

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde yıkılan binalar ile zemin ilişkisinin incelenmesi ve depremde yıkıma uğrama riski analizi

Selim Eraslan ¹, İlter Kutlu Hatipoğlu ², Fatih Ocak ³, Fatih Işık ^{1*}, Halil İbrahim Zeybek ⁴

¹ Gümüşhane Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Gümüşhane, Türkiye, selimeraslan@yandex.com, fatihtrbzon.61@gmail.com

² Samsun Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Samsun, Türkiye, ilter.hatipoglu@samsun.edu.tr

³ Samsun Üniversitesi, Kavak Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Samsun, Türkiye, fatih.ocak@samsun.edu.tr

⁴ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Samsun, Türkiye, zeybekhi@gmail.com

Kaynak Göster: Eraslan, 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>

Anahtar Kelimeler

Bina-zemin
Deprem-topografya
Uzaktan algılama
Deprem frekans oranı
Kahramanmaraş depremleri

Araştırma Makalesi

Geliş: 19.01.2024
Revize: 17.02.2024
Kabul: 02.04.2024
Yayınlanma: 15.08.2024



Öz

Depremler, yıkıcı etkileriyle bilinen felaketlerdir. Bu özelliği nedeniyle depremler, zemini ve üzerindeki her yapıyı tehdit etmektedir. Bu çalışmada, 6 Şubat Kahramanmaraş depremlerinden etkilenen bölgelerdeki bina-zemin ilişkisi belirlenerek gelecekte oluşabilecek depremlerde binaların yıkılma riski analiz edilmiştir. Çalışma, depremin etkilediği 11 ilde gerçekleştirilmiş ve bu kapsamda, jeoloji, eğim, yükseklik, en büyük yer ivmesi, zemin geçirimsizliği, büyük fay hatlarına yakınlık verileri kullanılmıştır. Yıkılan bina-zemin ilişkisi Uzaktan Algılama teknikleriyle belirlenmiş ve depremde yıkılmaya karşı riski değerlendirmek için ise Coğrafi Bilgi Sistemleri tekniklerinden yararlanılarak frekans oranı yöntemi uygulanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; yıkımların %84'ünün düz alanlarda gerçekleştiği belirlenmiştir. Diğer taraftan yıkımların %49,7'sinin 0-500 m yükseklik aralığında, gerçekleştiği görülmüştür. Özellikle, yıkılan binaların %46'sının (110,8 km²) Kuvaterner dönemine ait alüvyon arazi üzerinde yer aldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada ele alınan toplam 108.812 km² alanda yapılan deprem frekans analizine göre de alanın %43,72'si "Riskli" düzeyde yer almaktadır ve bu durum, bölgenin büyük bir kısmının önemli oranda deprem riski altında olduğunu göstermektedir. Ayrıca, depremde binaların yıkılma riskinin yüksek olduğu illerin başında Hatay, Adana, Osmaniye, Şanlıurfa, Kahramanmaraş ve Malatya gelmektedir. Çünkü bu illerde aktif fay hatlarının uzandığı ve alüvyon arazinin yaygın olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, deprem riski taşıyan illerde yer seçimi ve yapı stoğu konularında daha fazla önlem alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Investigation of the relationship between the buildings collapsed in February 6, 2023 Kahramanmaraş earthquakes and the soil and analysis of the risk of collapse in earthquakes

Keywords

Building-floor
Earthquake-topography
Remote sensing
Earthquake frequency rate
Kahramanmaraş earthquakes

Research Article

Received: 19.01.2024
Revised: 17.02.2024
Accepted: 02.04.2024
Published: 15.08.2024

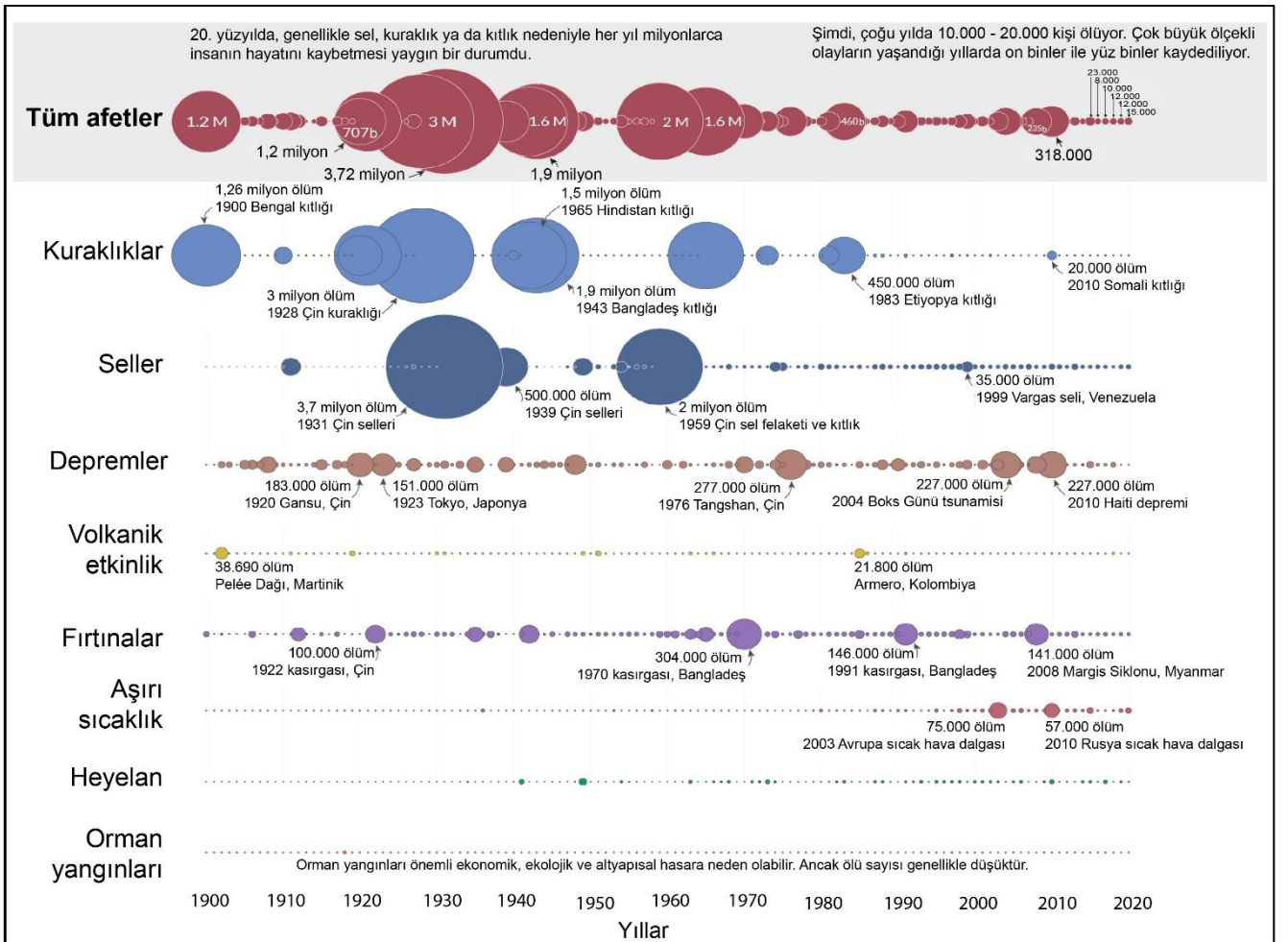
Abstract

In this study, the building-ground relationship in the areas affected by the February 6 Kahramanmaraş earthquakes was determined, and the risk of building collapse in future earthquakes was analyzed. Remote sensing techniques determined the collapsed building-soil relationship, and the frequency ratio method was applied by utilizing Geographic Information Systems techniques to assess the risk of collapse in earthquakes. According to the research results, 84% of the collapses occurred in flat areas. On the other hand, 49.7% of the collapses occurred in the 0-500 m elevation range. In particular, it was determined that 46% (110.8 km²) of the collapsed buildings occurred on alluvial land belonging to the Quaternary period. According to the earthquake frequency analysis of the total 108,812 km² area considered in this study, 43.72% of the area is at the "Risky" level, indicating that a large part of the region is at significant earthquake risk. Moreover, Hatay, Adana, Osmaniye, Şanlıurfa, Kahramanmaraş, and Malatya are the provinces where the risk of collapse of buildings in an earthquake is high. These results reveal the necessity of analyzing by considering many criteria in determining residential areas in provinces at risk of earthquakes.

1. Giriş

Doğal afetler, insanlık tarihinin en büyük zorluklarından birini oluşturmaktadır. Jeolojik, meteorolojik, hidrolojik, klimatolojik ve biyolojik olaylar, dünya genelinde ciddi can ve mal kayıplarına neden olabilen afetlerin ortaya çıkmasına da zemin hazırlarlar (Zeybek, 1998; 2002; Uzun ve ark., 2016; UNDRR, 2015; Chaudhary ve Piracha, 2021; Hatipoğlu ve Zeybek, 2023; Işık ve ark., 2023). Bu afetler ekonomik, sosyal ve çevresel açılardan büyük bir yıkıma sebep olurken, toplumların dayanıklılığını sınanan kritik olaylar olarak da karşımıza çıkmaktadır (FAO, 2021; Mata-Lima ve ark., 2013). Bu bağlamda, deprem gibi doğal afetler, özellikle deprem kuşağı üzerinde bulunan bölgelerde, insan hayatı ve yapılar üzerinde ciddi tehditler oluşturan olaylardır

(Kalaycioglu ve ark., 2006; Nola, 2018). Deprem, yer kabuğunda biriken enerjinin aniden boşalması ile ortaya çıkan jeolojik bir olaydır (Hoşgören, 2011). Bilindiği üzere durmaksızın devam eden yer kabuğu hareketleri, sürekli olarak enerjinin birikmesine ve bir noktadan sonra da serbest kalmasına yol açmaktadır. Bu serbest kalan enerji, yer kabuğunun belirli bölgelerinde gerçekleşen kırılma ve kayma hareketleriyle sonuçlanmaktadır (Kavak, 2017). Sonuç olarak, büyük yer kabuğu hareketleriyle ilişkilendirilen, yer yüzeyinde meydana gelen titreşimler ve sarsıntılar olarak bilinen depremler, büyük yıkımlara neden olabilen doğa olayları olarak da tanımlanabilir. Dünyada meydana gelen afetlerde kuraklık ve sel/taşkından sonra depremler en fazla ölüme neden olan üçüncü doğal afettir (Şekil 1).



Şekil 1. Yüzyılı aşkın bir süredir afetlerden kaynaklanan küresel ölümler (Balonun boyutu tahmini yıllık ölü sayısını temsil etmektedir. En büyük yıllar bu toplam rakamla ve bu ölümlerin -genellikle hepsi olmasa da- çoğuna katkıda bulunan büyük ölçekli olaylarla birlikte etiketlenmiştir), (EM-DAT, 2023; Ritchie ve ark., 2022'den düzenlenmiş ve çevrilmiştir).

Ulusal Deprem Bilgi Merkezi'ne (The National Earthquake Information Center) göre, her yıl dünya genelinde yaklaşık olarak 20.000 adet deprem (M değeri 2.0 veya daha büyük olan) meydana gelmektedir. Bu depremlerin günlük ortalama sayısı ise yaklaşık 55'tir. Ancak, çoğu deprem çok küçük büyüklükte gerçekleşmektedir. Uzun vadeli kayıtlara göre, her yıl ortalama olarak 16 büyük çaplı deprem (Mw büyüklüğü 7 veya daha fazla) meydana gelmektedir (USGS, 2023).

Bu büyük depremler, genellikle ciddi hasarlara ve can kayıplarına yol açabilen önemli olaylar olarak kabul edilmektedir. 1990 yılının ocak ayından 2023 haziran ayına kadar dünya genelinde meydana gelen depremlerde, tsunami olayları da dahil olmak üzere yaklaşık 2,4 milyon insan hayatını kaybetmiştir (EM-DAT, 2023; USGS, 2023). Şekil 2'ye göre yüksek can kayıpları ile öne çıkan iki yıl, 2004 ve 2010'dur. Bu yıllarda yıllık ölüm oranları 100 binleri bulmuştur. 2004

yılında meydana gelen Hint Okyanusu depremi ve ardından oluşan tsunamide yaklaşık 165.708 kişi hayatını kaybederken, 2010 Haiti depreminde kayıp ise yaklaşık 222.570'dir.

Depremler dünyanın farklı yerlerinde ve farklı zamanlarda meydana gelebilmektedir. Ancak sismik enerjinin yaklaşık %90'ının levha sınırları boyunca serbest kaldığı bilinmektedir (Rao, 2016). Dünyada meydana gelen depremlerin önemli bir kısmı yer kabuğunu oluşturan kıta levhalarının hareketleriyle gerçekleşmektedir. Bu levha hareketleri, üç ana deprem kuşağını oluşturmaktadır. En belirgin kuşaklardan biri ateş çemberi olarak da adlandırılan Pasifik çevresidir. Sismik açıdan ikinci en aktif kuşak ise Alp-Himalaya Kuşağı'dır. Orta Atlantik Sırtı ise üçüncü önemli deprem kuşağı olarak kabul edilmektedir (USGS, 2023). Günümüze kadar meydana gelen depremlerin %68'i Pasifik Kuşağı çevresinde, %21'i Alp-Himalaya Kuşağı'nda ve %11'i ise diğer bölgelerde görülmüştür. Ayrıca, büyük toplumsal etkilere yol açan depremlerin %81'i Pasifik çevresinde ve %17'i de Alp-Himalaya Kuşağı'nda gerçekleşmiştir (Özey ve Ünlü, 2022; USGS, 2023). Bu durum, deprem riskinin bu önemli deprem kuşaklarında yoğunlaştığını göstermektedir. Alp-Himalaya Kuşağı'nın ortasında yer alan Türkiye ise geçmişten günümüze depremlerin sıkça yaşandığı bir ülke olarak bilinmektedir. Bu depremler zaman zaman büyük can ve mal kayıplarına yol açmıştır.

Türkiye, jeolojik konumu sebebiyle düzenli olarak depremlerle karşı karşıya kalmaktadır. Türkiye ve yakın çevresinde depremin esas nedenini Afrika ve Arabistan plakalarının Avrasya plakasına doğru kabaca kuzey yönlü hareket etmesi oluşturur (Şengör, 1984). Bu kuzey yönlü hareket Türkiye topraklarının batı kesiminin sağ ve sol yanal doğrultu atımlı fay zonları (Kuzey Anadolu Fay Zonu -KAFZ- ve Doğu Anadolu Fay Zonu -DAFZ-) boyunca batıya doğru 24mm/yıl bir hızla hareket etmesine ve depremlerin meydana gelmesine neden olmaktadır (Yalçın ve ark., 2013). Bunun yanında Batı Anadolu'da kuzey-güney yönlü bir açılmanın neden olduğu normal faylarla çalışan horst-graben sistemi (Şengör ve ark., 1985) küçük ve büyük çaplı depremleri oluşturmaktadır. Türkiye'de yaşanan geçmiş deprem kayıtları incelendiğinde hareketliliğin özellikle bu fay zonları boyunca meydana geldiği görülmektedir.

