spatial-analyst-in-arcgis-pro.htm>. (son erişim: 09.04.2024)
- URL-4. <https://www.bilsam.org/index.asp?do=haber&hid=116>. (son erişim: 29.03.2024)
- URL-5. <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/buyuk-depremler/>. (son erişim: 04.04.2024)
- URL-6. <https://search.asf.alaska.edu/#/>. (son erişim: 05.03.2024)
- URL-7.<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/h-how-directional-distribution-standard-deviation.htm> (son erişim: 01.02.2024)
- URL-8.<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/average-nearest-neighbor.htm> (son erişim: 02.05.2024)