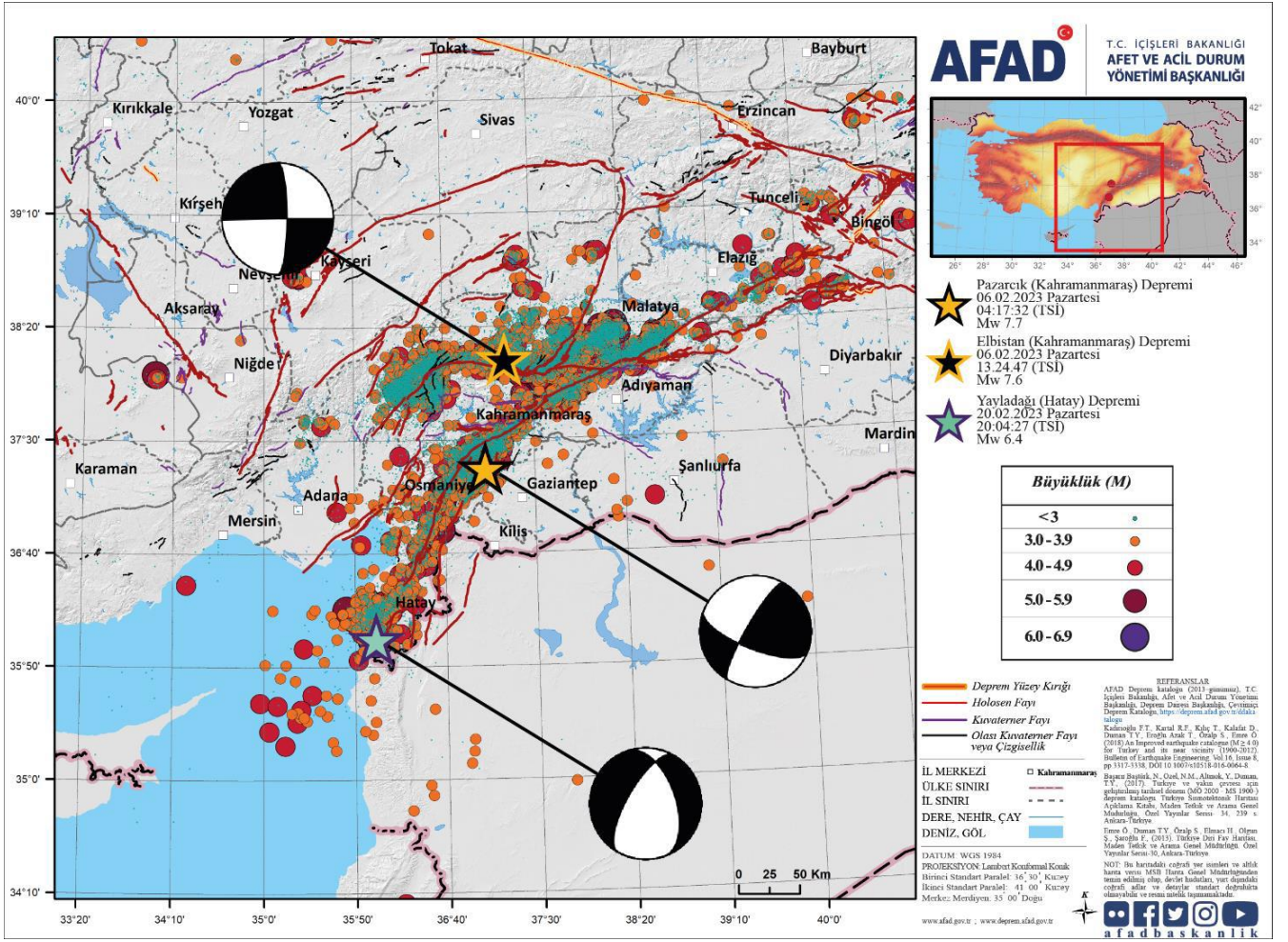
06.02.2023 tarihinde gerçekleşen Pazarcık (Kahramanmaraş) ve Elbistan (Kahramanmaraş) merkezli depremler ise Türkiye'nin son dönemde yaşadığı felaketler arasında yer almaktadır. Pazarcık depremi, Ölü Deniz Fay Zonunun kuzey ucundaki Narlı Segmentine, Elbistan depremi ise Doğu Anadolu Fayı'ndan ayrılan Çardak Fayı'na rastlamaktadır. Her iki deprem de önemli derinliklerde (Pazarcık odak derinliği 8,6 km, Elbistan odak derinliği 7 km) meydana gelmiştir (AFAD, 2023b). Mw 7.7 ve Mw 7.6 büyüklüğünde olan bu depremlerin artçı etkileri uzun süre devam etmiştir (Şekil 2). Bir diğer önemli bir deprem de 20 Şubat 2023 tarihinde saat 20.04'te Hatay Yayladağı merkezli olarak Mw 6.4 büyüklüğünde meydana gelen depremdir. Tüm bu depremler, toplamda 11 ilde (Adana, Adıyaman, Diyarbakır, Elâzığ, Gaziantep, Hatay, Kahramanmaraş,

Kilis, Malatya, Osmaniye, Şanlıurfa) büyük yıkımlara sebep olmuştur. Resmi kaynaklardan elde edilen verilere göre 20 Mart 2023 tarihi itibarıyla 50.000'den fazla vatandaşımızın hayatını kaybettiği, 107.000'den fazla vatandaşımızın yaralandığı bildirilmiş ve 255.000 binanın hasar gördüğü veya yıkıldığı tespit edilmiştir (Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023). Sadece bu sayılardan bile bölgede yaşanan yıkımın şiddeti tahmin edilebilir. Bu nedenle, depremlerin etkilerini anlamak ve riskli bölgeleri belirlemek, önleyici tedbirlerin alınması ve yapıların güvenliğinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır.

1.1. Araştırmanın amacı ve önemi

Doğu Anadolu Fay Hattı (DAF) üzerindeki 11 ilde depremler sonucunda çok sayıda bina yıkılarak enkaz haline gelmiştir. Yıkılan binaların enkaz haline gelmesinde yaşları, zemin taşıma kapasiteleri, zemin türü, yeraltı su seviyesi, malzeme kalitesi, yapısal eksiklikler ve bitişik nizamda inşa edilen binaların farklı kat seviyeleri gibi etkenler belirgin rol oynamıştır (AFAD, 2023a; İTÜ, 2023). Özellikle Kahramanmaraş ve Adıyaman illerindeki enkaz durumundaki binaların önemli bir kısmında ilk katların büyük hasar gördüğü görülmüştür. Bu binalardan bazıları ise yan tarafa doğru dönerek çökmeye uğramıştır. Diğer taraftan Hatay-Antakya ve Adıyaman-Gölbaşı gibi bölgelerde, zemin sıvılaşmasının etkisiyle binaların temel sistemlerine bağlı olarak ya binaların tamamen yana yatarak ya da kısmen sıvılaşan zemine batma sonucu eğik bir şekilde göçtüğü de görülmüştür. Bu araştırmanın temel amacı, söz konusu depremlerin etkilerini tespit etmek ve depremin meydana geldiği 11 ilde bina-zemin ilişkisini ve depremlerdeki yıkımlarla bağlantılarını belirlemektir. Bu amaç doğrultusunda yapılan çalışmalar şunlardır:

- **Bina-zemin ilişkisinin incelenmesi:** Depremin meydana geldiği 11 ildeki bina-zemin ilişkisini detaylı bir şekilde incelenerek, deprem etkilerinin binalara nasıl yansıdığı ve binaların ne ölçüde zarar görebileceğinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu çalışma, binaların depreme karşı direncini artırmak amacıyla yapılacak güçlendirme çalışmalarına bir temel oluşturacaktır.
- **Topografik özelliklerin tespiti:** Depremin meydana geldiği bölgelerdeki yükseklik ve eğim aralıkları belirlenerek bölgenin topografik özellikleri ve bu özelliklerin deprem sonuçlarına etkisi araştırılacaktır. Bu sonuçlar, deprem riskini etkileyen faktörlerin tespit edilmesinde önemli bir rol oynayacaktır.
- **Depremde yıkıma uğrama riski:** Asıl olarak depremin meydana geldiği 11 il için depremden yıkıma uğrama riskini belirleme de hedeflenmektedir. Bu hedefler, deprem riskinin yüksek olduğu bölgelerin tespit edilmesine ve riskli yapıların belirlenerek güçlendirilmesine yeni yerleşim alanlarının belirlenmesine yardımcı olacaktır. Ayrıca, yerel halkın deprem konusunda bilinçlenmesine katkı sağlayacaktır.



Şekil 2. 06.02.2023 Pazarıcık (Kahramanmaraş) Mw 7.7 ve Elbistan (Kahramanmaraş) Mw 7.6 depremleri ile artçı şok aktivitesi (AFAD, 2023b).

1.2. Araştırma sahasının yeri, sınırları ve başlıca özellikleri

Araştırma, Türkiye'nin güneydoğusunda depremden etkilenen 11 il üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Bu 11 il toplamda 108.812 km²'lik bir yüz ölçümüne sahiptir ve Türkiye'nin yaklaşık %13,8'ine denk gelmektedir.

Araştırma alanında yer alan bu illerin toplam nüfusu 2022 yılı itibarıyla 14.013.196 kişi olarak kaydedilmiştir. Bu nüfus, Türkiye nüfusunun %16,4'ünü oluşturmaktadır. Bu nüfusun 13.553.283 kişisi (toplamın %96,7'si), il ve ilçe merkezlerinde ikamet etmekte iken (TÜİK, 2022), geri kalan kısım (459.913 kişi, toplamın %3,3'üdür -büyükşehirlerin kırsal mahallelerdeki nüfusu hariç) ise belde ve köylerde yaşamaktadır. Ayrıca, deprem bölgesinde geçici koruma kapsamında ikamet eden 1.738.035 kişi bulunmaktadır. Depremden etkilenen illerin 2021 yılındaki Gayri Safi Yurt İçi Hasıla'daki (GSYH) payı %9,8 olarak kaydedilmiştir. Bu bölgede yaklaşık 79 milyar dolarlık milli gelir oluşmaktadır. Ayrıca, deprem bölgesindeki 11 ilin 2022 yılı ihracat içerisindeki payı %8,6'dır. Bu bölgede toplamda 538.371 işletme bulunmaktadır ve bunların 6.946'sı tarım sektöründe, 61.452'si sanayi sektöründe, 35.690'ı inşaat sektöründe ve 434.283'ü hizmet sektöründe faaliyet göstermektedir. Bu işletmelerin büyük çoğunluğu (%80) hizmet sektöründe faaliyet

göstermektedir (Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023).

2. Materyal ve Yöntem

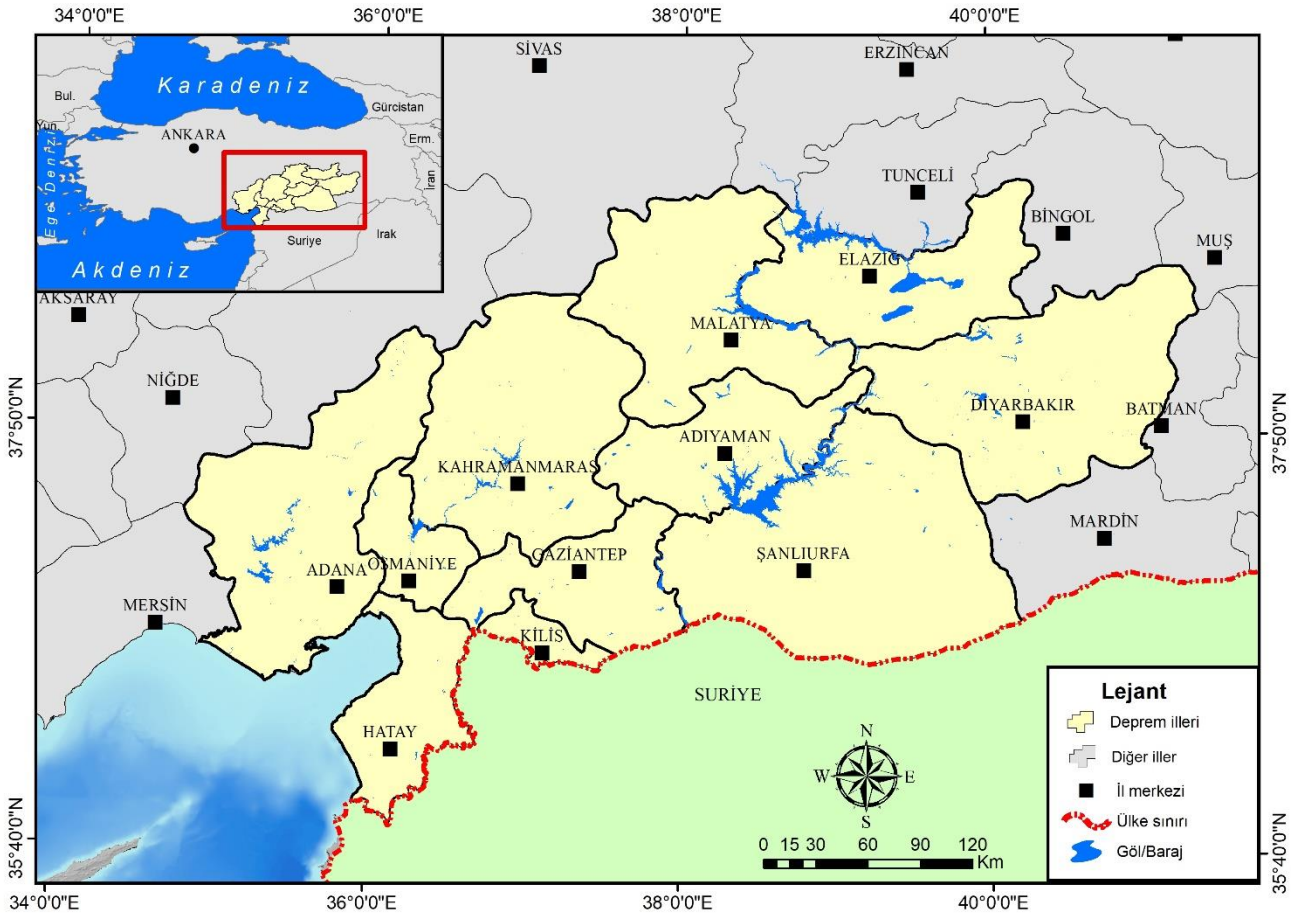
Araştırmanın veri kaynakları, 1/25.000 ölçekli topografya haritaları ve bu haritalardan elde edilen Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), Türkiye Deprem Tehlike Haritasından üretilen en büyük yer ivmesi (g) değerleri, 1/25.000, 1/100.000 ve 1/500.000 ölçekli jeoloji haritalarından ve jeoloji haritaları baz alınarak üretilen büyük fay hatlarına yakınlık ile zemin geçirimsizlik durumu verilerinden oluşmaktadır. Ayrıca, bina-zemin ilişkisini belirlemek için depremde yıkılan binaların tespitinde HOTOSM (Humanitarian Open Street Map Team) veri seti kullanılmıştır (Tablo 1). HOTOSM veri seti, 25 Şubat 2023 tarihinde yayınlanmıştır ve bina bazlı olarak hazırlanmıştır (URL-1). Ancak, uydu görüntüsünün kullanıldığı bu veri setinde bazı eksikliklerin (havanın kapalı olması, çatının sağlam gözükmesi nedeniyle binanın yıkılıp yıkılmadığının anlaşılabilmesi gibi) olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle depremin en fazla yıkıma neden olduğu ilçe ve mahalleler güncel Harita Genel Komutanlığına ait güncel uydu görüntülerinden tespit edilerek veri seti bina bazlıdan, alansal bazlıya dönüştürülmüştür (Şekil 4).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), çeşitli alanlarda farklı yöntemlerin kullanılmasına büyük olanak sağlayarak

geniş bir uygulama alanına sahiptir (Coşkun ve Toprak, 2023; Meşin ve Demir, 2023; Pandian ve ark., 2023; Patil ve ark., 2023). Doğal afetlerin duyarlılık değerlendirilmesinde de CBS birçok yöntemin kullanım alanıdır: Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Fuzzy Analitik Hiyerarşi Prosesi, Frekans Oranı (FR) Kanıt Ağırlığı (WoE), Lojistik Regresyon (LR), Universal Soil Loss Equation (USLE), Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) bunlardan birkaçıdır. Kullanılan yöntemler her ne kadar çok çeşitli olsa da genel olarak niteliksel ve niceliksel olmak üzere iki sınıf altında toplanmaktadır (Başara ve Şişman, 2022). Niteliksel yöntemler daha çok yoruma dayalı iken, niceliksel yöntemler matematiksel ve istatistiksel temele dayanmaktadır. Dolayısıyla niceliksel yöntemlerin kanıtlanabilir olduğu bilinmektedir. Yine niceliksel yöntemler analiz kalitesini olumlu yönde etkilemekte ve sonuçların doğruluk oranını arttırmaktadır. Bu özellikleri sebebiyle duyarlılık analizlerinde en çok tercih edilen yöntemler arasında

niceliksel yöntemler yer almaktadır (Aleotti ve Chowdhury, 1999). Bu çalışmada 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş merkezli depremlerde yıkılan bina alanları ve zemin ilişkisi de tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu sebeple bilgilerin istatistiki olarak hesaplanmasında en çok kullanılan niceliksel yöntemler arasında yer alan FR (Frekans Oranı) yöntemi tercih edilmiştir. FR yöntemi, belirli bir olayın ya da özelliğin meydana gelme olasılığını belirlemek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir (Fayez ve ark., 2018). Bu yöntem genellikle belirli bir durum ya da olayın hangi durumlarda, ne sıklıkta meydana geldiğini belirlemek amacıyla kullanılır. Bu yöntem ile istatistiksel analizler yapılarak olayın frekansı, yani tekrarlanma sıklığı belirlenir. Frekans oranı genellikle [Şişlik 1](#) ile hesaplanır:

$$FR = \frac{\text{Belirli Bir Durumun Sayısı}}{\text{Toplam Gözlem Sayısı}} \quad (1)$$



Şekil 3. Araştırma bölgesi lokasyon haritası.

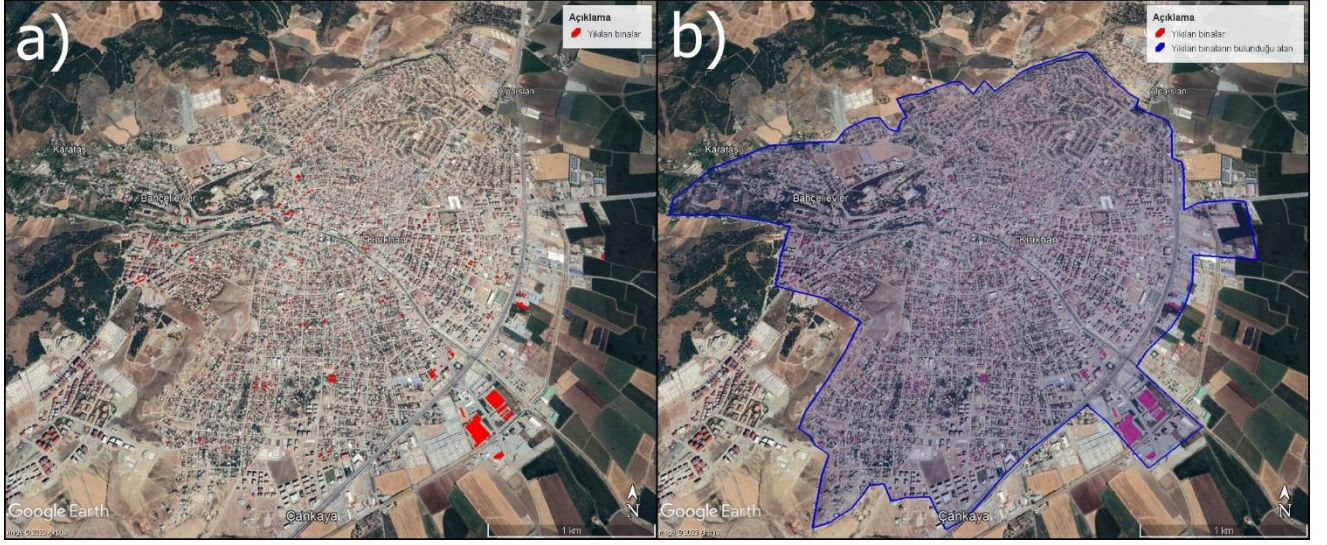
FR genellikle yüzde (%) olarak ifade edilir. Böylece olayın ne kadar yaygın olduğunu oranla anlamak mümkün olur. FR yöntemine göre hesaplanan değer 1'den büyük olması (>1) kullanılan parametrenin daha etkin olduğu anlamına gelirken, 1'den küçük olması (<1) ilgili parametrenin daha az etkin olduğunu ifade etmektedir (Başara ve Şişman, 2022).

FR yöntemiyle elde edilen değerler duyarlılık analizi ile ilgili sayısal değerleri ifade etmektedir. Deprem duyarlılık analizi, risk yönetimi kapsamında depreme dayanıklı yapıların nereye inşa edileceği ve yerleşmelerin nerede kurulacağı gibi önemli hususlara

altlık oluşturmaktadır (Ocak ve Bahadır, 2022). Ancak sayısal ifadeler duyarlılık analizinin sonucunun yorumlanmasında tek başına yetersiz kalır. Bu sebeple FR yöntemiyle elde edilen değerlerin daha anlaşılabilir olması için CBS tekniklerinden yararlanılmaktadır. CBS ile FR sonucu elde edilen sayısal değerler haritalara aktarılmakta ve analiz sonuçlarının mekânsal dağılımı ortaya konulmaktadır. FR ve CBS'nin birlikte kullanıldığı bu çalışmada öncelikle duyarlılık analizinde kullanılan her bir parametreye ait alt sınıflar için FR değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler kullanılarak parametre haritaları üretilmiş ve ortaya çıkan yeni

parametre haritalarının birbirleri ile karşılaştırılması sonucu duyarlılık haritası oluşturulmuştur (Şekil 5). Çalışma kapsamında FR ile elde edilen değerler CBS teknikleriyle haritaya aktarılmış ve 6 Şubat 2023

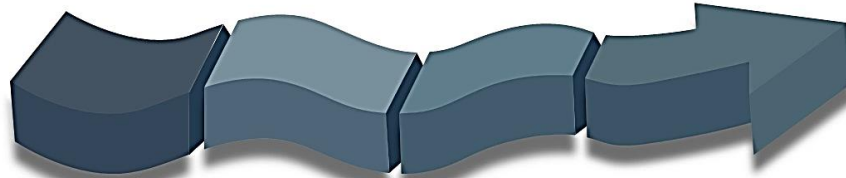
Kahramanmaraş merkezli depremler sonucunda 11 ilde meydana gelen bina yıkımları zemin ile ilişkilendirilmiştir.



Şekil 4. Hatay-Kırıkhan'da yıkılan binaların HOTOSM verisine ait görüntü (a) ve bu görüntüdeki yıkılan binaların alana dönüşümü (b).

Tablo 1. Zemin-bina ilişkisinin tespiti ile deprem duyarlılık analizinde kullanılan veriler ve temin edildiği yerler.

Veri	Veri Kaynağı	Üretilen Veri/Yapılan İşlem
Jeoloji haritası (1/25.000, 1/100.000, 1/500.000)	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA)	Litoloji, fay hatları Zemin geçirimsizlik durumu
1/25.000 ölçekli topografya haritaları	Harita Genel Müdürlüğü (HGM)	İdari merkezler, eş yükseklik eğrisi, zirve, akarsu, göl, sayısal yükseklik modeli, eğim vb.
En büyük yer ivmesi	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)	En büyük yer ivmesi sınıfları
Yıkılan bina	Humanitarian Open Street Map Team (HOTOSM) https://data.humdata.org/dataset/hotosm_tur_destroyed_buildings	Yıkılan binaların konum bilgisi
Programlar		
Google Earth Pro	https://earth.google.com/web	Yıkılan bina alanlarını tespit etme
HGM Küre	https://kure.harita.gov.tr/	Yıkılan bina alanlarını tespit etme
ArcGIS for Desktop Advanced 10.x	https://www.esri.com/enus/home	Coğrafi verileri görüntüleme, Düzenleme ve analiz etme



Veri Temini/Üretimi Frekans Oranı Hesaplama CBS ile Veri Üretimi FR-CBS Analizi

Bina-zemin ilişkisinin ortaya konulması ve deprem duyarlılık analizi için verilerin temini ve üretimi.

*Yerel zemin sınıfları
*En büyük yer ivmesi
*Zemin geçirimsizliği
*Eğim (°)
*Büyük fay hatlarına uzaklık (km)

Frekans oranı hesaplanan tüm ana ve alt parametrelerin CBS teknikleri ile haritaya aktarılması ile veri dönüşüm işlemleri.

Frekans değerleri hesaplanıp CBS ile haritaya aktarılan ana ve alt parametrelerin karşılaştırılarak duyarlılık haritasının üretimi.

Şekil 5. İş akış şeması.

3. Bulgular

3.1. Frekans oranı analizinde kullanılan coğrafi faktörler

Bina-zemin ilişkisi ve deprem duyarlılığının incelendiği bu çalışma kapsamında 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremlerden önemli ölçüde etkilenen 11 il sınırı

dikkate alınmıştır. Çalışma kapsamında ilgili literatür incelendiğinde deprem duyarlılık analizi için farklı verilerin kullanıldığı görülmüştür. Bu kapsamda ihtiyaç duyulan veriler ya kurumlardan temin edilmiş ya da CBS teknikleriyle üretilmiştir (Tablo 1). Çalışmada yerel zemin (litoloji), en büyük yer ivmesi, zemin geçirimsizliği, eğim ve büyük fay hatlarına yakınlık olmak üzere beş farklı ana, 25 farklı alt coğrafi parametre kullanılmıştır (Tablo 2).

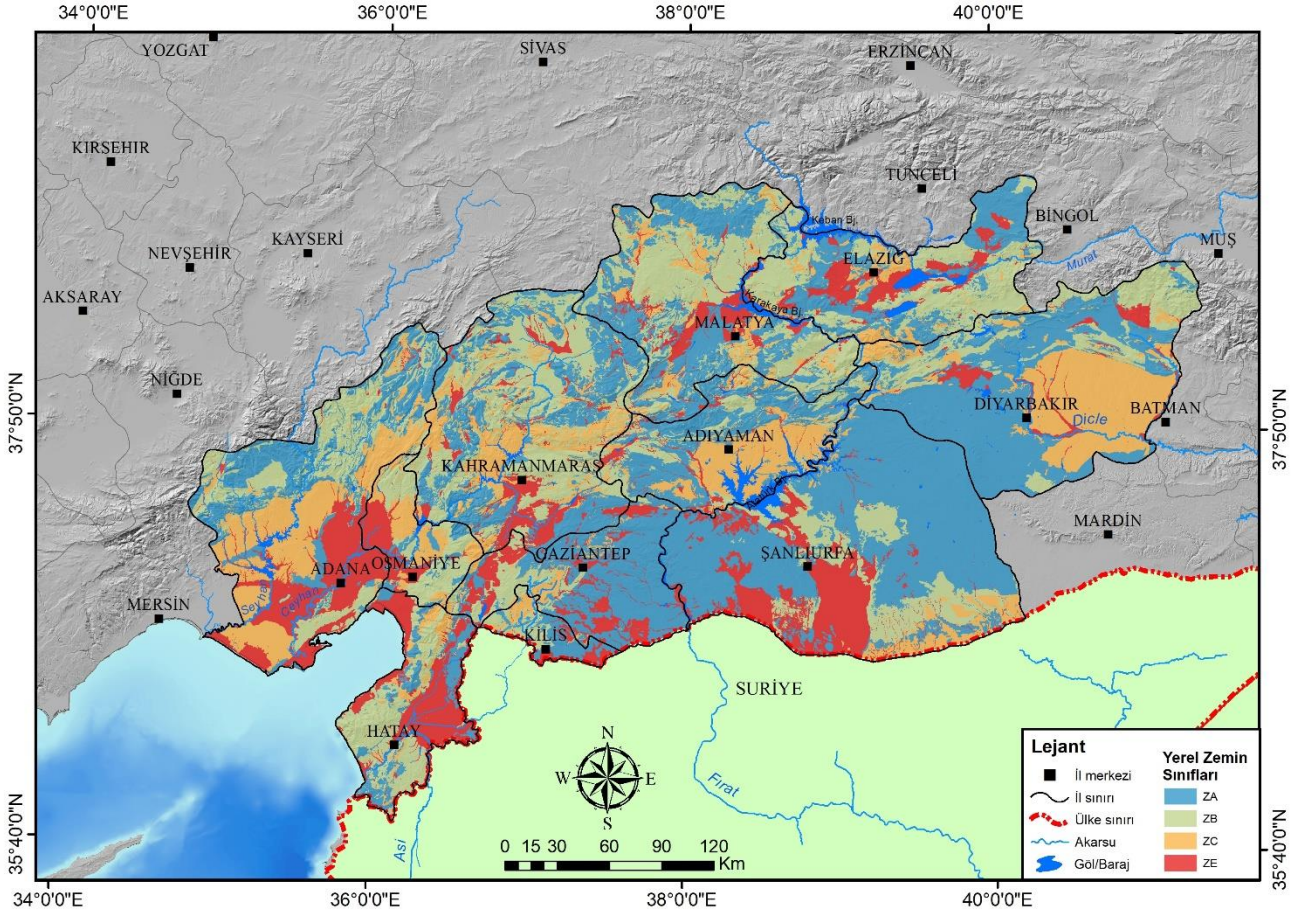
Tablo 2. Deprem duyarlılık analizinde kullanılan parametreler.

Parametreler	Sınıflar	Sınıf Piksel Sayısı	Sınıf Piksel Oranı (PIF) (%)	Yıkılan Bina Alanındaki Piksel Sayısı	Yıkılan Bina Alanındaki Piksel Oranı (PLO) (%)	Frekans Oranı (FR)
1. Yerel Zemin Sınıfları	ZA (Sağlam, sert kayalar)	47952354	0,397	11235	0,042	0,211
	ZB (Az ayrılmış, orta sağlam kayalar)	31844769	0,263	42858	0,160	1,211
	ZC (Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya Ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar)	21927160	0,181	52604	0,196	2,159
	ZE (Gevşek kum, çakıl veya yumuşak - katı kil Tabakaları)	19131902	0,158	161297	0,602	7,588
2. En Büyük Yer İvmesi (g)	0-0,1	9538287	0,079	0	0,000	0,000
	0,1-0,2	34406554	0,283	4365	0,016	0,412
	0,2-0,3	31955652	0,263	55061	0,205	1,440
	0,3-0,4	22988376	0,189	95161	0,354	2,680
	0,4-0,5	11103388	0,091	89463	0,333	3,502
	0,5-0,6	7637299	0,063	22509	0,084	1,824
	0,6-0,7	3782029	0,031	1937	0,007	0,228
3. Zemin Geçirimsizliği	Çok Geçirimli	19109274	0,158	161297	0,602	7,597
	Geçirimli	73637078	0,609	96097	0,359	1,175
	Yarı Geçirimli	7291233	0,060	6342	0,024	0,783
4. Eğim (°)	Az Geçirimli	20788162	0,172	4258	0,016	0,184
	0-2	34821200	0,288	138639	0,518	3,583
	2,1-5	26193558	0,217	80785	0,302	2,776
	5,1-15	36442547	0,302	45163	0,169	1,115
	15,1-35	22184152	0,184	3258	0,012	0,132
5. Büyük Fay Hatlarına Yakınlık (km)	35,1<	1147614	0,010	0	0,000	0,000
	10	59975037	0,496	236670	0,883	3,552
	20	28148392	0,233	19206	0,072	0,614
	30	14191087	0,117	1207	0,005	0,077
	40	8439001	0,070	7959	0,030	0,849
	50	10257395	0,085	2980	0,011	0,261

3.1.1. Yerel zemin sınıfları

Deprem frekans oranı analizi kapsamında ele alınan ilk coğrafi faktör yerel zemin sınıfları olmuştur. Yerel zemin sınıfları, diğer bir ifadeyle litoloji hem depremin şiddetini hem de depremin olası vereceği zararın boyutunu etkileyecek önemli unsurlardandır (Ocak ve Bahadır, 2022). Depremlerin olası etkileri sahaya ait zemin özelliklerinin zayıf ya da sağlamlığına göre farklılık gösterebilir (Korkmaz, 2006). Litolojik olarak sertlik derecesi yüksek olan mermer, bazalt, andezit vb. gibi kayalardan oluşan bir zemin alüvyon, kum, tuf vb. gibi sertlik derecesi düşük olan kayalardan oluşan zeminlere göre depremler karşısında daha dayanıklı bir yapı sergiler. Dolayısıyla zeminin zayıf olduğu yerlerde depremin olumsuz etkilerinin daha fazla olması beklenir (Ocak ve Bahadır, 2022). Sonuç olarak zemin yapısı depremin hem şiddeti hem de vereceği hasar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Erinç, 2000).

Çalışma bölgesinde litolojik özellikler depremin farklı zeminlerdeki etki durumları göz önünde bulundurularak deprem bina yönetmeliğindeki zemin derecelendirmesine göre farklı gruplara ayrılmıştır (ZA, ZB, ZC, ZD, ZE). Türkiye Deprem Bina Yönetmeliğine göre binaların ZA, ZB, ZC ve ZD üzerinde inşa edilmesi gerekmektedir (AFAD, 2018). Çalışma bölgesinde ise ZA, ZB, ZC ve ZE olmak üzere dört farklı zemin türü vardır ve binaların hemen hepsi ZA, ZB ve ZC olan zemin üzerine inşa edilmiştir (Şekil 6). Çalışma kapsamında depreme en dayanıklı zemin ZA iken, en dayanıksız zemin ise ZC olmuştur. Her ne kadar deprem bölgesindeki binalar doğru zemin üzerine inşa edilmiş olsa da deprem frekans oranında bu üç zemin arasında en dayanıksız zeminin ZB ve ZC olduğu tespit edilmiştir. ZA grubu ise etki oranının 1'in altında kalması sebebiyle depremin binalar üzerindeki verdiği hasarda etkisi en az olan zemin olarak belirlenmiştir.



Şekil 6. Çalışma bölgesinde yerel zemin sınıflarının dağılışı.

3.1.2. En büyük yer ivmesi

Deprem frekans oranı analizinin gerçekleştirilmesinde dikkate alınan bir diğer faktör de en büyük yer ivmesi olmuştur. Çünkü en büyük yer ivmesi depremlerin olası etkilerinin tespitinde ve depremler için gerçekleştirilen tehlike, risk ve duyarlılık analizlerinde kullanılmaktadır (Bayrak, 2019; Ocak ve Bahadır, 2022). En büyük yer ivmesi bir yerin hasar görme olasılığı durumuna karşılık gelmektedir (Ocak ve Bahadır, 2022). 11 il için Türkiye Deprem Tehlike haritası dikkate alınarak çalışma bölgesinin en büyük yer ivmesi hesaplanmıştır. Bu bağlamda çalışma en büyük yer ivmesi (g) 0,0-0,7 arasında değişmektedir (Şekil 7). Ancak, ölçülen ivmelerin gösterilen değer üzerinde olduğu birçok istasyon da bulunmaktadır.

3.1.3. Zemin geçirimsizliği

Deprem frekans oranı analizi için dikkate alınan bir diğer coğrafi faktör zemin geçirimsizlik durumu olmuştur. Zemin geçirimsizliği depremin meydana getireceği hasarın boyutu üzerinde etkilidir. Zemin geçirimsizliğini belirleyebilmek için bir bölgedeki yer altı su seviyesi önem arz etmektedir. Çünkü yer altı su seviyesinin yüksek olduğu yerler üzerindeki yapılar için sıvılaşma tehlikesini beraberinde getirmektedir. Zeminin geçirimsizliğinin yüksek olduğu jeolojik birimlerde (kum, silt vb.) inşa edilen yapılar olası bir depremde yıkılma riskine daha çok maruz kalabilmektedir. Özellikle taşkın ovası ve gölsel çökellerin bulunduğu zeminlerde sıvılaşmanın yaygın olarak görülmesinden ötürü bu tür

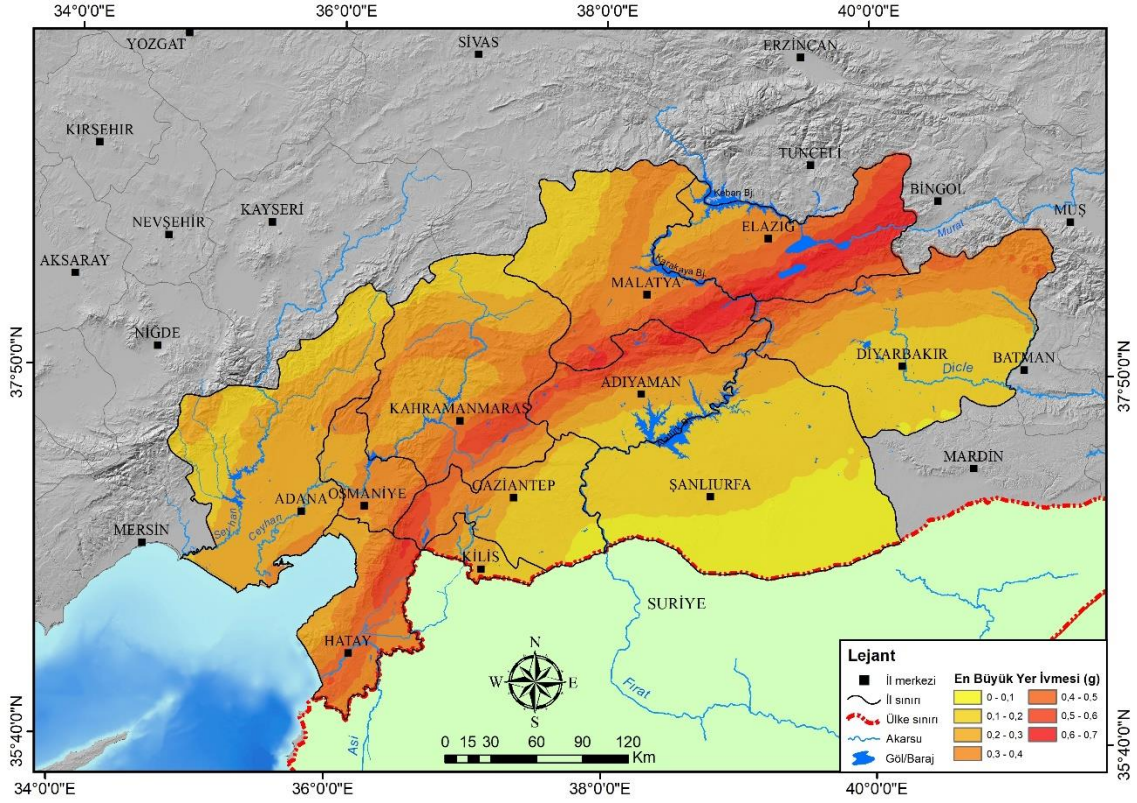
özellige sahip alanlarda inşa edilmiş yapıların büyük depremlerde yıkımı daha fazla olmaktadır (Değerliyurt, 2013; Demirtaş ve Erkmen, 2000). Zemin geçirimsizlik faktörünün açıklanan bu özellikleri sebebiyle çalışma kapsamında daha hassas analizler yapabilmek için dört farklı geçirimsizlik (çok geçirimli, geçirimli, yarı geçirimli ve az geçirimli) seviyesi belirlenmiştir (Şekil 8).

3.1.4. Eğim

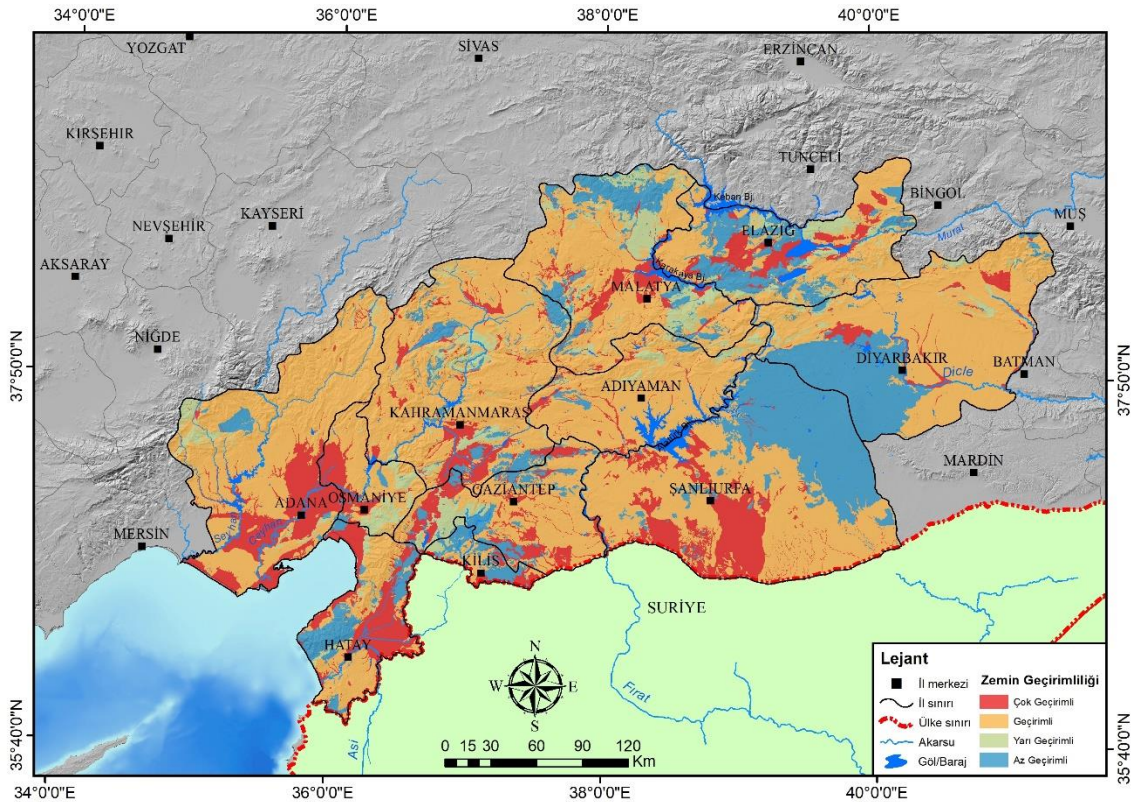
Deprem frekans oranı analizinin gerçekleştirilmesinde topografik etkilerinden ötürü dikkate alınan bir diğer coğrafi faktör çalışma bölgesinin eğim özellikleridir. Eğim hem yerleşim alanlarının kurulmasında ve hem de gelişiminde en önemli topografik faktördür (Ocak ve Bahadır, 2022). Yerleşmeler çoğunlukla eğim değerlerinin daha az olduğu yerlerde kurulurken, dik ve çok dik yamaçlara sahip alanlarda kurulsalar bile genişleme imkânı bulamamaktadır. Eğime göre kurulan yerleşmeler eğim değerinin yüksekliğine göre muhtemel bir depremde oluşacak hasardan farklı derecede etkilenmektedirler. Bir başka deyişle eğimin az ya da çok olduğu herhangi bir yerde inşa edilen yapılar bir deprem anında farklı kuvvetlere maruz kalmakta ve bu kuvvetlere karşı farklı seviyede direnç göstermektedir. Deprem anında yapıların maruz kaldığı kuvvetler; esneme, eylemsizlik kuvveti ve düşme kuvvetidir (Değerliyurt, 2013). Bu kuvvetlerin etkisi altındaki yapılar, başlangıçta esneme sürecine girer ve sağa-sola doğru hareket ederek depreme karşı direnç göstermeye çalışırlar (Pampal, 1999). Ancak, yamaç eğiminin yüksek olduğu

bölgelerdeki yapılar, düşme kuvvetine ek olarak eğimin etkileriyle de karşı karşıya kalır. Bu nedenle, düşük eğimli bölgelerdeki yapılarla karşılaştırıldığında, yüksek eğimli alanlardaki yapılar daha fazla kuvvetle mücadele etmek zorunda kalabilirler (Ocak ve Bahadır, 2022). Dolayısıyla sadece eğim faktörü göz önünde bulundurulduğunda eğimin az olduğu yerlerde depreme karşı dayanıklılık daha fazla iken, eğimin fazla olduğu

yerlerde ise yapıların dayanıklılığı daha düşük seviyededir. Örneğin, eğim faktörünün artması kabaca vs30 değerinin artmasına denk gelir. Bu durumda, sarsılma genliği azalır. Ancak bu durum bu deprem bölgesi için farklı şekilde işlemiştir. Depremin etkilediği 11 ildeki yıkımların farklı eğim aralıklarında nasıl dağıldığını belirlemek amacıyla eğim değerleri yedi farklı sınıfa ayrılmıştır.



Şekil 7. Çalışma bölgesinde en büyük yer ivmesinin dağılışı.

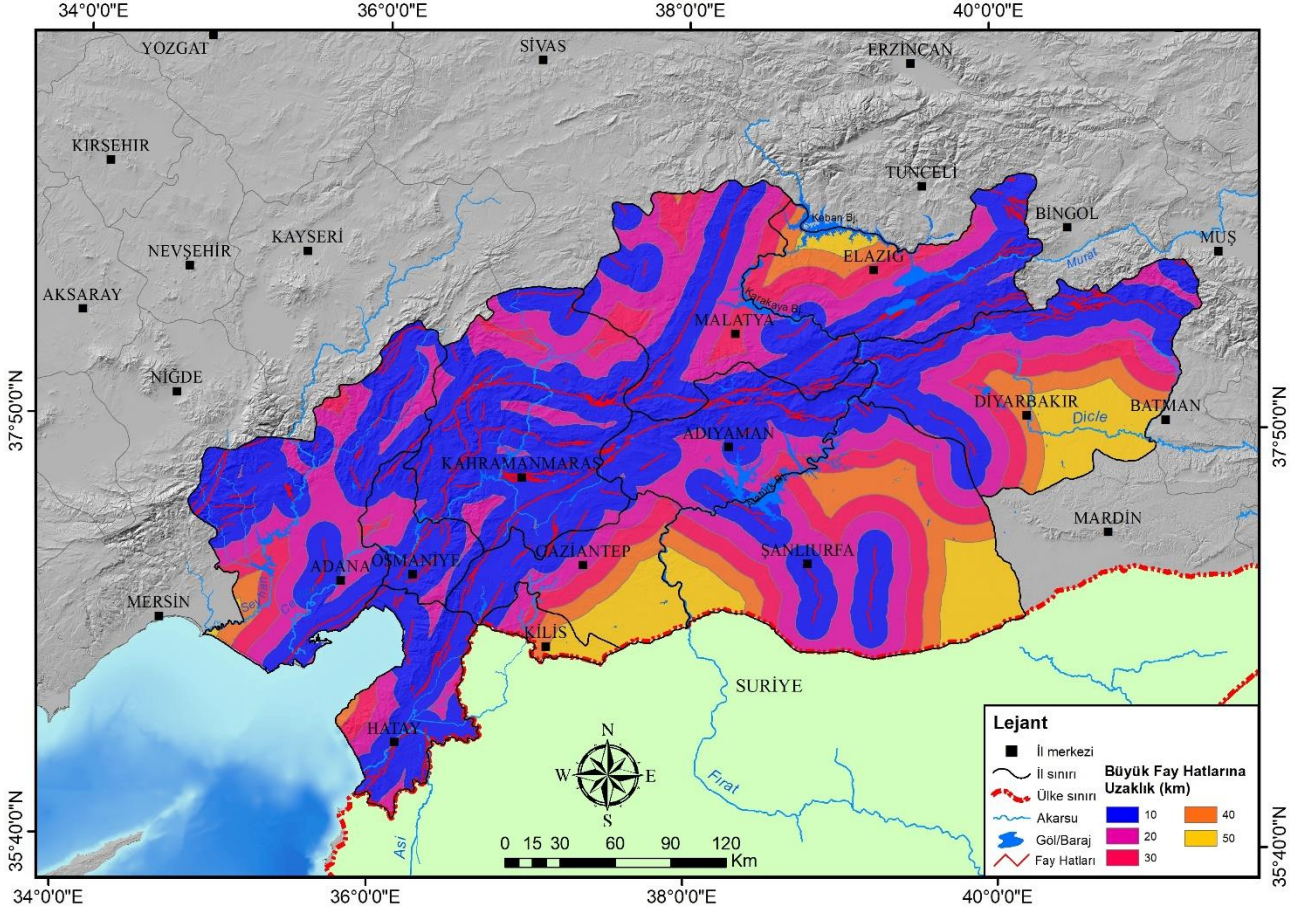


Şekil 8. Çalışma bölgesinde zemin geçirimsizlik durumlarının dağılışı.

3.1.5. Büyük fay hatlarına yakınlık

Deprem frekans oranı analizinde kullanılan ve depremlerin yıkıcı etkisinde göz ardı edilemeyeceği bir diğer faktör büyük fay hatlarına yakınlık olmuştur. Muhtemel bir depremin şiddetinin yüksek ya da hafif olması direkt olarak fay hatlarına uzaklığa bağlıdır. Ancak fay hatlarına yakınlık tek başına değerlendirilen bir kriter olmamalıdır. Bu nedenle diğer coğrafi faktörler ile değerlendirildiğinde fay hatlarına yakınlık faktörünün önemi ortaya çıkmaktadır. Nitekim Erinç'e (2000) göre fay hatlarına yakınlık deprem yer hareketinin şiddetini artırıcı yönde etkiye sahipken, üzerinde bulunan

yapıların buldukları zemine göre de sarsılma ve hasara uğrama seviyelerini belirler (Erinç, 2000). Örneğin, 1999 Kocaeli depremi incelendiğinde, depremin odağına yani oluşan fay hattına daha uzak olan Avcılar ilçesinin, daha yakın alandaki Kadıköy ilçesi ile kıyaslandığında, Avcılar ilçesinin daha ağır hasar aldığı gözlemlenmiştir. Depremin vereceği hasarın boyutunun deprem risk analizinde değerlendirilmesi bakımından çalışma bölgesinde faylara yakınlık için büyük deprem üretme potansiyeline sahip faylar olması sebebiyle 0-50 km arasında değişen yakınlık sınıfları oluşturulmuştur (Şekil 9).



Şekil 9. Çalışma bölgesinde büyük fay hatlarına yakınlık durumunun dağılışı.

3.2. Yıkılan binaların morfolojik parametreler ile değerlendirilmesi

Kahramanmaraş merkezli olarak meydana gelen 7,7 ve 7,6 Mw büyüklüğündeki depremlerden sonra ilgili kurumlar tarafından hasar tespit çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan tespitlere göre, depremden en çok etkilenen ilçeler Kahramanmaraş'ın Dulkadiroğlu, Hatay'ın Antakya, Gaziantep'in Nurdağı, Şanlıurfa'nın Haliliye, Diyarbakır'ın Bağlar, Malatya'nın Doğanşehir ve Osmaniye, Adıyaman, Kilis ve Elazığ illerinin merkez ilçeleridir (URL-2). Bu ilçeler, deprem sonucunda önemli hasara uğrayan bölgeler olarak belirlenmiştir. Yıkılan bina-zemin ilişkisini belirlemek ve depremin hangi yükseklik, eğim aralıklarında yıkımlara neden olduğunu saptamak için yıkılan binaların bulunduğu alanlar (ilçe, mahalle, sokak ve bina bazında konumları) oluşturulan eğim, yükseklik ve jeoloji

parametreleri ile karşılaştırılmış ve bu coğrafi parametrelerin yıkılan binalar üzerindeki jeolojik ve jeomorfolojik etkileri analiz edilmiştir.

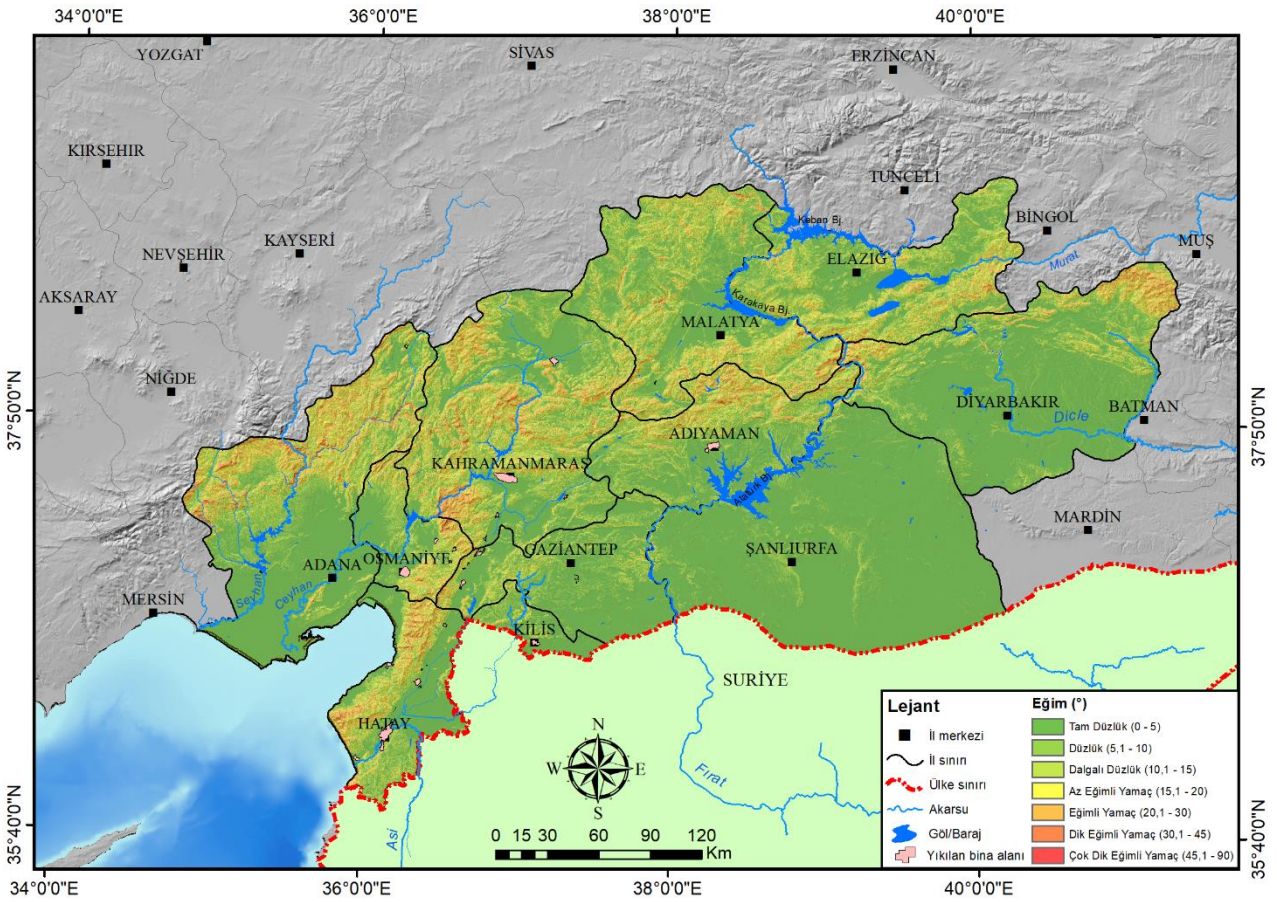
3.2.1. Yıkılan bina-eğim ilişkisi

Eğimli alanlarda inşa edilen binaların deprem davranışı, düz zemindeki binalardan farklıdır. Bu binaların yapısal bileşenleri, ardışık katların tepelere doğru geriye doğru adım atması ve bazen binaların geriye çekilmesi nedeniyle farklılık gösterir. Bu durum, aynı katlarda eşit olmayan yüksekliklerine neden olur ve hem boyuna hem de enine eğim yönlerinde ciddi sertlik düzensizliklerine yol açar. Bu nedenle eğimli alanlarda inşa edilen binalar, düz zemindeki binalara göre daha karmaşık bir davranış sergilerler (Singh ve Phani Gade, 2012). Deprem kuvveti yapıları hareket ettiren, yapılar da harekete karşı direnç gösterir ve esneyerek

hareket eder (Ocak ve Bahadır, 2022; Pampal, 1999). Eylemsizlik kuvveti ise, cisimlerin hareketsizlik veya sabit hızla hareket etmeleri nedeniyle dış kuvvetlere karşı direnç göstermeleridir (Değerliyurt, 2013). Eğimli yamaçlardaki konutlar, deprem sırasında bu iki kuvvete ek olarak düşme kuvvetine karşı da direnç göstermek zorundadır. Yapı elemanları, deprem sırasındaki esneme ve direnç kuvvetine ek olarak düşme kuvvetine dayanamazsa devrilme ve yıkılma riskiyle karşı karşıya kalır (Değerliyurt, 2013). Bu durumlar, eğimli yamaçlardaki konutların depreme karşı daha hassas olduğunu göstermektedir.

Depremi etkilediği 11 ildeki yıkımların farklı eğim aralıklarında nasıl dağıldığını belirlemek amacıyla eğim değerleri yedi farklı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 10). Yapılan sınıflandırma sonucunda, depremlerin %84'ünün 0-5° arasındaki düz alanlarda meydana geldiği tespit

edilmiştir (Tablo 3). Bu analiz, beklenenin aksine, yüksek eğimli alanlarda daha fazla bina yıkımının olması gerektiği genel kabulüne meydan okumaktadır. Özellikle, deprem kuvveti ve eylemsizlik kuvvetlerinin etkileri göz önüne alındığında, düşük eğimli bölgelerdeki binaların daha fazla zarar gördüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca, inceleme alanında yerleşim ve şehirleşme tercihinin çoğunlukla düşük eğim değerlerine sahip bölgelerde olduğu belirlenmiştir. Diğer yıkımlara bakıldığında, yıkımların %12,6'sının eğim değeri 5-10°, %2,7'sinin 10-12°, %0,6'sının 15-20° ve %0,1'inin 20-30° arasındaki eğim sınıflarında meydana geldiği gözlemlenmiştir. Kahramanmaraş ilinin merkez ilçesi dışındaki tüm deprem bölgeleri, düşük eğim değerlerine sahip düz alanlardır. Ancak Kahramanmaraş'ın merkez ilçesi, genel anlamda yüksek eğim değerlerine sahip olması nedeniyle daha fazla düşme kuvvetine maruz kalmıştır.



Şekil 10. Deprem bölgesi eğim haritası.

Tablo 3. Yıkılan binaların eğim gruplarına göre alansal (km²) ve oransal (%) dağılımı.

	Eğim grupları (°)							Toplam
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-30	30-45	45-90	
11 ilin eğim alanı (km ²)	57.437,4	20.474,5	12.653,1	8.313,1	8.510,0	1.328,5	95,4	108.812
Oran (%)	52,79	18,82	11,63	7,64	7,82	1,22	0,09	100
Yıkılan binaların eğim gruplarına göre alanı (km ²)	202,3	30,2	6,5	1,4	0,3	0	0	240,7
Oran (%)	84	12,6	2,7	0,6	0,1	0	0	100

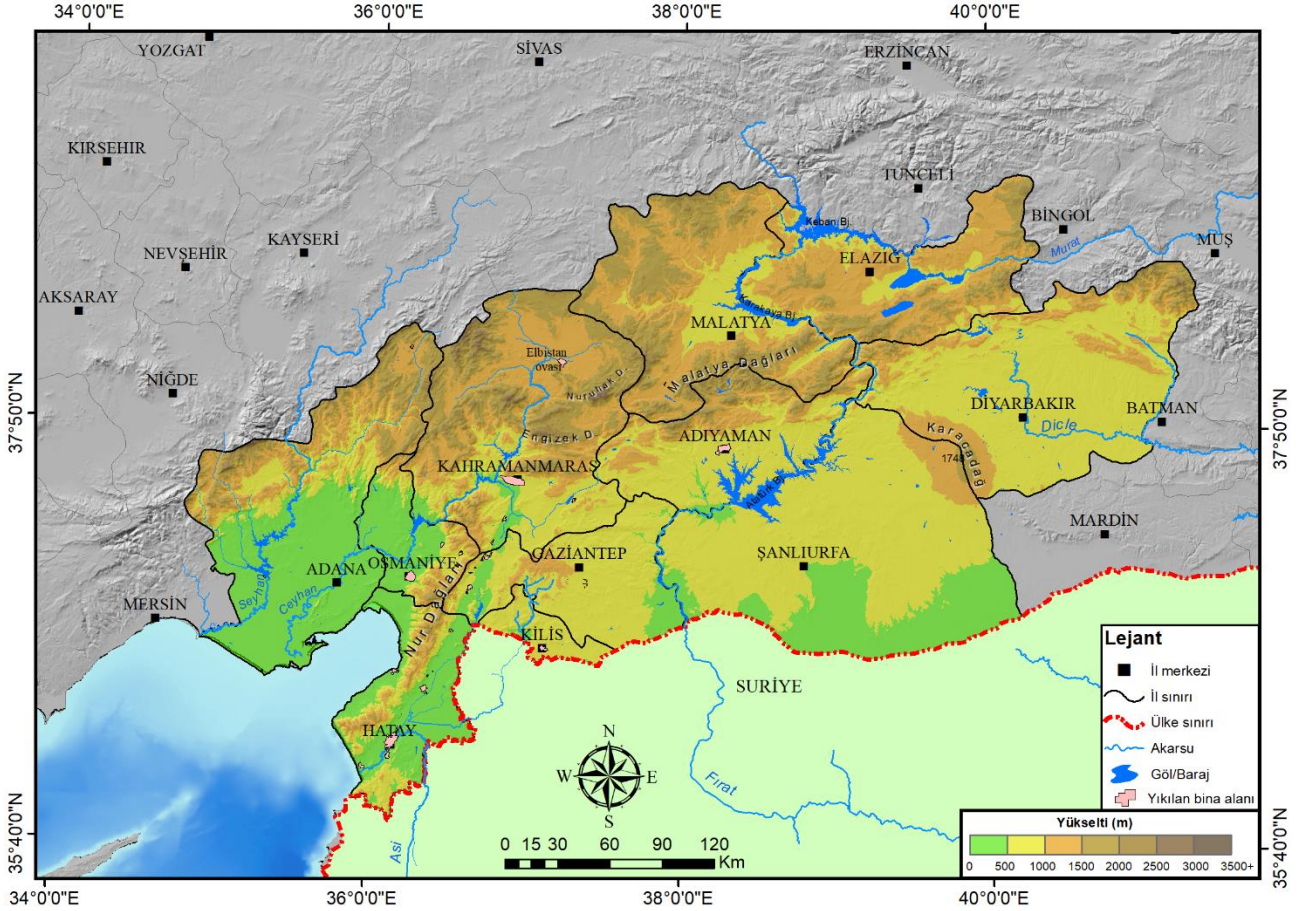
3.2.2. Yıkılan bina-topografik yükseklik (rakım) ilişkisi

Depremlerde yıkılan binalar ile topografik yükseklik arasında bir ilişki bulunmaktadır. Genel olarak

topografik yükseklik arttıkça binaların deprem etkilerine karşı daha fazla maruz kalma eğilimi vardır. Yüksek rakımlı bölgelerde yer alan yapılar, deprem sırasında daha büyük yer ivmelerine ve zemin hareketlerine maruz kalabilir. Bu bakımdan depremde yıkılan binalar ile

topografik yükseklik arasındaki ilişkinin belirlenmesi önemlidir. Bu nedenle depremin meydana geldiği 11 ilde yıkılan binaların dağılımını incelemek amacıyla yedi (7) aralıklı bir yükseklik basamakları haritası oluşturulmuş (Şekil 11) ve depremlerin yıkıcı etkisinin yükseklik ile olan ilişkisi incelenmiştir. Oluşturulan haritaya göre; depremlerle ilişkili hasarın %49,7'sinin 0-500 m, %43,4'ünün ise 500-1.000 m aralığında meydana geldiği belirlenmiştir (Tablo 4). Bu sonuçlar, bölgedeki

yerleşmelerin büyük çoğunluğunun 1.000 m'nin altındaki yüksekliklerde olduğunu göstermektedir. Özellikle alçak düzlük alanlar (0-500 m), yerleşmelerin en yoğun olduğu ve depremden en çok etkilenen yükseklik aralığı olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, depremlerin %6,9'unun 1.000-1.500 m yükseklik aralığında yıkıcı etkiler meydana getirdiği görülmüştür. Bu yıkıcı etkiler, Kahramanmaraş'ın Elbistan ve Adana'nın Tufanbeyli ilçelerinde gözlenmiştir.



Şekil 11. Deprem bölgesi yükseklik basamakları haritası.

Tablo 4. Yıkılan binaların yükseklik gruplarına göre alansal (km²) ve oransal (%) dağılımı.

	Yükseklik grupları (m)							Toplam
	0-500	500-1000	1000-1500	1500-2000	2000-2500	2500-3000	3000-3500	
11 ilin yükseklik alanı (km ²)	20.363,4	47.028,0	24.979,7	13.954,0	22.61,3	218,2	7,5	108.812
Oran (%)	18,71	43,22	22,96	12,82	2,08	0,20	0,01	100
Yıkılan binaların yükseklik gruplarına göre alanı (km ²)	119,6	104,5	16,6	0	0	0	0	240,7
Oran (%)	49,7	43,4	6,9	0	0	0	0	100

3.2.3. Yıkılan bina-zemin ilişkisi

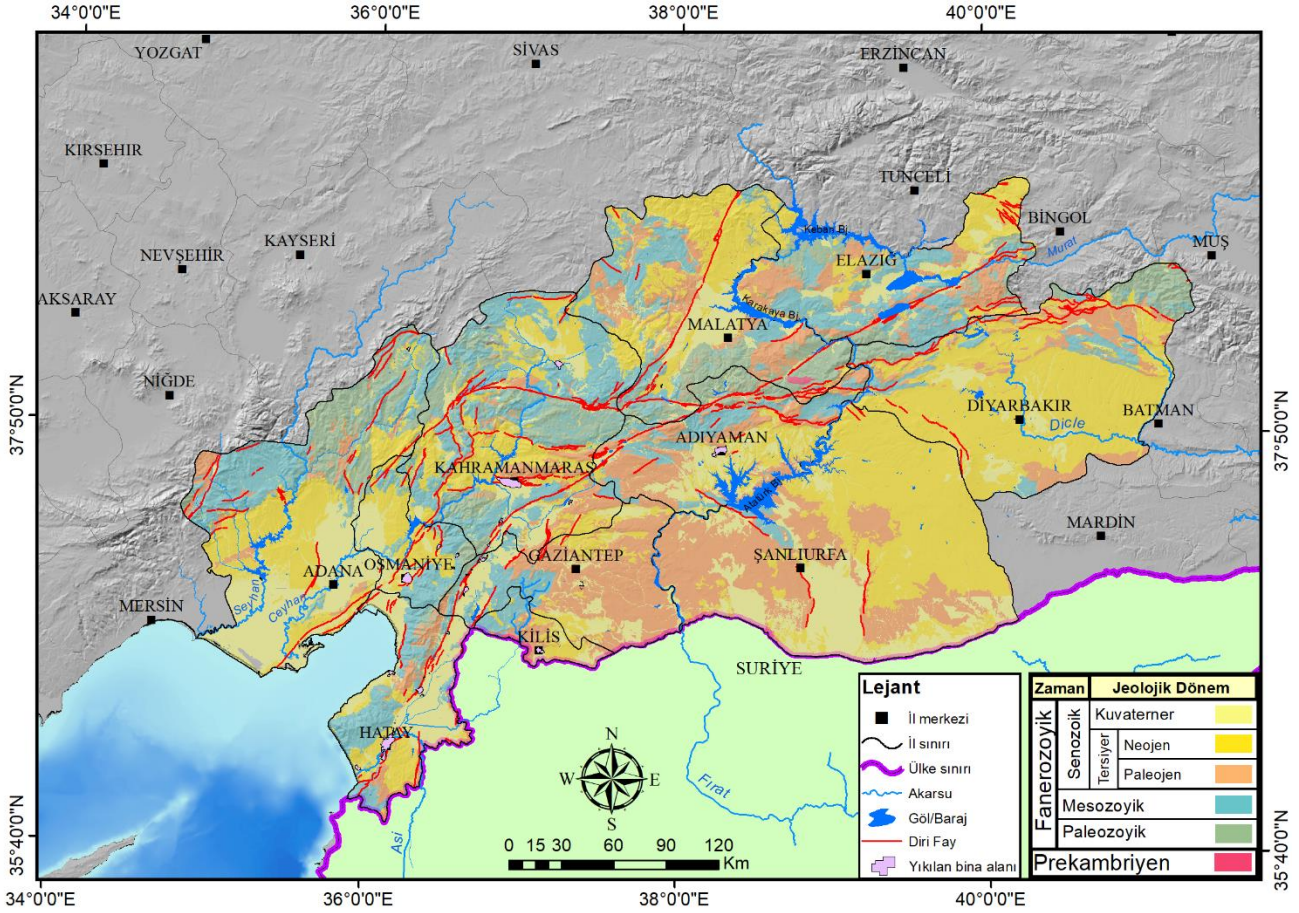
Bilindiği üzere deprem etkileri, sadece büyüklük ve süre gibi faktörlere bağlı olmayıp, deprem şiddeti ile zemin özellikleri arasındaki ilişkiden de etkilenmektedir (Çelik ve ark., 2000; İnce, 2011; Sert ve ark., 2016; Bayrak ve ark., 2021). Deprem dalgaları kaya zeminlerde yüksek hızlarda ve yüksek frekanslı titreşimlerle ilerlerken, gevşek zeminlerde daha yavaş hareket etmekte ve uzun periyotlu titreşimlere sebep olmaktadır (Balyemez ve Berköz, 2005; Sandal ve Karademir, 2013). Bu nedenle, sağlam zemin üzerine inşa edilen yapılar depreme karşı

daha dirençli iken, ıslak dolgu zemin üzerindeki depremin şiddetini birkaç kat daha fazla hissettiklerinden depremden daha çok etkilenirler (Sandal ve Karademir, 2013). Depremde meydana gelen yer hareketleri binaları etkiler ve her yapı kendi salınım periyodunu kazanır. Binanın salınım periyodu yapı ve zemin özelliklerine, kat sayısına ve yüksekliğine bağlı olarak değişir. Binanın salınım periyodu ile zeminin salınım periyodu üst üste bindiği zaman deprem hasarları beklenenden daha fazla olabilir. Bu durum rezonans olarak adlandırılır ve binaya gelen kuvvetin her seferinde binanın salınım hızını artırarak binayı

sallamasıyla açıklanır. Bu nedenle uzun periyotlu binalar kısa periyotlu salınma sahip zeminlere, kısa periyotlu salınma sahip binalar ise uzun periyotlu salınma sahip zeminlere inşa edilmelidir (Biricik ve Korkmaz, 2001). Özetle, çok katlı yüksek binaların sağlam zeminlerde inşa edilmesi, az katlı düşük binaların ise yumuşak, gevşek zeminler üzerine yapılması daha uygundur.

Deprem meydana geldiği illerde farklı jeolojik zamanlarda oluşmuş çeşitli kayaç grupları mevcuttur (Şekil 12). Bölgedeki en yaygın arazi tipleri, Neojen ve Paleojen dönemlerine ait volkanik ve volkanosedimanter kayaçlar ile Kuvaterner dönemine ait alüvyal

malzemelerdir (Şekil 13). Bu arazilerin yayılış alanında, Miyosen'den itibaren Arabistan levhasının kuzeye doğru ilerlemesi ve buna bağlı olarak ortaya çıkan sıkışma ve itilme sonucu GB-KD uzantılı Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) meydana gelmiştir. DAFZ, Kuzey Anadolu Fay Zonundan (KAFZ) sonra Türkiye'nin en aktif fay sistemi olup Ölü Deniz Fay Sisteminin kuzeydeki uzantısı olarak kabul edilir. DAFZ, genel olarak bindirme ve sol yanal doğrultu atımlı olarak bilinir. DAFZ, Karlıova-Antakya arasında 580 km'lik bir uzanım göstererek bölgenin jeodinamik evrimi ve depremselliğinde önemli rol oynamaktadır (Allen, 1969; Arpat ve Şaroğlu, 1972; Dewey ve ark., 1986; İmamoğlu ve Çetin, 2007).

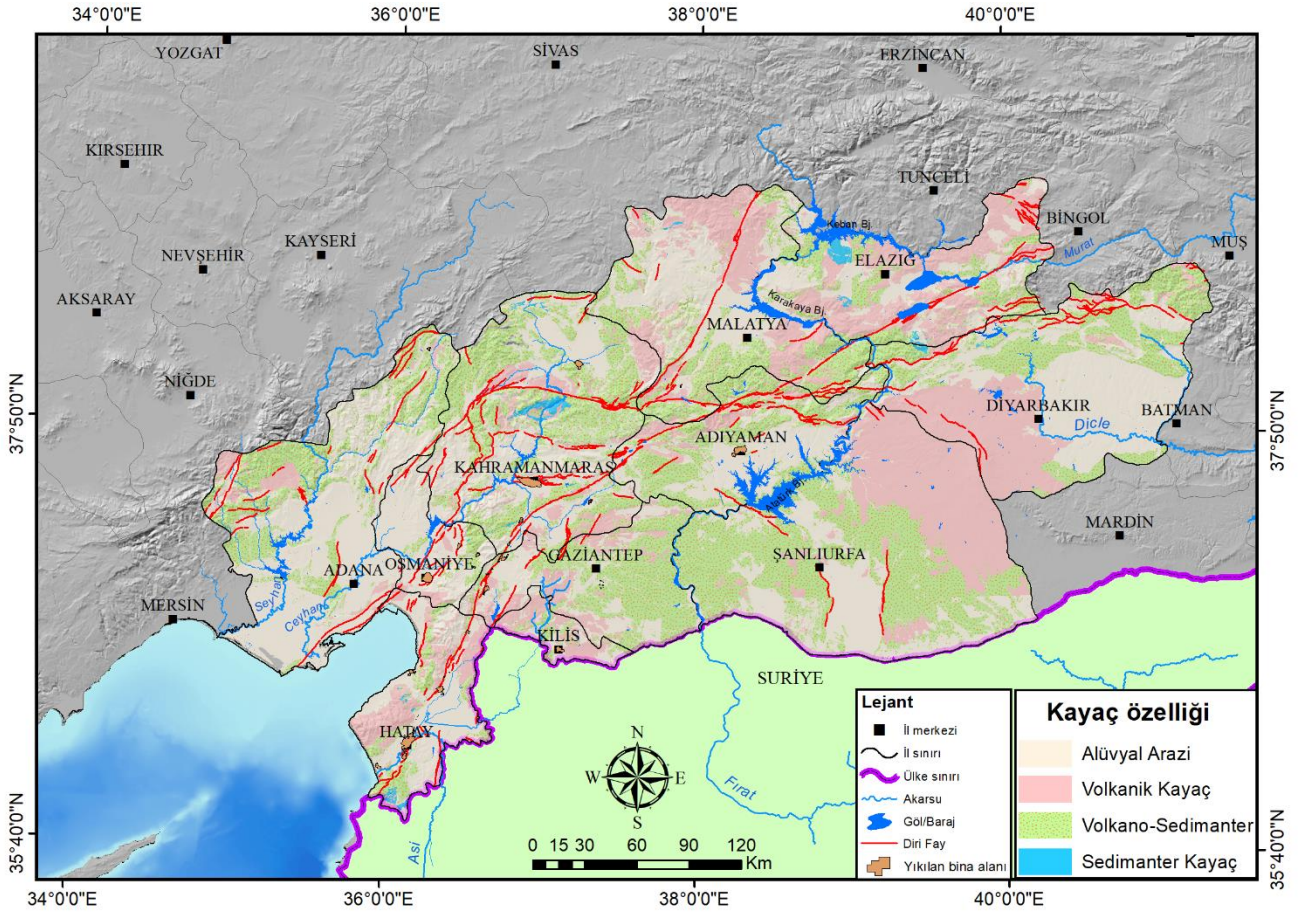


Şekil 12. Deprem bölgesi jeoloji haritası.

Yapılan araştırmada, yıkılan bina-zemin ilişkisini belirlemek amacıyla çalışma bölgesindeki kayaçlar jeolojik dönemlere göre incelenmiştir. Bulgulara göre, yıkılan binaların %46'sı (110,8 km²) Kuvaterner dönemine ait alüvyal arazi üzerinde yer almaktadır. Bu alanlar daha çok Hatay, Osmaniye, Gaziantep, Malatya, Kahramanmaraş ve Şanlıurfa illerinde bulunmaktadır. İkinci önemli alan ise %26,5 oranında (63 km²) Pliyosen dönemine ait Kumtaşı-Çamurtaşı-Kireçtaşı arazileridir ve bu alanlar Hatay, Osmaniye ve Adıyaman illerinde yer almaktadır (Tablo 5). Diğer yıkılan bina alanları ise Kuvaterner dönemine ait yamaç molozu-birikinti konisi, eski alüvyon, traverten arazileri (%13,8), Pliyosen-Miyosen dönemine ait bazalt arazileri (%1,4), Miyosen

dönemine ait kireçtaşı, çakıltaşı, ofiyolitik kaya arazileri (%10,4), Kretase dönemine ait serpantin arazileri (%0,5) ve Üst Jura-Alt Kretase dönemine ait volkanit-çökel kaya arazileri (%1,4) üzerinde yer almaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde depremde en fazla etkilenen yerlerde ana kaya özelliklerinin yumuşak ve pekişmemiş malzemelerden oluştuğu saptanmıştır. Çalışma bölgesinde yer alan ana kayanın sahip olduğu bu özellik, deprem titreşimlerinin sabit zemini hareket ettirmesi ile zemini akışkan bir zemine dönüştürmeye ve sıvılaşmaya neden olabilmektedir. Bunun sonucu olarak zemin, binaları taşıyamaz hale gelmekte ve binaların devrilmesine, eğilmesine ve hatta zemine göçmesine neden olmaktadır (Şekil 14).



Şekil 13. Deprem bölgesi kayaçların dağılışı.



Şekil 14. Adıyaman'ın Gölbaşı ilçesinde sıvılaşma sonucunda zemine göçen binalar (URL-3).

3.3. Depremde yıkıma uğrama riski analizi

Bu çalışma ile frekans oranlarının tespiti sonucunda 11 ilin deprem risk profili ortaya konulmaya çalışılmıştır. Analizde kullanılan renk kodlaması, sismik tehlikenin coğrafi dağılımını etkili bir şekilde göstermektedir.

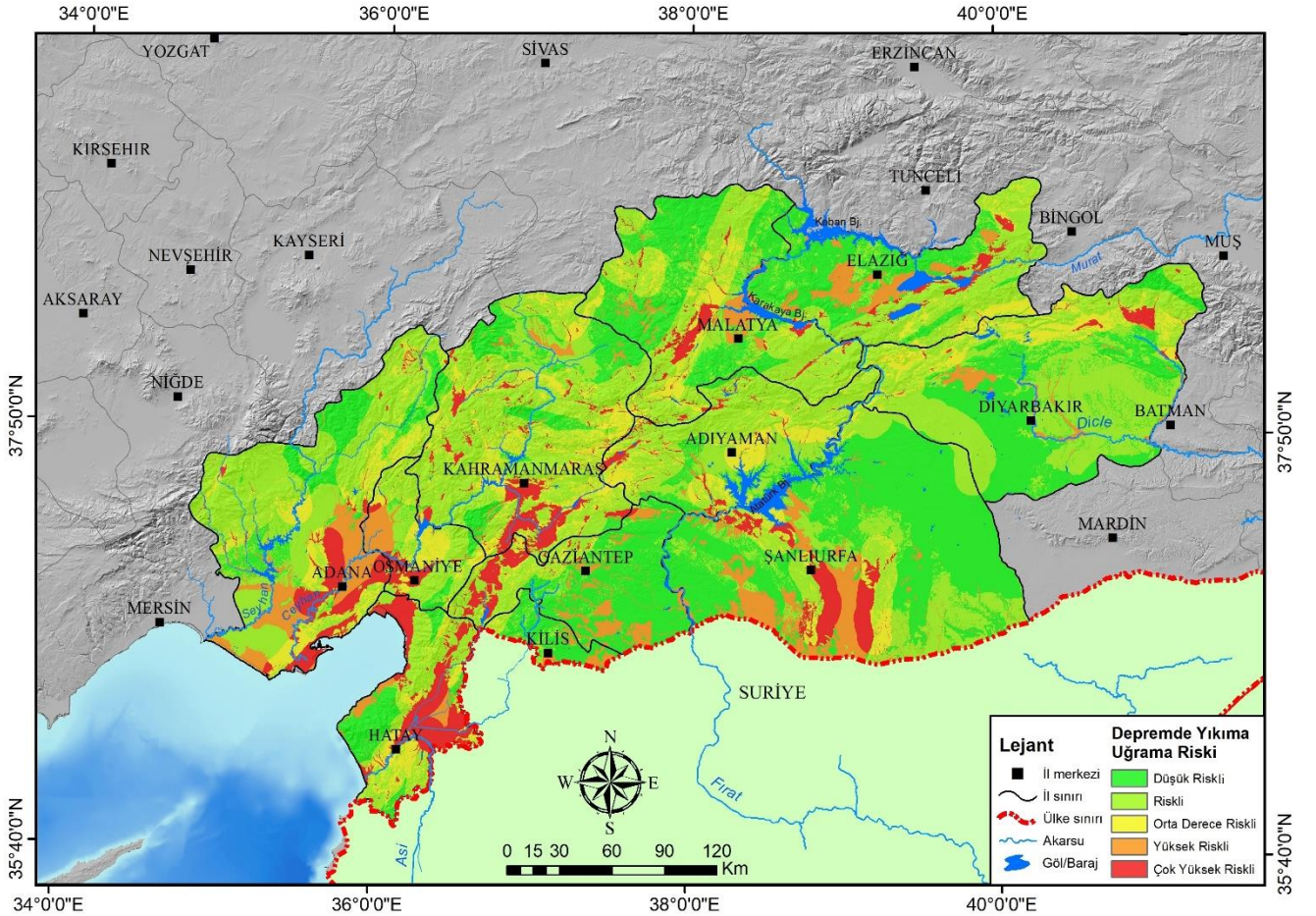
Kırmızı ve turuncu renkle vurgulanan bölgeler, yoğun sismik aktiviteye maruz kalarak çok yüksek ve yüksek yıkım riski altında olan yerleşim alanlarını işaret eder. Özellikle Hatay, Adana, Osmaniye, Şanlıurfa, Kahramanmaraş ve Malatya gibi şehirlerin çevreleri çok yüksek ve yüksek risk kategorisine girmektedir (Şekil

15). Bu alanlara, deprem hazırlık ve müdahale planlaması açısından özellikle dikkat edilmesi ve kaynak ayrılması gerekmektedir. Sarı renkle belirtilen bölgeler, orta derecede risk taşıyan yerleşim alanlarını göstermektedir (Şekil 15). Buradaki risk, kırmızı ve turuncu alanlara göre daha azdır, ancak bu bölgelerdeki yapılarda sismik güçlendirme ve acil durum planlarının geliştirilmesi önem taşır. Yeşil renkle işaretlenen yerler

ise düşük ve en düşük deprem riskine sahip alanlardır (Şekil 15). Bu bölgelerdeki risk düzeyinin düşük olması, altyapı ve yapıların sismik etkilere karşı doğal olarak daha dirençli olduğunu veya sismik aktivitenin nispeten az olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, bu bölgelerde dahi temel deprem güvenliği önlemlerinin ihmal edilmemesi önemlidir.

Tablo 5. Bina-zemin ilişkisine göre yıkılan binaların bulunduğu alanlara ait zemin özellikleri.

Jeolojik dönem	Kayaç Özelliği	Bulunduğu İl	Alan (km ²)	Oran (%)
Kuvaterner	Alüvyon	Hatay-Osmaniye-Gaziantep-Malatya-Kahramanmaraş-Şanlıurfa	110,8	46,0
	Yamaç molozu-Birikinti konisi	Kahramanmaraş-Hatay	24,2	10,1
	Eski alüvyon	Elâzığ-Kilis	6,8	2,8
	Traverten	Hatay-Adana	2,2	0,9
Pliyosen	Kumtaşı-Çamurtaşı-Kireçtaşı	Hatay	31,2	13,0
	Çakıltası-Kumtaşı-Çamurtaşı	Osmaniye-Adıyaman	32,8	13,5
Pliyosen-Miyosen	Bazalt	Diyarbakır-Kilis	3,3	1,4
	Kireçtaşı	Hatay	12,7	5,3
Miyosen	Çakıltası	Kahramanmaraş	8,3	3,4
	Ofiyolitik kaya	Hatay-Elâzığ	4	1,7
Kretase	Serpantin	Osmaniye	1,1	0,5
Üst Jura-Alt Kretase	Volkanit-Çökel kaya	Kahramanmaraş	3,3	1,4
	Toplam		240,7	100



Şekil 15. Deprem frekans oranına göre 11 ilde depremde yıkıma uğrama riski haritası.

Bu çalışmada ele alınan toplam 108.812 km² alanda yapılan deprem frekans analizine göre, alanın %43,72'si "Riskli" düzeyde yer almaktadır ve bu durum, bölgenin

büyük bir kısmının önemli bir deprem riski altında olduğunu göstermektedir. "Düşük Risk" grubu, görece güvenli alanları temsil ederken, toplam alanın %29,01'ini

kaplayarak büyük bir bölümü oluşturur. "Orta Derece Riskli" ve "Yüksek Riskli" kategoriler toplam alanın sırasıyla %11,19 ve %8,23'ünü temsil ederken, "Çok Yüksek Riskli" bölge %7,85'lik bir alana sahiptir ve bu kategorideki bölgeler en fazla dikkat ve önlem gerektiren yerlerdir (Tablo 6).

Tablo 6. Deprem frekans oranına göre 11 ilde risk gruplarının alansal ve oransal dağılımı.

Risk Grupları	Alan (km ²)	Oran (%)
Düşük Riskli	31.567	29,01
Riskli	47.574	43,72
Orta Derece Riskli	12.175	11,19
Yüksek Riskli	8.953	8,23
Çok Yüksek Riskli	8.543	7,85
Toplam	108.812	100

4. Sonuçlar

Sonuç olarak bu çalışma, 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş Depremleri sırasında yıkılan binaların zemin ilişkilerinin kapsamlı bir analizini sunmaktadır. Bu çalışmada; jeoloji, eğim, topografik yükseklik, en büyük yer ivmesi, zemin geçirimsizliği, büyük fay hatlarına yakınlık verileri ile HOTOSM (Humanitarian Open Street Map Team) verileri, temel alınarak, deprem frekans oranlarının ve etkilerinin coğrafi dağılımı detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca, bu çalışmada yıkılan binaların eğim, yükseklik, zemin tipi ve genel deprem riski ile olan ilişkileri dört farklı kategori altında incelenmiştir: yıkılan bina-eğim ilişkisi, yıkılan bina- topografik yükseklik ilişkisi, yıkılan bina-zemin ilişkisi ve depremde yıkıma uğrama riski analizi. Bu parametreler, Kahramanmaraş Depremleri sırasında yıkılan yapıların özelliklerini ve risk faktörlerini daha iyi anlamamıza yardımcı olmuştur.

Bu çalışmada, Kahramanmaraş merkezli depremler sırasında yıkılan yapıların büyük çoğunluğunun (%84) 0-5° eğim aralığındaki düz alanlarda yer aldığı tespit edilmiştir. Bu bulgular, düşük eğimli alanların yerleşim ve yapılaşma için tercih edildiğini gösterirken, nispeten güvenli olarak kabul edilen bu bölgelerin beklenmedik bir sismik aktivite durumunda ciddi riskler taşıdığını ortaya koymaktadır. İlginç bir şekilde, yıkımlar eğim arttıkça azalmaktadır. Yıkımların 5-10° eğimli alanlarda %12,6, 10-15° eğimli alanlarda %2,7 ve daha yüksek eğimli alanlarda ise daha da düşük bir orana indiği gözlemlenmiştir. Çünkü az eğimli alanlar, düz-düze yakın alanlar alüvyal zeminlerden oluştuğu için buralarda yıkım daha fazla olmuştur. Bu sonuç, eğim değerlerinin yüksek ya da düşük olmasının her deprem alanında aynı sonucu doğurmayabileceğini vurgulamaktadır. Analiz sonuçları, depremin etkilerinin bölgeden bölgeye farklılık gösterebileceğini ve binaların yapısı, yerel zemin koşulları gibi faktörlere bağlı olarak değişebileceğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, düşük eğimli alanlardaki bina yıkımlarının, beklenenden daha yüksek olmasının nedenleri daha detaylı bir araştırma gerektirmektedir. Şehir planlaması ve afet risk yönetimi stratejilerinde sadece yüksek eğimli alanların değil, aynı zamanda düşük eğimli alanların da kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi önem kazanmaktadır. Özellikle, düz alanlarda yaşanabilecek sıvılaşma gibi jeoteknik risklerin

yanı sıra, yüksek yapı yoğunluğu olan bölgelerdeki yapıların sismik dayanıklılığının artırılması gerekmektedir. Bu çalışma, yerleşim yerlerinin planlanmasında ve altyapı gelişiminde, potansiyel sismik tehlikeleri en aza indirecek şekilde kapsamlı bir yaklaşım benimsemenin ve bu yaklaşımın hem düşük hem de yüksek eğimli alanlarda uygulanmasının önemini vurgulamaktadır.

Çalışma kapsamında Kahramanmaraş merkezli depremler esnasında yıkılan yapıların çoğunluğunun gerçekleştirilen istatistiksel ve mekânsal analizlere göre, düşük rakımlı alanlarda konumlandığı belirlenmiştir. İncelenen 11 ildeki yıkılan yapıların %49,7'si 0-500 m ve %43,4'ü 500-1.000 m yükseklik aralığında meydana gelmiştir. Bu da bölgedeki yerleşimlerin büyük bir kısmının bu yükseklik kategorilerinde yer aldığını göstermektedir. Özellikle 0-500 metre aralığı, en yoğun yerleşim ve depremden en çok etkilenen yükseklik aralığı olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, 1.000-1.500 m aralığında da %6,9'luk bir yıkımın gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu veriler, yükseklik artışıyla birlikte yıkım oranlarının azaldığını; ancak 1.000 metre üzeri rakımlarda da önemli yıkımların gerçekleştiğini, dolayısıyla bu yükseklik dilimlerinin deprem risk yönetimi ve şehir planlaması açısından özenle değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Deprem risk yönetimi ve şehir planlaması stratejileri, bu bulgular ışığında hem alçak düzlüklerde hem de orta yüksekliklerde yer alan yerleşim alanları için yeniden gözden geçirilmeli ve sismik dayanıklılık önlemleri bu yükseklik profillerine göre uyarlanmalıdır. Afet senaryo planlamaları ve risk değerlendirmeleri, bu coğrafi ve topografik verileri temel alarak, yerleşim yerlerinin ve altyapıların sismik tehlikelere karşı daha dirençli hale getirilmesine odaklanmalıdır.

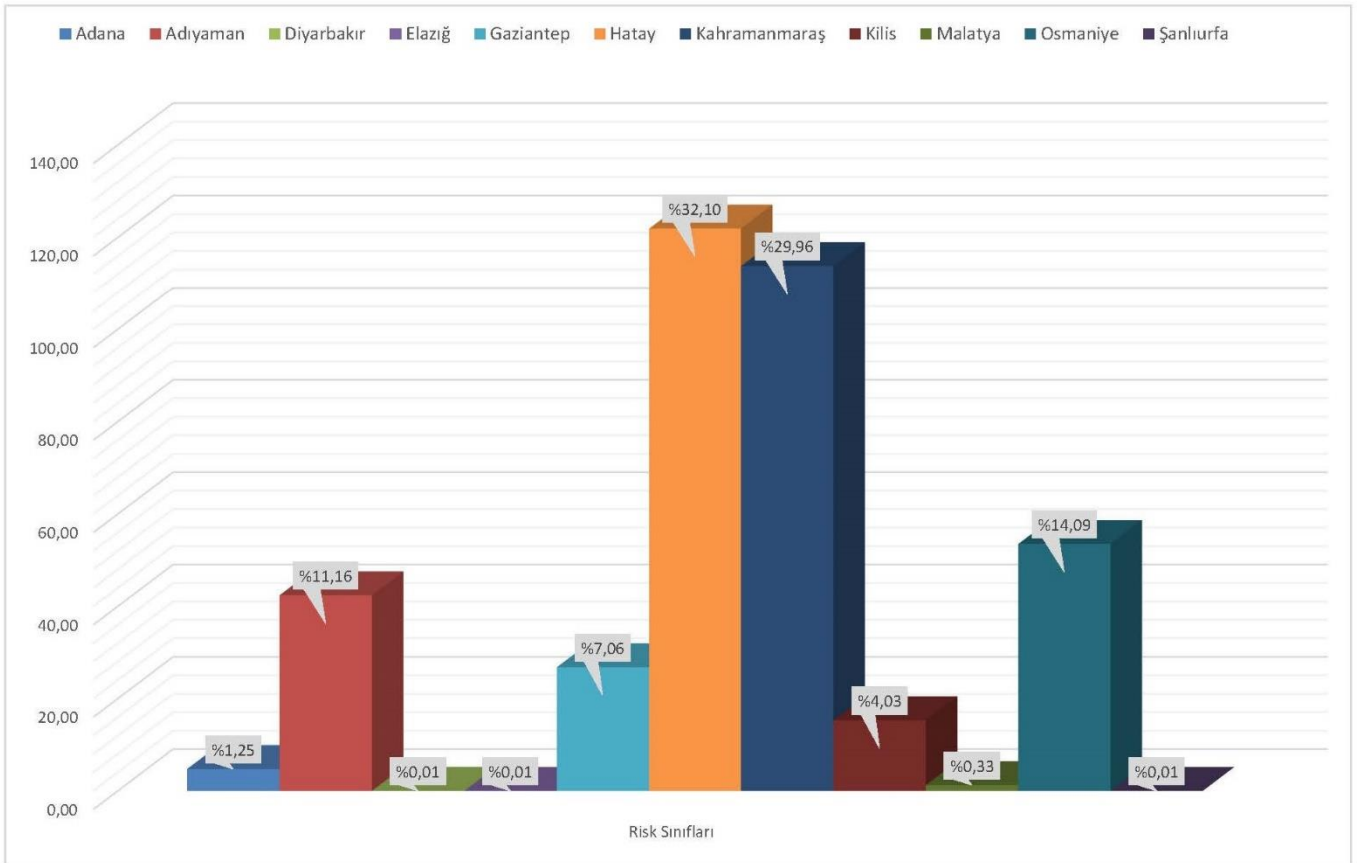
Çalışma kapsamında ayrıca, Kahramanmaraş ve çevresindeki deprem etkisi altındaki yıkılan yapıların zemin özellikleri ve jeolojik birimlerle olan ilişkisi de kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Deprem etkisinin yerel zemin ile ilişkilendirildiği analiz sonuçları, zemin türlerinin ve jeolojik dönemlerin yapısal hasarlara etkisi konusunda önemli bulgular ortaya konulmasını sağlamıştır. Özellikle, yıkılan yapıların büyük çoğunluğu, toplam alanın %46'sını temsil eden 110,8 km²'lik Kuvaterner dönemine ait alüvyon zeminler üzerinde yoğunlaşmıştır.

Bu zeminler, sismik dalgaların zayıf yapıları daha da olumsuz etkileyebileceği gevşek ve düşük mukavemetli malzemelerden oluşmaktadır. Bu durumun Pliyosen dönemi kayaçlarının; özellikle kumtaşı, çamurtaşı ve kireçtaşının bulunduğu 31,2 km²'lik alanlar (%13) ve Miyosen dönemine ait çakıltaşı, kireçtaşı ve bazaltların yer aldığı 8,3 km²'lik alanlarla (%3,4) yıkım oranlarında dikkate değer bir etkisi olduğu gözlenmiştir. Ayrıca Pliyosen-Miyosen dönemi bazaltları, yıkılan yapılar için 3,3 km²'lik (%1,4) bir alanı kaplarken, bu yapılar genellikle daha yüksek sismik dirence sahip olan sert kayaçlar üzerine inşa edilmiştir. Kuvaterner dönemine ait yamaç molozu ve birikinti konilerinin bulunduğu 24,2 km²'lik (%10,1) alanlar ve eski alüvyonların yer aldığı 6,8 km²'lik (%2,8) alanlar da incelenmiştir. Bu alanlar, yapısal hasarların zemin tipi ve jeolojik özelliklerle nasıl ilişkilendirilebileceğini ve bu etkileşimin, afet risk

yönetimi stratejileri geliştirilirken nasıl dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Sonuç olarak gerçekleştirilen çalışmada elde edilen bulgular, zemin türleri ve jeolojik yaşların yapısal hasarlarla ilişkisini detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır. Ayrıca bu bulgular, deprem risk yönetimi ve yapısal tasarım ilkelerinin geliştirilmesinde etkili bir rehber olarak kullanılabilir. Zemin ve jeolojik özelliklerin, yapıların deprem performansı üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak ve sismik dayanıklılığı artırmak amacıyla kayaç türlerinin ve zemin özelliklerinin yapısal hasar değerlendirmelerine ve şehir planlamasına entegrasyonu, gelecekteki araştırmalar ve uygulamalar için temel bir öneme sahiptir.

Araştırma, depremde yıkıma uğrama riskinin coğrafi dağılımını ve frekansını değerlendirerek bölgenin risk profilini net bir şekilde ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlar; özellikle Hatay, Adana, Osmaniye, Şanlıurfa, Kahramanmaraş ve Malatya çevresindeki yerleşim alanlarının yüksek sismik aktivite nedeniyle yüksek yıkım riski altında olduğunu göstermektedir. Bu alanlar, deprem hazırlık ve müdahale planlaması için öncelikli öneme sahiptir ve özel dikkat ile kaynak ayrılmasını gerektirir. Düşük riskli bölgelerde bile temel deprem güvenlik önlemlerinin uygulanması kritik önem taşımaktadır. Toplam 108.812 km² analiz alanında, "Riskli" olarak sınıflandırılan ve toplam alanın %43,72'sini kaplayan bölgeler en geniş yüzeyi oluşturmuş ve böylece bölgenin büyük bir kısmının önemli deprem riski altında olduğu görülmüştür.

6 Şubat 2023'te meydana gelen Kahramanmaraş depremlerinin ardından yapılan analizler zemin özelliklerinin ve jeolojik yapının ne denli önemli olduğunu göstermiştir. Yıkılan yapıların büyük bir bölümünün düşük eğimli ve düşük rakımlı alanlarda konumlandığı, bu alanların da genellikle alüvyon gibi gevşek zeminlerden oluştuğu tespit edilmiştir. Yapıların çoğunun bu tür zeminler üzerinde yükselmesi, deprem sırasında hasar görme riskini önemli ölçüde artırmaktadır. Buna karşın, sert kayaçlar üzerinde inşa edilen yapılarda hasar oranlarının daha düşük olduğu gözlenmiştir. Depremsellik açısından aktif olan Hatay, Adana, Osmaniye, Şanlıurfa, Kahramanmaraş ve Malatya gibi alanlarda riskin yüksek olması, bu bölgelerde deprem önlemlerinin ve müdahale kapasitesinin öncelikli olarak artırılması gerektiğini işaret etmektedir (Şekil 16). Ancak bu çalışma Kahramanmaraş ve çevresindeki 6 Şubat depreminin risk analiz sonuçlarına dayanarak, depremin etkilediği alanlardaki yapı stoğunun güçsüzlüğü ile ilgili önemli bir paradoksu da ortaya koymuştur. Özellikle, deprem frekans analizine göre riskin düşük olduğu bölgelerde, örneğin Elbistan ilçesi gibi, beklenmeyen büyük yıkımların ortaya çıkması, yapı stoğunun kalitesizliği ve dayanıksızlığı ile ilişkilendirilmiştir. Bu durum, depremin sadece yüksek riskli alanlarda değil, aynı zamanda yapıların dayanıklılığındaki eksiklikler nedeniyle düşük riskli alanlarda da büyük etkilere neden olabileceğini göstermektedir.



Şekil 16. 11 ilde depremde yıkıma uğrama riskinin il bazında oransal dağılımı.

Gerçekleştirilen deprem risk analizi, risk yönetimi ve acil müdahale stratejilerinin geliştirilmesi için katkıda

bulunurken, aynı zamanda yapısal dayanıklılığın ve şehir planlamasının, jeolojik ve zemin özelliklerine göre

şekillendirilmesinin önemini vurgulamaktadır. Sismik riskin minimize edilmesi adına yapıların konumlandırılmasında jeolojik ve topografik faktörlerin göz önünde bulundurulması, bu çalışmada ulaşılan en önemli sonuçlardan biridir. Gelecekteki yapılaşma ve geliştirme projeleri ile daha güvenli ve dirençli bir kentsel altyapının inşası için gereken stratejik kararlar alınırken bu çalışmadan elde edilen sonuçlar kullanılabilir. Bu bulguların ışığında, deprem hazırlık ve müdahale planlarının yanı sıra, yapısal tasarım ilkelerinin de yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir. Bu çalışma, bölgesel deprem risk yönetiminin güçlendirmesi ve toplulukların afetlere karşı daha dirençli hale gelmelerinin sağlanması açısından önemli bir adım niteliğindedir.

Bu çalışma kapsamında oluşturulan deprem frekans ve yıkım riski haritasının kamuoyu ile paylaşılması için bir web tabanlı uygulama geliştirilmiştir (URL-4). Bu uygulama, geniş bir kullanıcı kitlesi tarafından erişilebilir ve anlaşılabilir olup, bireylerin ve yerel yönetimlerin deprem riskine karşı bilinçlenmelerine katkıda bulunacaktır. Geliştirilen uygulama, kullanıcıların belirli bir bölgedeki deprem frekanslarını ve olası yıkım riskini interaktif haritalar üzerinden görmelerine olanak tanımaktadır. Ayrıca, bu haritalar, afet yönetimi ve kentsel planlama açısından önemli bilgiler sunarak yerel yönetimlere rehberlik edebilir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışmanın yayınlanmasında katkı sağlayan sayın yayın editörlerine, değerli editör ve hakemlere yapıcı eleştirileri ve yol gösterici yorumları için teşekkür ederiz.

Araştırmacıların katkı oranı

Selim Eraslan: Düzenleme, makale yazımı; **İlter Kutlu Hatipoğlu:** Yöntem, veri hazırlama, harita analizi, risk haritası üretimi; **Fatih Ocak:** Web tabanlı uygulamanın hazırlanması, veri üretimi, veri tabanı tasarımı, yöntem, düzenleme, literatür taraması, makale yazımı; **Fatih Işık:** Veri üretimi, yöntem, harita hazırlama, düzenleme, literatür taraması, makale yazımı; **Halil İbrahim Zeybek:** Düzenleme, makale yazımı

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

AFAD. (2018). Türkiye deprem bina Yönetmeliği. Ek: Deprem etkisi altında binaların tasarımı için esaslar. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm>

AFAD. (2023a). 06 Şubat 2023 Kahramanmaraş (Pazarcık ve Elbisten) Depremleri Saha Çalışmaları Ön Değerlendirme Raporu. https://deprem.afad.gov.tr/assets/pdf/Arazi_Onrap_or_28022023_surum1_revize.pdf

AFAD (2023b). 06 Şubat 2023 Pazarcık-Elbistan Kahramanmaraş (Mw: 7.7 – Mw: 7.6) Depremleri Raporu. https://deprem.afad.gov.tr/assets/pdf/Kahramanmara%C5%9F%20Depremi%20%20Raporu_02.06.2023.pdf

Aleotti, P., & Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: Summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58(1), 21–44. <https://doi.org/10.1007/s100640050066>

Allen, C. R. (1969). Active faulting in northern Turkey. *Contribution 1577. Div. Geol. Sciences California Inst. Technology*, 32. https://authors.library.caltech.edu/74136/1/Allen_1969p1.pdf

Arpat, E., & Şaroğlu, F. (1972). Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlemler. *MTA Dergisi*, 78, 44–50.

Balyemez, S., & Berköz, L. (2005). Hasar görülebilirlik ve kentsel deprem davranışı. *İtüdergisi/a Mimarlık, Planlama, Tasarım*, 4(1), 3–14.

Başara, A. C., & Şişman, Y. (2022). Frekans oranı, kanıt ağırlığı ve lojistik regresyon yöntemleri kullanılarak heyelan duyarlılık haritalarının CBS tabanlı karşılaştırılması Comparison of landslide susceptibility maps using frequency ratio, weight of evidence and logistic regression meth. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(3), 647–660. <https://doi.org/10.28948/ngmuh.1065284>

Bayrak, E. (2019). Doğu Anadolu Bölgesi İçin En Büyük Yer İvmesi Tahmini. *European Journal of Science and Technology*, 17, 676–681. <https://doi.org/10.31590/ejosat.637938>

Bayrak, E., Ozer, C., Cakici, H., & Kocadagistan, M. E. (2021). January 24, 2020 Sivrice (Turkey) Earthquake (Mw 6.8): Evaluation of Ground-Motion Prediction Equations and Microtremor Studies. *Turk Deprem Arastirma Dergisi*, 3(2), 125–148. <https://doi.org/10.46464/tdad.1003057>

Biricik, A. S., & Korkmaz, H. (2001). Kahramanmaraş'ın Depremselliği. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 3, 53–82.

Chaudhary, M. T., & Piracha, A. (2021). Natural Disasters—Origins, Impacts, Management. *Encyclopedia*, 1(4), 1101–1131.

Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2023). 2023 Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri Raporu. <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/03/2023-Kahramanmaraş-ve-Hatay-Depremleri-Raporu.pdf>

Coşkun, M., & Toprak, F. (2023). Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı orman yangını risk analizi: Bartın İli örneği. *Geomatik*, 8(3), 250–263. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1192219>

Çelik, O. C., Çılı, F., & Özgen, K. (2000). 17 Ağustos 1999 Kocaeli (İzmit) Depreminden gözlemler. *Yapı Dergisi*, 218, 65–76.

Değerliyurt, M. (2013). Antakya'da Doğal Afet Risk Analizi. <https://shodhganga.inflibnet.ac.in/jspui/handle/10603/7385>

Demirtaş, R., & Erkmek, C. (2000). Deprem ve jeolojisi. *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları*.

- Dewey, J. F., Hempton, M. R., Kidd, W. S. F., Saroglu, F., & Şengör, A. M. C. (1986). Shortening of continental lithosphere: The neotectonics of Eastern Anatolia - A young collision zone. In Geological Society Special Publication, 19, 1-36.
<https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1986.019.01.01>
- EM-DAT. (2023). EM-DAT: The International Disaster Database.
<http://www.emdat.be/Database/Trends/trends.html>
- Erinç, S. (2000). Jeomorfoloji-I. Der Yayınları.
- FAO. (2021). The impact of disasters and crises on agriculture and food security: 2021. In The impact of disasters and crises on agriculture and food security: 2021.<https://doi.org/10.4060/cb3673en>
- Fayez, L., Pazhman, D., Pham, B. T., Dholakia, M. B., Solanki, H. A., Khalid, M., & Prakash, I. (2018). Application of Frequency Ratio Model for the Development of Landslide Susceptibility Mapping at Part of Uttarakhand State, India. International Journal of Applied Engineering Research, 13(9), 6846-6854.
<http://www.ripublication.com>
- Hatipoğlu, İ. K., & Zeybek, H. İ. (2023). Türkiye’de etkili olan afetler. H. İ. Zeybek, F. Sipahi, Çam Alper Veli, T. Türkkan ve E. Hatipoğlu (Ed.), Multidisipliner Açılan Afetler içinde (ss. 25-80). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Hoşgören, M. Y. (2011). Jeomorfoloji terimler sözlüğü (1. Baskı). Çantay Kitabevi.
- İşık, F., Eraslan, S., & Zeybek, H. İ. (2023). Afet ve Afet Türleri. H. İ. Zeybek, F. Sipahi, A. V. Çam, T. Türkkan ve E. Hatipoğlu (Ed.), Multidisipliner Açılan Afetler içinde (ss. 1-24). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- İmamoğlu, M. Ş., & Çetin, E. (2007). Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve yakın yöresinin depremselliği. D.Ü.Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi, 9, 93-103.
- İnce, G. (2011). The relationship between the performance of soil conditions and damage following an earthquake: A case study in Istanbul, Turkey. Natural Hazards and Earth System Science, 11(6), 1745-1758. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-1745-2011>
- İTÜ. (2023). 6 Şubat 2023 04.17 Mw 7,8 Kahramanmaraş (Pazarcık, Türkoğlu), Hatay (Kırıkhan), ve 13.24 Mw 7,7 Kahramanmaraş (Elbistan/Nurhak-Çardak) Depremleri Ön İnceleme Raporu.
https://haberler.itu.edu.tr/docs/default-source/default-document-library/2023_itu_deprem_on_raporu.pdf?sfvrsn=77afe59e_4
- Kalaycioglu, S., Rittersberger-Tilic, H., Celik, K., & Günes, F. (2006). Integrated Natural Disaster Risk Assessment: The Socio-Economic Dimension of Earthquake Risk in the Urban Area. In Proceedings Geohazards Engineering Conferences International Year. <http://dc.engconfintl.org/geohazards/23>
- Kavak, K. Ş. (2017). Depremler ve Yerküre’nin İçi. In F. K. Lutgens, E. J. Tarbuck, & D. Tasa (Eds.), Genel jeoloji - Temel Kavramlar, 11, 334-359. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Korkmaz, H. (2006). Antakya’da Zemin Özellikleri ve Deprem Etkisi Arasındaki İlişki. Coğrafi Bilimler Dergisi, 4(2), 49-66.
- Mata-Lima, H., Alvino-Borba, A., Pinheiro, A., Mata-Lima, A., & Almeida, J. A. (2013). Impacts of natural disasters on environmental and socio-economic systems: what makes the difference?
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31728987004>
- 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>
- Nola, I. A. (2018). Earthquakes and their environmental, medical and public health impacts. Salud Publica de Mexico, 60, S16-S22.
<https://doi.org/10.21149/9212>
- Ocak, F., & Bahadır, M. (2022). CBS teknikleri kullanılarak deprem duyarlılık analizi için Analitik Hiyerarşi Prosesi: Samsun Ladik Gölü Havzası örneği, Türkiye. Kesit Akademik Dergisi, 8(33), 322-348.
<https://doi.org/10.29228/kesit.64705>
- Özey, R., & Ünlü, M. (2022). Afetler Coğrafyası (1. Baskı). Aktif Yayınevi.
- Pampal, S. (1999). Depremler. Alfa Yayıncılık.
- 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>
- Rao, N. P. (2016). Earthquakes. In Andhra Pradesh Akademi of Sciences (APAS).
<https://doi.org/10.1093/nq/s7-IV.81.58-b>
- Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (2022). Natural Disasters. <https://ourworldindata.org/natural-disasters>
- Sandal, E. K., & Karademir, N. (2013). Kahramanmaraş’ta Depremsellik Bağlamında Zemin-Yerleşme İlişkisi. 3rd International Geography Symposium – GEOMED, 474-488.
- Sert, S., Özocak, A., & Bol, E. (2016). GIS - based evaluation of the effect of local soil properties on the earthquake damage patterns. SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20(3).
<https://doi.org/10.16984/saufenbilder.01365>
- Singh, Y., & Phani Gade. (2012). Seismic Behavior of Buildings Located on Slopes-An Analytical Study and Some Observations From Sikkim Earthquake of. 15th World Conference on Earthquake Engineering, 1-10.
- Şengör, A. M. C. (1984). Türkiye’nin neotektoniğinin esasları. TJK Konferanslar Serisi, 40.
- 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 Study1. In K. T. Biddle & N. Christie-Blick (Eds.), Strike-Slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation

- (Vol. 37, p. 0). SEPM Society for Sedimentary Geology. <https://doi.org/10.2110/pec.85.37.0211>
- TÜİK. (2022). İstatistik Veri Portalı. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109>
- UNDRR. (2015). Global assessment report on disaster risk reduction 2015: making development sustainable: the future of disaster risk management. United Nations International Strategy for Disaster Reduction.
- URL-1: HOTOSM Turkey Destroyed Buildings (OpenStreetMap Export). Humanitarian Data Exchange v1.72.0. https://data.humdata.org/dataset/hotosm_tur_destroyed_buildings
- URL-2: Kahramanmaraş merkezli depremlerden etkilenen ilçelerdeki ilk hasar tespit verileri açıklandı. Anadolu Ajansı. <https://www.aa.com.tr/tr/asrin-felaketi/kahramanmaraş-merkezli-depremlerden-etkilenen-ilcelerdeki-ilk-hasar-tespit-verileri-aciklandi-/2819579>
- URL-3: Zemin sivilaşması binaların giriş katını yuttu. <https://www.trthaber.com/haber/turkiye/zemin-sivilasmasi-binalarin-giris-katini-yuttu-752240.html>
- URL-4: <https://arcg.is/10i1mn>
- USGS. (2023). Where do earthquakes occur? United States Geological Survey. <https://www.usgs.gov/faqs/where-do-earthquakes-occur>
- Uzun, A, Zeybek, H. İ., Bahadır, M., & Hatipoğlu, İ. K. (2016). Yeniköy Heyelanı, Perşembe/Ordu. The Journal of Academic Social Science Studies International, 50, 247–259. <http://dx.doi.org/10.9761/JASSS3437>
- Yalçın, H., Gülen, L., & Utkucu, M. (2013). Türkiye ve Yakın Çevresinin Aktif Fayları Veri Bankası ve Deprem Tehlikesinin Araştırılması. Yerbilimleri Dergisi, 34(3), 133–160.
- Zeybek, H. İ. (2002). Turhal Ovası ve Yakın Çevresinde Toprak Erozyonu. Doğu Coğrafya Dergisi 7(8), 99–130.
- Zeybek, H. İ. (1998). 22 Mayıs 1998 Havza Sel-Taşkın Felaketi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi 11, 157–64



© Author(s) 2024. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>